مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ۶۹-۵۸
Volume 5, Issue 1, Spring 2025, 58-69
http://emj.ardakan.ac.ir/article_732851.html

استقرار و تنوع زیستی زادآوری طبیعی گونه‌های بومی پس از جنگل‌کاری با بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) در ارتباط با شیب و جهت دامنه در منطقه نیمه‌خشک زاگرس

فاطمه باقری[۱]، جواد میرزائی*[۲]، مهدی حیدری[۳]، مصطفی مرادی[۴]

چکیده

اثرات جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) بر استقرار و تنوع زیستی زادآوری طبیعی گونه‌های بومی در جهت و شیب‌های مختلف در منطقه نیمه خشک زاگرس مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور انجام این تحقیق در دو جهت (شمالی و شرقی) و در شیب‌های (کمتر از ۱۰ درصد و بالای ۴۰ درصد) در دو موقعیت (منطقه جنگل‌کاری- فاقد جنگل‌کاری) در شش تکرار، در مجموع تعداد ۴۸ پلات به ابعاد ۱۰×۱۰ به‌صورت کاملا تصادفی برداشت و شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه گردید. همچنین به‌منظور بررسی خاک، یک نمونه از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک تهیه شد. به‌منظور بررسی اثر جنگل‌کاری، جهت جغرافیایی و شیب بر خاک و شاخص‌های تنوع زیستی از آنالیز واریانس سه طرفه و جهت بررسی ارتباط اثر جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی و شاخص‌های تنوع زیستی و خصوصیات خاکی از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های سیمپسون، منهنیک و مارگالف در جهت شرقی و در شیب کمتر از ۱۰ درصد در منطقه جنگل‌کاری بیشترین مقدار را نشان دادند. در حالی‌که بیشترین مقدار شاخص غالبیت در منطقه شاهد (فاقد جنگل‌کاری) و در جهت شمالی مشاهده شد. نتایج همبستگی نیز نشان داد که زیست توده میکروبی با رده (r=۰/۴۰۵**) ، تنوع شانون- وینر (r=۰/۳۷۷**)، سیمپسون (r=۰/۳۹۴**) و یکنواختی (r=۰/۴۰۵**) در سطح (*P*-value<0.01) و با تعداد افراد (r=۰/۲۹۵*)، غنای منهنیک (r=۰/۳۵۸*) و مارگالف (r=۰/۳۱۴*) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی در مناطق نیمه‌خشک باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و در نهایت منجر به زادآوری طبیعی گونه‌های بومی منطقه شده است. این اطلاعات امکان تدوین نسخه‌های بوم‌سازگار جنگل‌کاری را فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی:

توپوگرافی، غنای گونه‌ای، خصوصیات خاک، گونه پرستار.

مقاله پژوهشی

۱. دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
bagherrifateme@gmail.com
۲. دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
j.mirzaei@ilam.ac.ir
* نویسنده مسئول
۳. استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
m_heydari23@yahoo.com
۴. دانشیار، گروه جنگلداری و صنایع سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.
moradi4@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۵۱۰-۱۱۲۷
شماره صفحه پیاپی: ۱۰۳۲-۱۰۴۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱
زمان پذیرش: ۵۶ روز

استناددهی:
باقری، ف.، میرزائی، ج.، حیدری، م.، و مرادی، م. (۱۴۰۴). استقرار و تنوع زیستی زادآوری طبیعی گونه‌های بومی پس از جنگل‌کاری با بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) در ارتباط با شیب و جهت دامنه در منطقه نیمه‌خشک زاگرس. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۵(۱)، ۶۹-۵۸.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2025.732851

۱- مقدمه

جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های نیمه‌خشک ایران، نقش اساسی در حفاظت خاک، تنظیم چرخه آب، تنوع زیستی و ذخیره‌سازی کربن ایفا می‌کنند (SaghebTalebi et al., 2014). در دهه‌های اخیر، جنگل‌های زاگرس در غرب ایران دستخوش تغییرات چشمگیری در پوشش، زادآوری و ساختار شده‌اند (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۷). علاوه‌بر این، خاک‌های تخریب‌شده، کمبود مواد مغذی و رطوبت محدود در جنگل‌های زاگرس می‌تواند به راحتی منجر به تغییر ترکیب گونه‌های گیاهی و حتی از بین رفتن گونه‌های خوشخوراک و ورود گونه‌های مهاجم شود (Behmanesh et al., 2024؛ Moradi et al., 2021). احیای مناطق تخریب‌شده به‌ویژه در زاگرس، به دلیل شرایط سخت محیطی و محدودیت منابع، با چالش‌های جدی روبرو است. در این مناطق، استفاده از گونه‌های مقاوم و بومی که پتانسیل عمل به‌عنوان گیاهان پرستار را داشته باشند، یک راهبرد مدیریتی مؤثر محسوب می‌شود (Di Sacco et al., 2021). این گیاهان با ایجاد یک ریزاقلیم (میکروکلیمای) مطلوب نسبت به محیط اطراف، موجب بهینه‌سازی شرایط برای جوانه‌زنی بذر و استقرار نهال‌های جوان در سازماندهی جوامع گیاهی و حفظ تنوع زیستی با تنظیم دقیق نور، رطوبت خاک، دما و دسترسی به مواد مغذی می‌شود (Guignabert et al., 2020). علاوه‌بر این، گیاهان پرستار با ایفای نقش به‌عنوان یک مانع فیزیکی (مانند خارها، تیغ‌ها)، یا از طریق ترکیبات شیمیایی و پناهگاه، از نهال میزبان در برابر چرای دام حفاظت می‌کنند و می‌توانند بر استقرار نهال تأثیر بگذارند (Cavieres et al., 2021). مطالعات نشان می‌دهد گونه‌های پرستار و گونه‌هایی که در پناه آنها رشد می‌کنند به‌طور فزاینده‌ای در افزایش حاصلخیزی خاک و بهره‌وری میکروبی، از نظر زیست توده میکروبی، تجزیه مواد آلی و میزان چرخه کربن، نیتروژن و فسفر، نقش دارند (Navarro-Cano et al., 2019). از طرفی زادآوری درختان تحت تأثیر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (ابراهیمی عسکری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Behmanesh et al., 2024)، مواد مغذی خاک مانند ماده آلی، نیتروژن و فسفر قرار دارد که می‌توانند بر عملکرد درختان و نهال‌ها تأثیر بگذارند یا رشد آنها را در مقیاس‌های مختلف تکمیل یا محدود کنند (Sklodowski, 2020). ویژگی‌های خاک همچنین با سایر عوامل مکانی، مانند آب و هوا، توپوگرافی و پوشش گیاهی، در تعامل هستند تا ترکیب و ساختار جوامع گیاهی را شکل دهند (Mirzaei and Moradi, 2017).

بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*)، به‌عنوان یک گونه بومی و مقاوم کشور است که مقاومت نسبت به شرایط سخت محیطی وکم آبی، آن را با اقلیم گرم و خشک ایران سازگار ساخته است (منجری و همکاران، ۱۳۹۹). این گونه توانایی سازگاری با شرایط محلی و تأثیر مثبت بر تثبیت خاک و تشکیل پوشش گیاهی را دارد، ازاین‌رو در پروژه‌های احیایی در سراسر جنگل‌های زاگرس مورد استفاده قرار گرفته است (Salarian et al., 2009). بادامک، بادام کوهی و یا بادام اسکوپاریا نام‌های شناخته شده این گونه می‌باشند. درختچه‌ای است به ارتفاع حداکثر شش متر که از قاعده منشعب و پرشاخه می‌شود. دارای شاخه‌های ترکه‌ای و راست و برگ‌های استوانه‌ای سبز رنگی است که بیشتر در فصل بهار دیده می‌شوند. این گونه شاخص ارتفاع پایین تر از ۲۰۰۰ متر است که البته در کوهستان‌های گرم و خشک به ارتفاع بالاتر نیز می‌رسد (ثابتی، ۱۳۷۳). با این حال، علی‌رغم نقش شناخته‌شده‌ی این گونه در تثبیت خاک و ایجاد پوشش اولیه، پتانسیل تسهیل‌گری و نقش آن به‌عنوان "گونه پرستار" برای استقرار زادآوری طبیعی که پایداری طولانی‌مدت اکوسیستم را تضمین می‌کنند، به اندازه کافی مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

یکی از جنبه‌های مهم ارزیابی موفقیت جنگل‌کاری، تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است؛ گزارش‌ها و پژوهش‌های انجام‌شده در زاگرس نشان می‌دهد تبدیل کاربری و جنگل‌زدایی می‌تواند موجب افت ماده آلی، تغییر وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش ذخیره کربن خاک شود، و در مقابل احیای پوشش درختی و جنگل‌کاری در بلندمدت می‌تواند کیفیت خاک را بهبود بخشد (Moradi et al., 2021؛ Skandari et al., 2025). این تغییرات خاکی به‌نوبه خود بر ظرفیت بستر برای استقرار زادآوری طبیعی اثرگذارند (ابراهیمی عسکری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Behmanesh et al., 2024). علاوه‌بر تأثیرات مستقیم جنگل‌کاری بر خاک، توپوگرافی (شیب و جهت دامنه) نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار تابش خورشید دارند که به نوبه خود منجر به تغییر رطوبت خاک می‌شود (Salehi et al., 2011). از طرفی افزایش شیب باعث کاهش طرفیت نگهدار رطوبتی خاک می‌شود که می‌تواند بر استقرار زادآوری تاثیر بگذارد (Askari et al., 2013).

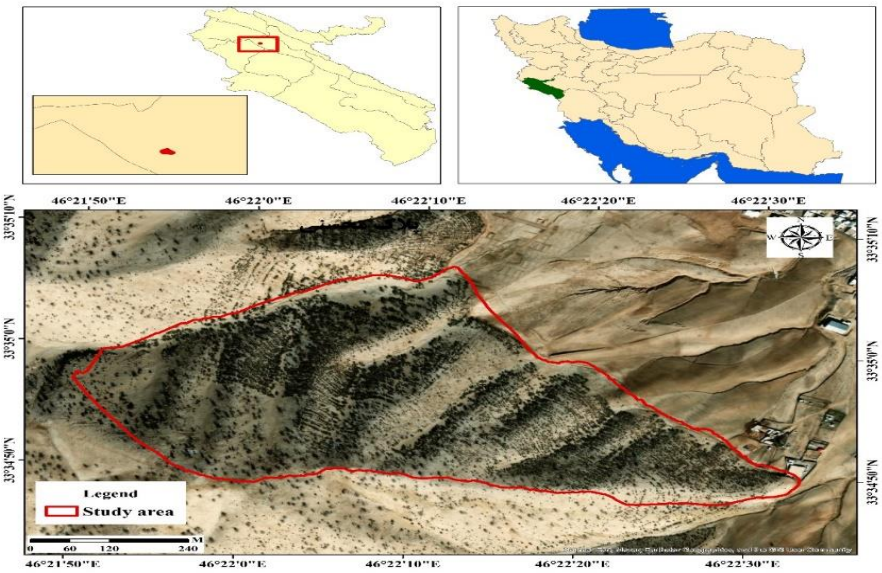
اگرچه مطالعات متعددی در زاگرس انجام شده است که به بررسی اثرات پوشش گیاهی بر خصوصیات خاک می‌پردازد و یا چنین اثراتی را متاثر از توپوگرافی بررسی کرده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اسکندری و همکاران، ۱۳۹۹) اما در این مطالعه سه بعد جنگل‌کاری، خاک و همچنین توپوگرافی به‌صورت همزمان مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه‌بر این زادآری طبیعی از جمله موارد محدود مورد بررسی در زاگرس می‌باشد که در این مطالعه اثرات جنگل‌کاری در استقرار زادآوری طبیعی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ضرورت اصلی چنین تحقیقی پر کردن خلا اطلاعاتی موجود ناشی از پیامدهای جنگل‌کاری با بادام کوهی بر زادآوری طبیعی و همچنین نقش توپوگرافی در استقرار زادآوری در جنگل‌های زاگرس می‌باشد. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف بررسی استقرار زادآوری طبیعی گونه‌های چوبی بعد از جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی در منطقه مورد مطالعه انجام شد. به‌طور مشخص، این تحقیق در پی پاسخ به این پرسش‌است که ۱) آیا حضور گونه بادام کوهی منجر به افزایش معنی‌دار تراکم و غنای گونه‌ای نهال‌های بومی در مقایسه با مناطق فاقد جنگل‌کاری می‌شود؟ ۲) آیا گونه بادام کوهی به‌عنوان گیاه پرستار شرایط خاک و استقرار زادآوری

طبیعی را بهبود می‌بخشد؟ نتایج این پژوهش می‌تواند دانش ما را در زمینه مدیریت جنگل‌کاری‌ها از رویکرد تک‌گونه‌ای به رویکرد توسعه و پایداری اکوسیستم‌های چندگونه‌ای ارتقاء دهد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی، ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه و ۵۴ ثانیه شمالی) در بخش جنوبی شهر ایلام واقع شده است. این منطقه کوهستانی، دارای شیب ملایم تا تند است. اقلیم منطقه نیمه خشک با میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۵۹۰ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین بارندگی آن از آبان تا اردیبهشت اتفاق می‌افتد (Karamian et al., 2023). ارتفاع منطقه مورد مطالعه بین ۱۴۷۰ تا ۱۵۳۰ متری با درجه شیب بین ۱۰ تا ۶۰ درصد است. این منطقه جزو ناحیه رویشی زاگرس می‌باشد که در گذشته به جهت نزدیکی به روستا کاملا تخریب شده است. به منظور احیاء این محدوده ۱۵ سال پیش جنگل‌کاری از طریق بذر و به‌صورت دیم (بدون آبیاری) با گونه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) انجام گرفته و جزو جنگل‌کاری‌های موفق محسوب می‌شود. از گونه‌های بومی منطقه که به‌صورت بسیار پراکنده وجود دارند می‌توان به بلوط ایرانی و زالزالک اشاره کرد. در این منطقه زادآوری طبیعی گونه‌های بلوط ایرانی، زالزالک، بادام کوهی، ارژن و افرا کیکم مشاهده شد. خاک منطقه از نوع خاک لومی شنی، جنس سنگ مادر آهکی است.



شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- نمونه‌برداری خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی

به‌منظور انجام این تحقیق در دو جهت (شمالی و شرقی) و در شیب‌های (کمتر از ۱۰ درصد و بالای ۴۰ درصد) در دو موقعیت (منطقه جنگل‌کاری- فاقد جنگل‌کاری)، پلات‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ (Karamian et al., 2023) به صورت کاملا تصادفی در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۲ برداشت شد (۲ موقعیت ×۲ جهت×۲ شیب× ۶ تکرار= ۴۸) در هر پلات تعداد گونه‌های درختی موجود شمارش شد. همچنین به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک داخل هر پلات و در زیر گونه بادام کوهی یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر (Jafarian et al., 2023) خاک تهیه گردید و به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری انتقال داده شد. بخشی از خاک برای بررسی مشخصه‌های بیولوژیکی و بیوشیمیایی خاک بلافاصله در محل به باکس‌های یونولیتی انتقال داده شد و سپس در آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. بخش دوم خاک پس از خشک شدن، کوبیده شد و از الک ۲ میلی‌متری جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک عبور داده شد. سنگریزه به روش وزنی بر حسب درصد، بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، رطوبت اشباع خاک به روش وزنی و درصد (نسبت خاک اشباع به خاک خشک شده در آون ۱۰۵درجه به مدت ۲۴ ساعت) اندازه‌گیری شد. وزن مخصوص ظاهری با استفاده از کلوخه‌های برداشت شده به روش پارافین محاسبه شد (Blake and Hartge, 1986)، اسیدیته با استفاده از pH متر و هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت الکتریکی‌سنج و درون عصاره گل اشباع (نسبت ۱ به ۵ خاک به آب) و برحسب دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی خاک، بر اساس روش Walkley and Black (۱۹۳۴) محاسبه شد، پتاسیم قابل جذب از محلول استات آمونیوم و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Moreno et al., 2007). اندازه‌گیری فسفر خاک به روش اولسن و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر محاسبه شد (Olsen, 1954)، میزان نیتروژن کل خاک به روش کجلدال در سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون

اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری آهک خاک آهک به روش تیتراسیون و بر حسب درصد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تنفس برانگیخته خاک و تنفس میکروبی پایه از روش Alef and Nannipieri (۱۹۹۵) زیتوده میکروبی کربن[1]خاک با استفاده از روش تدخین استخراج ارزیابی شد (Vance et al., 1987). آنزیم اوره آز با استفاده از روش Kandeler and Gerber و (۱۹۹۸) بر حسب ($\mu gpNPg^{-1}dmh^{-1}$) اندازه‌گیری شد. همچنین فعالیت آنزیم فسفاتاز به روش Ohlinger (۱۹۹۶) بر حسب میکروگرم پارانیتروفنیل فسفات در گرم خاک (-µgpNH4Nml $5dwt2h^{-1}$) اندازه‌گیری شد.

۲-۳- اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع

شاخص‌های تنوع شانون–وینر[2] سیمپسون[3] ، یکنواختی[4]و غالبیت[5]، تعداد افراد[6] غنای مارگالوف[7] رده یا دسته[8] با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (جدول ۱).

جدول (۱): شاخص‌های تنوع زیستی مورد استفاده در ارزیابی تنوع زادآوری در منطقه مورد مطالعه

نام شاخص	رابطه محاسباتی	منبع
رابطه (۱): شاخص تنوع سیمپسون	$D = 1 - \sum_{1}^{S} P_i^2$	Begon et al., 1990
رابطه (۲): شاخص تنوع شانون– وینر	$H' = -\sum_{i=1}^{s} piLn(pi)$	Begon et al., 1990
رابطه (۳): غنای مارگالف	$R = S - 1/LnN$	Begon et al., 1990
رابطه (۴): شاخص غنای منهنیک	$R2 = \frac{S}{\sqrt{N}}$	Krebs, 1999
رابطه (۵): شاخص غالبیت	$=\sum_{i=1}^{S}(P_i)^2 D_D$	McIntosh., 1967
رابطه (۶): یکنواختی گونه‌ها	$E = \frac{H}{LnS}$	Begon et al., 1990

D: شاخص تنوع سیمپسون، H´: شاخص تنوع شانون–وینر، S: تعداد گونه‌ها، R: غنای مارگالوف، E: یکنواختی گونه‌ای، D_D: شاخص غالبیت، N: تعداد نمونه؛ Pi: فراوانی نسبی گونه i

۲-٤- تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس آن‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و آزمون Leven ارزیابی شد. به‌منظور بررسی اثر جنگل‌کاری بادام کوهی، جهت جغرافیایی و شیب بر خاک و شاخص‌های تنوع زیستی از آنالیز واریانس سه طرفه[9]استفاده شد. سپس مقایسه میانگین‌ها برای اثرات سه تایی (فارغ از معنی‌داری و عدم معنی‌داری اثرات براساس آنالیز واریانس) با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. برای بررسی ارتباط اثر جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی و شاخص‌های تنوع زیستی و خصوصیات خاک از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. برای انجام آنالیز واریانس و مقایسه میانگین از نرم افزار SPSS version 21 و برای انجام آنالیز تحلیل مؤلفه اصلی[10]از نرم‌افزار R version 4.1.0 و از پکیج FactoMineR استفاده گردید.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج شاخص‌های تنوع زیستی

نتایج تحقیق نشان داد که موقعیت بر تمامی شاخص‌های تنوع گونه‌ای به جز غالبیت تاثیر معنی‌دار داشت (P-value<0.05)، (جدول ۲). به‌طوری که در منطقه جنگل‌کاری شاخص‌های یکنواختی، تعداد افراد، رده، شانون– وینر، سیمپسون، منهنیک، مارگالف، بیشترین مقدار را داشتند. و بیشترین مقدار شاخص غالبیت در منطقه فاقد جنگل‌کاری مشاهده شد (شکل ۲). جهت دامنه تنها بر شاخص غالبیت اثر معنی‌دار داشت (P-value<0.05)، (جدول ۲). همچنین نتایج میانگین واریانس بیشترین مقدار این شاخص را در جهت شمالی نشان داد (شکل ۲). نتایج تحلیل واریانس نشان داد اثر شیب و همچنین اثر سه طرفه شیب×جهت×موقعیت بر رده و تنوع شانون–وینر اثر معنی‌دار داشت (P-value<0.05)، (جدول ۲). به‌طوری که در شیب کمتر از ۱۰ درصد بیشترین مقدار را داشتند (شکل ۲).

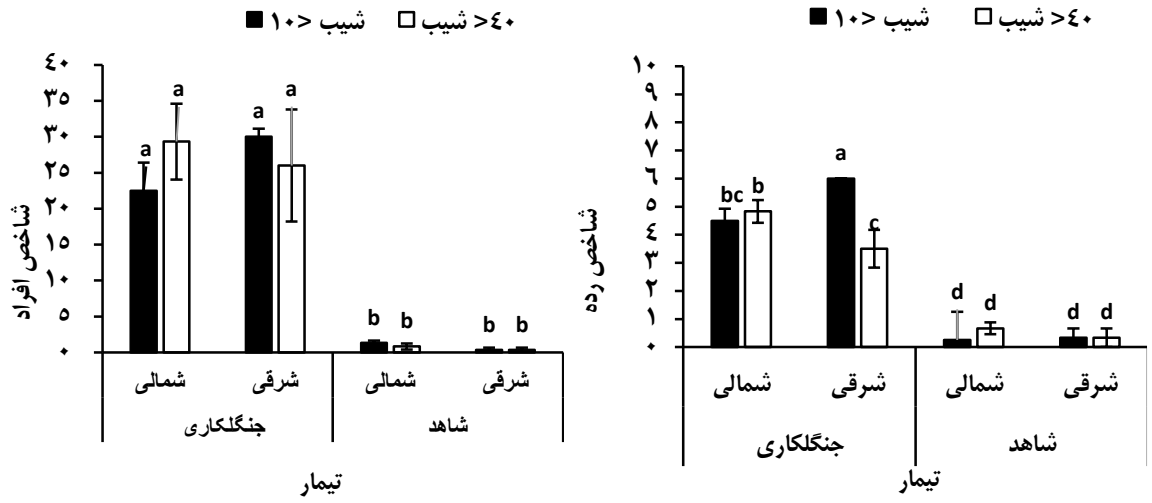
اثر متقابل جهت×موقعیت تنها بر شاخص‌های غالبیت و منهنیک اثر معنی‌داری داشت (P-value<0.05)، (جدول ۲). نتایج میانگین‌ها نشان داد که شاخص غالبیت در جهت شمالی و موقعیت فاقد جنگل‌کاری و شاخص منهنیک در جهت شرقی و موقعیت جنگل‌کاری بیشترین مقدار را داشتند.

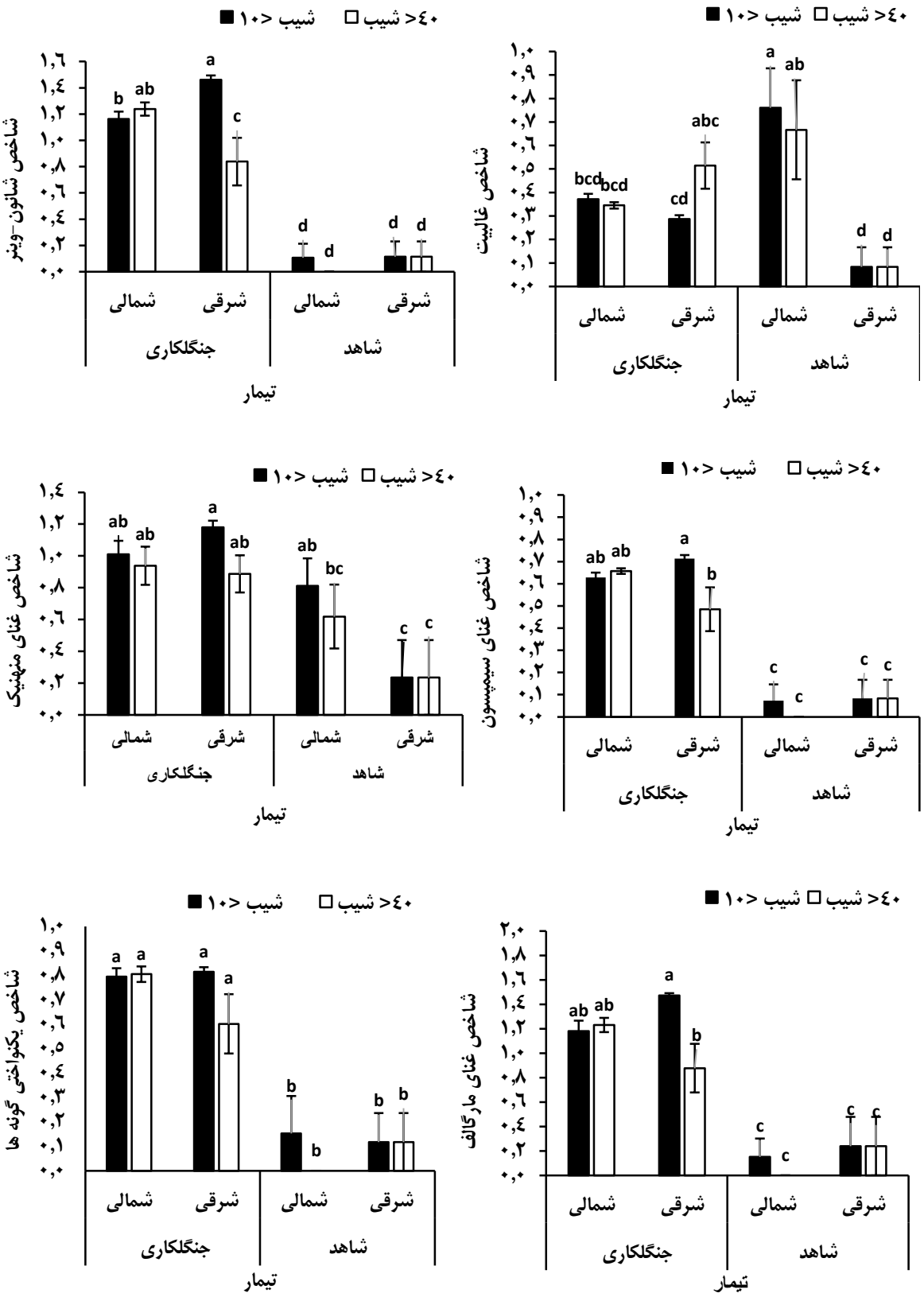
1. Microbial Biomass Carbon
2. Shannon and Wiener
3. Simpson
4. Equitability
5. Dominance
6. Individuals
7. Margalef
8. Taxa
9. Three-way ANOVA
10. Principal component analysis (PCA)

همچنین اثر متقابل شیب×جهت بر رده اثر معنی‌دار داشت (P-value<0.05). نتایج میانگین‌ها نشان داد که در شیب کمتر از ۱۰ درصد و جهت شرقی رده‌های بیشتری مشاهده شد (شکل ۲). نتایج میانگین شاخص‌های تنوع زیستی نشان داد، شاخص‌های یکنواختی در منطقه جنگل‌کاری بیشترین مقدار را داشتند. همچنین شاخص‌های سیمپسون، منهنیک و مارگالف نیز در جهت شرقی و در شیب کمتر از ۱۰ درصد در منطقه جنگل‌کاری بیشترین مقدار را نشان داد (شکل ۲).

جدول (۲): تحلیل واریانس سه‌طرفه اثر موقعیت، شیب و جهت و برهمکنش آنها بر شاخص‌های تنوع گونه‌ای

متغیر	رده			تعداد افراد			شاخص غالبیت		
	MS	F- value	P- value	MS	F- value	P- value	MS	F- value	P- value
موقعیت	۲۰۴/۱۸	۲۴۱/۴۰	۰/۰۰۰	۸۲۶۸/۷۵	۱۰۴/۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۸۱
جهت	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۴۳	۵/۳۳	۰/۰۶	۰/۷۹	۱/۰۳	۱۴/۱۹	۰/۰۰۰
شیب	۴/۶۸	۵/۵۴	**۰/۰۲۰**	۴/۰۸	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۷۳
موقعیت×جهت	۱/۰۲	۱/۲	۰/۲۷	۲۴/۰۸	۰/۳۰	۰/۵۸	۱/۳۵	۱۸/۶۰	۰/۰۰۰
موقعیت×شیب	۲/۵۲	۲/۹۸	۰/۰۹	۸/۳۳	۰/۱۰	۰/۷۸	۰/۰۶	۰/۸۹	۰/۳۵
جهت×شیب	۴/۶۸	۵/۵۴	۰/۰۲	۸۰/۰۸	۱/۰۰	۰/۳۲	۰/۰۹	۱/۲۴	۰/۲۷
موقعیت× جهت ×شیب	۷/۵۲	۸/۸۹	۰/۰۰	۹۶/۳۳	۱/۲۱	/۲۷	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۶۰
	شاخص تنوع شانون-وینر			شاخص تنوع سیمپسون			شاخص غنای منهنیک		
	MS	F- value	P- value	MS	F- value	P- value	MS	F- value	P- value
موقعیت	۱۴/۲۹	۲۴۶/۳۵	۰/۰۰۰	۳/۷۷	۱۶۸/۳۶	۰/۰۰۰	۳/۳۵	۲۰/۵۳	۰/۰۰۰
جهت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۶	۰/۵۳	۳/۲۵	۰/۰۷
شیب	۰/۳۲	۵/۵۴	**۰/۰۲**	۰/۰۵	۲/۵	۰/۱۲	۰/۲۳	۱/۴۳	۰/۲۳
موقعیت×جهت	۰/۰۳	۰/۶۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲	۱/۰۸	۰/۳۰	۰/۸۷	۵/۳۳	۰/۰۲
موقعیت×شیب	۰/۱۴	۲/۵۲	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۷۱
جهت×شیب	۰/۲۶	۴/۵۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۱/۱۲	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۵
موقعیت× جهت ×شیب	۰/۴۸	۸/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۸	۳/۶۴	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۷۹	۰/۳۷
	شاخص غنای مارگالف			شاخص یکنواختی گونه ها					
	MS	F- value	P- value	MS	F- value	P- value			
موقعیت	۱۲/۸۱	۹۰/۶۱	۰/۰۰<	۵/۱۷	۱۰۰/۳۸	۰/۰۰<			
جهت	۰/۰۵	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۷۰			
شیب	۰/۳۶	۲/۵۷	۰/۱۱	۰/۰۹	۱/۸۵	۰/۱۸			
موقعیت×جهت	۰/۱۱	۰/۸۰	۰/۳۷	۰/۰۵	۱/۰۳	۰/۳۱			
موقعیت×شیب	۰/۱۱	۰/۸۲	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۸۵			
جهت×شیب	۰/۱۸	۱/۲۹	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۷۹			
موقعیت× جهت ×شیب	۰/۴۷	۳/۳۶	۰/۹۷	۰/۱۰	۲/۰۶	۰/۱۵			





شکل (۲): میانگین (± اشتباه معیار) شاخص‌های تنوع زیستی تحت تأثیر موقعیت (منطقه جنگل‌کاری و فاقد جنگل‌کاری)، درصد شیب و جهت. مقادیر با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ می‌باشند.

۳-۲- نتایج آنالیز همبستگی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی

نتایج همبستگی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی نشان داد که درصد رس، pH، هدایت الکتریکی، ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم تبادلی، فسفر قابل جذب، تنفس پایه و بر انگیخته، آنزیم اوره آز و فسفاتاز همبستگی مثبت و معنی داری با شاخص‌های تنوع شانون-

وینر، سیمپسون، یکنواختی، غنای مارگالف و منهنیک، تعداد افرد و رده دارد. در حالیکه درصد شن با شاخص تنوع شانون- وینر (r=-۰/۴۸۲**)، تنوع سیمپسون (r=-۰/۵۰۷**)، غنای مارگالف (r=-۰/۴۱۲**)، غنای مهنهنیک (r=-۰/۳۰۴**) و یکنواختی (r=-۰/۵۷۲**)، رده (r=-۰/۴۹۱**) و تعداد افراد (r=-۰/۵۱۰**) همبستگی منفی داشت. همچنین بررسی نتایج همبستگی نشان داد که زیست توده میکروبی با رده (r=۰/۴۰۵**) ، تنوع شانون- وینر(r=۰/۳۷۷**)، سیمپسون (r=۰/۳۹۴**) و یکنواختی (r=۰/۴۰۵**) در سطح (*P*-value<0.01) و با تعداد افراد (r=۰/۲۹۵*)، غنای منهنیک (r=۰/۳۵۸*) و مارگالف (r=۰/۳۱۴*) در سطح (P<۰/۰۵) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. وزن مخصوص ظاهری و درصد آهک با با شاخص تنوع شانون- وینر، سیمپسون، غنای منهنیک و مارگالف، یکنواختی همبستگی منفی (*P*-value<0.01) داشت (جدول ۳).

جدول (۳): آنالیز همبستگی اسپیرمن خصوصیات فیزیکی- شیمیایی- بیولوژیکی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی زادآوری

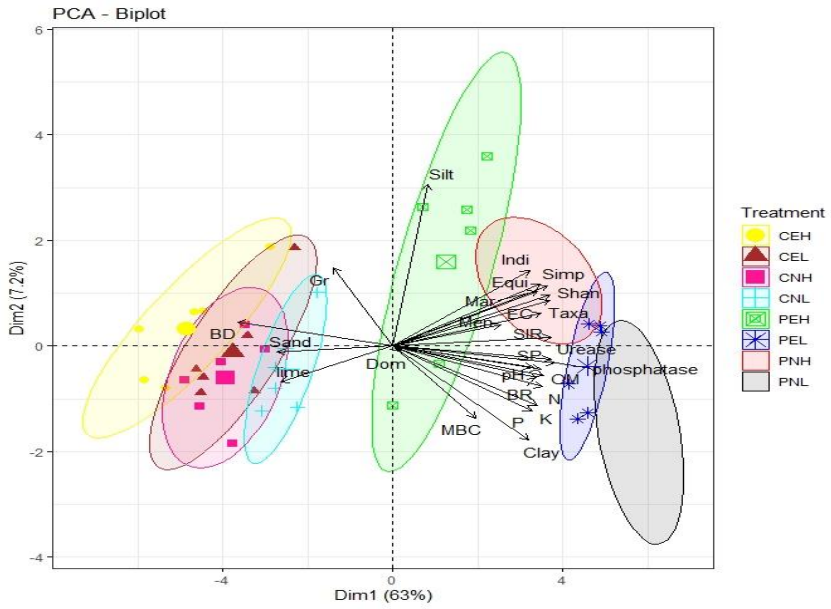
	رده	تعداد افراد	شاخص غالبیت	شاخص تنوع شانون- وینر	شاخص تنوع سیمپسون	شاخص غنای منهنیک	شاخص غنای مارگالف	شاخص یکنواختی گونه‌ها
درصد سنگریزه	-۰/۲۵۷	-۰/۲۰۳	-۰/۰۲۹	-۰/۲۸۴	-۰/۲۷۴	-۰/۰۷۸	-۰/۱۹۲	-۰/۲۲۱
اسیدیته	۰/۷۲۶**	۰/۶۶۴**	۰/۲۵۶	۰/۶۶۲**	۰/۶۵۵**	۰/۴۹۲**	۰/۵۶۸**	۰/۵۸۱**
هدایت الکتریکی (ds.m)	۰/۷۶۱**	۰/۷۴۳**	۰/۰۶۰	۰/۷۸۸**	۰/۷۸۱**	۰/۴۳۳**	۰/۶۹۱**	۰/۶۹۸**
درصد رطوبت اشباع	۰/۶۹۲**	۰/۶۴۱**	۰/۱۲۱	۰/۶۹۰**	/۶۹۷**	۰/۳۷۵**	۰/۵۸۳**	۰/۶۶۳**
درصد سیلت	۰/۲۲۳	۰/۴۴۵**	۰/۲۳۹	۰/۱۷۵	۰/۱۹۱	-۰/۰۱۰	۰/۰۷۲	۰/۱۸۴
درصد رس	۰/۷۲۰**	۰/۵۷۸**	۰/۰۵۱	۰/۷۲۸**	۰/۷۳۲**	۰/۴۸۸**	۰/۶۱۲**	۰/۶۸۶**
درصد شن	-۰/۴۹۱**	-۰/۵۱۰**	-۰/۱۸۹**	-۰/۴۸۲**	-۰/۵۰۷**	-۰/۳۰۴**	۰/۴۱۲**	-۰/۵۷۲**
جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۰/۸۱۱**	۰/۷۱۳**	-۰/۱۱۶	-۰/۸۰۶**	-۰/۸۰۵**	-۰/۵۴۸**	-۰/۶۹۵**	-۰/۷۵۱**
درصد ماده آلی	۰/۷۸۱**	۰/۷۳۰**	۰/۱۷۸	۰/۷۵۶**	۰/۷۵۷**	۰/۴۹۷**	۰/۶۳۵**	۰/۷۰۲**
درصد نیتروژن	۰/۷۵۱**	۰/۶۶۸**	۰/۱۴۲	۰/۷۳۹**	۰/۷۳۶**	۰/۵۱۸**	۰/۶۲۶**	۰/۶۸۸**
پتاسیم تبادلی (p.p.m)	۰/۷۱۳**	۰/۶۴۶**	۰/۰۷۳	۰/۶۹۵**	۰/۶۹۹**	۰/۳۸۶**	۰/۵۹۴**	۰/۶۶۸**
فسفر قابل جذب (p.p.m)	۰/۶۸۱**	۰/۵۹۷**	۰/۱۳۶	۰/۶۴۸**	۰/۶۴۷**	۰/۴۴۸**	۰/۵۴۵**	۰/۶۴۳**
درصد آهک	-۰/۵۰۱**	-۰/۵۷۱**	-۰/۲۱۴	-۰/۴۳۸**	-۰/۴۲۲**	-۰/۱۵۲	-۰/۳۰۱*	-۰/۳۹۵**
تنفس برانگیخته ($mg\ co_2.g^{-1}dm.24h^{-1}$)	۰/۸۲۸**	۰/۷۴۱**	۰/۲۱۵	۰/۷۹۱**	۰/۸۰۲**	۰/۵۶۰**	۰/۷۰۵**	۰/۷۱۵**
زیست توده میکروبی (mg biomass-C ·100 g-1dm)	۰/۴۰۵**	۰/۲۹۵*	۰/۱۴۳	۰/۳۷۷**	۰/۳۹۴**	۰/۳۵۸*	۰/۳۱۴*	۰/۴۰۵**
تنفس پایه (mg CO2. g1 dm. 24 h− 1)	۰/۶۵۰**	۰/۶۲۷**	۰/۱۷۷	۰/۶۳۳**	۰/۶۴۲**	۰/۳۸۹**	۰/۵۱۱**	۰/۶۲۸**
آلکالین فسفاتاز ($\mu g\ pNP.\ g^{-1}\ dm.h^{-1}$)	۰/۸۴۶**	۰/۷۳۸**	۰/۱۴۹	۰/۸۳۷**	۰/۸۳۵**	۰/۶۱۰**	۰/۷۶۵**	۰/۷۹۵**
اوره آز (μgρ NH4 Nml-5dwt 2 h− 1)	۰/۸۳۳**	۰/۷۷۱**	۰/۱۷۲	۰/۸۱۵**	۰/۸۲۳**	۰/۵۰۷**	۰/۶۷۳**	۰/۷۹۰**

**همبستگی در سطح ۰،۰۱ (دو دامنه) معنی‌دار است.
* همبستگی در سطح ۰،۰۵ (دو دامنه) معنی‌دار است.

۳-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

بر اساس نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی محور یک ۶۳ درصد و محور دو ۷/۲ درصد (مجموعا ۷۰/۲ درصد) از تغییرات به خود اختصاص دادند. به‌عبارتی محور یک مهم‌ترین مولفه در تفکیک خصوصیات خاک است. این محور عمدتاً با متغیرهای شیمیایی و آنزیمی خاک هم‌جهت بود. براساس نتایج، سمت راست و مثبت نمودار توسط تیمارهای جنگل‌کاری شده (تیمارهای منطقه جنگل‌کاری در جهت شمالی و شیب بالای ۴۰ درصد (PNH)، منطقه جنگل‌کاری در جهت شرقی شیب بالای ۴۰ درصد (PEH)، منطقه جنگل‌کاری در جهت شمالی شیب کمتر از ۱۰درصد (PNL)، منطقه جنگل‌کاری در جهت شرقی شیب کمتر از۱۰ درصد (PEL) را به‌خود اختصاص داده بودند. هدایت الکتریکی (Ec)، درصد رس (Clay)، نیتروژن کل (N)، فسفر قابل جذب (P)، پتاسیم تبادلی (K)، مواد آلی (OM)، درصد رطوبت (SP)، pH و فعالیت‌های آنزیمی (Urease, Phosphatase)، خصوصیات بیولوژیکی (تنفس برانگیخته (SIR)، تنفس پایه (SR)، تنفس میکروبی (MBC) و شاخص‌های تنوع زیستی (Mar, Equi, Taxa, Men, Indi, Shan, Simp) با محور یک همبستگی مثبت داشتند شکل (۳) و با جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد شن (Sand)، درصد آهک (Lime) و درصد سنگ ریزه (Gr) همبستگی منفی داشت که نشان دهنده خاک‌های بدون جنگل‌کاری است. همچنین درصد سیلت (Silt) همبستگی مثبت و شدید با محور دوم داشت. درصد سنگریزه و شاخص‌های تنوع زیستی (Equitability, Individuals, Simpson indx) همبستگی مثبت ولی ضعیف با محور دوم داشت. درصد رس (clay)، بیومس میکروبی (MBC) و فسفر قابل جذب با محور دوم همبستگی منفی و ضعیفی نشان داد. گروه PEH و PEL (جهت شرقی منطقه جنگل‌کاری شده) در سمت راست نمودار با درصد سیلت، رس، درصد نیتروژن، فسفر قابل جذب، پتاسیم تبادلی و فعالیت آنزیمی و بیولوژیکی بالاتر مرتبط بودند. گروه PNH و PNL (جهت شمالی منطقه جنگل‌کاری شده) در سمت راست، بالا و پایین نمودار قرار داشتند و با متغیرهایی مانند

فسفاتاز و با برخی شاخص‌های تنوع زیستی مرتبط بودند. در شیب‌های زیاد (PNH و PEH)نسبت به شیب کم (PNL و PEL)، تغییرات مشخصی در پارامترهای خاک دیده شد. در حالی‌که مناطق بدون جنگل‌کاری (CEH, CEL, CNL, CNH) در سمت چپ نمودار قرار دارند (شکل ۳).



شکل (۳): نتایج آنالیز مولفه اصلی بر اساس خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک و تنوع زیستی خاک در شیب کمتر از ۱۰درصد و بیشتر از ٤٠ درصد،CEL: منطقه فاقد جنگل‌کاری در جهت شرقی و شیب کمتر از ۱۰درصد، CEH: منطقه فاقد جنگل‌کاری در جهت شرقی و شیب بیشتر از ٤٠درصد ،CNL: منطقه فاقد جنگل‌کاری در جهت شمالی و شیب کمتر از ۱۰درصد، CNH: منطقه فاقد جنگل‌کاری در جهت شمالی شیب بیشتر از ٤٠ درصد، PEL: منطقه جنگل‌کاری در جهت شرقی و شیب کمتر از ۱۰درصد، PEH: منطقه جنگل‌کاری در جهت شرقی و شیب بیشتر از ٤٠درصد ،PNL: منطقه جنگل‌کاری در جهت شمالی و شیب کمتر از ۱۰درصد، PNH: منطقه جنگل‌کاری در جهت شمالی شیب بیشتر از ٤٠ درصد، OM: ماده آلی، N: نیتروژن کل، EC: هدایت الکتریکی، SP: درصد رطوبت اشباع، BD: وزن مخصوص ظاهری، P: فسفر، K: پتاسیم، MBC: کربن زیتوده میکروبی، BR: تنفس پایه، SIR: تنفس برانگیخته.شاخص‌های تنوع گونه‌ای (Margalef, Equitability, Menhinick, Individuals, Shannon indx, Simpson indx, Dominance, Taxa).

٤- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی (*A. scoparia*) تاثیر معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. به‌طوری که نتایج آنالیز تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که هدایت الکتریکی (Ec)، درصد رس (Clay)، نیتروژن کل (N)، فسفر قابل جذب (P)، پتاسیم تبادلی (K)، ماده آلی (OM)، درصد رطوبت (SP)، pH و فعالیت‌های آنزیمی (Urease, Phosphatase)، خصوصیات بیولوژیکی تنفس برانگیخته (SIR)، تنفس پایه (SR)، تنفس میکروبی (MBC) و شاخص‌های تنوع شانون–وینر، سیمپسون، غنا و یکنواختی، تعداد افراد و رده در منطقه جنگل‌کاری با گونه بادام بیشتر از منطقه شاهد بود. که نشان دهنده اثرات مثبت جنگل‌کاری بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و همچنین بیولوژیکی خاک بوده است (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج این تحقیق نشان داد درصد شن، جرم مخصوص ظاهری، درصد سنگریزه و درصد آهک در منطقه شاهد (فاقد جنگل‌کاری) بیشترین مقدار را داشتند و این گروه به‌طور کاملا از منطقه جنگل‌کاری مجزا شده‌اند. این نتایج نشان دهنده افزایش شدت تخریب، فشردگی خاک و فرسایش ناشی از رواناب در این منطقه می‌باشد که منجر به تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک شده است (Young et al., 2021؛ Parhizkar et al., 2025). افزایش درصد رس در مناطق جنگل‌کاری و همبستگی آن با محتوای نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم تبادلی و فعالیت آنزیمی، نشان‌دهنده بهبود بافت خاک توسط جنگل‌کاری است. عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از طریق تجزیه لاشبرگ، فعالیت میکروبی و غیره به خاک بازگردانده می‌شوند و محتوای نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم تبادلی را افزایش می‌دهند (عزیزی‌کیا و همکاران، ۱۴۰۳؛ Shi et al., 2023؛ Forogh Nasab et al., 2020).

افزایش خصوصیات بیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌ها درمنطقه جنگل‌کاری بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک را تقویت می‌کند. یافته‌های دیگر محققین نیز مبنی بر بهبود وضعیت تغذیه‌ای در نتیجه افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک می‌باشد (Avazpoor et al., 2019؛ Huang et al., 2022). همچنین نتایج نشان داد که خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک با شاخص‌های تنوع زیستی همبستگی مثبت معنی‌داری دارند. به‌عبارتی جنگل‌کاری با بهبود pH، هدایت الکتریکی، ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم تبادلی، فسفر قابل جذب، تنفس پایه و بر انگیخته، آنزیم اوره آز و فسفاتاز سبب افزایش شاخص‌های تنوع شانون- وینر، سیمپسون، یکنواختی، غنای مارگالف و منهنیک و همچنین تعداد افرد و رده زادآوری طبیعی شده است. نتایج آنالیز

واریانس نشان داد که جنگل‌کاری بر روی شاخص‌های غنا (مارگالف، منهنیک)، تنوع (شانون- وینر، سیمپسون)، یکنواختی و رده معنی‌دار بوده است که همسو با یافته‌های ایمانی و همکاران (۱۳۹۷) بود. Segura et al. (۲۰۲۱) نیز در تحقیقات خود دریافتند که جنگل‌کاری زمین‌های تخریب‌شده با گونه‌های درختی بومی در تراکم‌های پایین می‌تواند گزینه مؤثری برای افزایش تنوع گیاهی و بهبود کیفیت خاک در منطقه مدیترانه باشد. آنها دلیل افزایش تنوع گونه‌ای را بهبود شرایط خاک بدلیل افزایش ماده آلی، نیتروژن و مواد معذی توسط جنگل‌کاری دانستند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. Wang et al. (۲۰۲۲) نیز اثرات کاشت درختان بر تنوع زیستی می‌تواند به تغییرات در ساختار جامعه گیاهی (به‌عنوان مثال، پوشش تاجی و تنوع گیاهی) و شرایط خاک (به‌عنوان مثال، بسترهای خاک و مواد مغذی) مربوط باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شیب میزان غنا گونه‌ای و شاخص‌های تنوع گونه‌ای شانون- وینر کاهش می‌یابد. که این امر تاثیر منفی شیب دامنه را بر تنوع گونه‌ای را نشان می‌دهد. در این ارتباط می‌توان گفت که افزایش شیب منطقه، کاهش یافتن مواد غذایی به علت آبشویی زیاد و نیز کاهش رطوبت در دسترس گیاه به علت زهکشی آب را به همراه داشته و در نهایت سبب کاهش تنوع گونه‌ای در شیب زیاد می‌شود (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). منطقه جنگل‌کاری بدلیل شرایط رطوبتی، ماده آلی بالاتر و مواد مغذی بهتری نسبت به منطقه فاقد جنگل‌کاری، شاخص‌های تنوع و غنا در این منطقه بالاتر بودند. بنابراین از آنجا که تنوع گونه‌ای (غنای) و غالبیت با یکدیگر رابطه معکوس دارند (Zobel et al., 1976) می‌توان دلیل افزایش شاخص در منطقه فاقد جنگل‌کاری را کاهش میزان رقابت و تنوع گونه دانست که منجر به غالبیت یک گونه خاص در آن موقعیت می‌شود. که با سایر مطالعات مطابقت دارد (ریگی و فخیره، ۱۳۹۲؛ West, 1993؛ Sharma et al., 2010). با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت در مناطقی که شرایط مناسبی از نظر ماده آلی، رطوبت، مواد مغذی بیشتر بوده زادآوری طبیعی از شرایط بهتری برخوردار بوده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۷). ترکیب خاک، چه فیزیکی و چه شیمیایی و همچنین عوامل بیولوژیکی مانند میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های خاک مستقیماً مسیر و کارایی زادآوری اکوسیستم جنگلی را تعیین می‌کنند. بافت خاک، جوامع میکروبی، در دسترس بودن مواد مغذی و pH برای حفظ زادآوری طبیعی گیاهان مهم هستند و آنها با هم تعامل دارند تا یک محیط خاک سالم برای رشد گیاه فراهم کنند و نقش اساسی در تعیین الگو و موفقیت زادآوری جنگل ایفا می‌کنند. بافت خاک از مهم‌ترین خواص فیزیکی خاک است که به‌طور مستقیم بر انتقال رطوبت خاک، فرسایش خاک، تجمع و فرآیندهای فیزیکوشیمیایی تأثیر می‌گذارد و در نتیجه بر الگوی توزیع تجدید پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (Bayat et al., 2015). به‌عنوان مثال، خاک‌هایی با محتوای رس بالاتر عموماً محتوای کربن و نیتروژن بالاتری نیز دارند (Moradi and Moradi, 2015). دسترسی به مواد مغذی در خاک، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، مستقیماً بر زادآوری جنگل تأثیر می‌گذارد (Ricklefs et al., 1999). Zhao et al. (۲۰۲۳) با استفاده از تجزیه و تحلیل SEM دریافتند که نیتروژن کل در مقایسه با سایر خواص خاک، به میزان زیادی در بازسازی طبیعی نقش دارد. de Medeiros et al. (۲۰۱۷) نشان دادند که پس از ۱۷ سال بازسازی طبیعی در جنگل‌های ثانویه، تغییرات در تنوع و ترکیب گیاهان باعث افزایش زیست توده میکروبی خاک شد. به نوبه خود، جوامع میکروبی مواد مغذی خاک را آزاد کردند و به توسعه پوشش گیاهی و سرعت بازسازی جنگل کمک کردند (de Medeiros et al., 2017). pH خاک یکی دیگر از عوامل کلیدی مؤثر بر بازسازی جنگل است. Kassa et al. (۲۰۲۰)، نشان داده‌اند که شرایط pH خنثی، دسترسی غنی‌تر به مواد مغذی را افزایش داده و بازسازی گیاه را بهبود می‌بخشد. با توجه به معنی‌داری اثر جهت دامنه و بویژه جهت شمالی بر شاخص غالبیت، می‌توان اینگونه بیان داشت که شرایط زیست مناسبت‌تر و سازگاری برخی گونه‌ها در شیب‌های شمالی سبب توسعه و رشد آنها و در نهایت غالبیت آنها در چهت شمالی شده است (Yang et al., 2020؛ Liu et al., 2019). همچنین شاخص تنوع شانون-وینر بالاترین مقدار را در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد داشت که نشان دهنده نقش درصد شیب در تغییرات تنوع زیستی می‌باشد. این یافته‌ها همسو با یافته‌های دیگر محققین بوده (Zhang et al., 2018) که احتمالا ناشی از بهبود وضعیت خصوصیات تغذیه‌ای و همچنین افزایش رطوبت خاک در شیب‌های کمتر می‌باشد. شیب‌های بالاتر با افزایش فرسایش و آبشویی خاک و مواد غذایی روبرو بوده که منجر کاهش تنوع زیستی می‌شود (Kara and Sürmen, 2024).

نتایج این مطالعه نشان داد که جنگل‌کاری با گونه بادام کوهی *(A. scoparia)* به‌عنوان تکنیک گیاهان پرستار در احیای جنگل‌های تخریب یافته موفق بوده است و موجب زادآوری طبیعی عرصه جنگلی شده است. علاوه‌بر این، اثرات مثبت بین گیاهان و محیط منجر به بهبود معنی‌دار خصوصیات ادافیکی مرتبط با کیفیت خاک را از طریق افزایش ماده آلی، نیتروژن کل و تقویت فعالیت‌های زیستی و آنزیمی خاک ارتقا شده است. همچنین یافته‌ها حاکی از آن است که در شیب‌های ملایم در مقایسه با شیب‌های تندتر افزایش میزان نفوذپذیری آب، بهبود فعالیت میکروبی خاک و تنوع زادآوری رخ داده است که اهمیت توجه به عوامل توپوگرافیک را در برنامه‌ریزی‌های جنگل‌کاری آشکار می‌سازد. در نتیجه می‌توان گفت درک چگونگی تعامل گیاه، خاک و توپوگرافی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای توسعه استراتژی‌های مؤثر مدیریت جنگل، به‌ویژه در زمینه تغییر شرایط محیطی، ارائه دهد.

منابع

ابراهیمی‌عسکری، ا.، مرادی، م.، بصیری، ر.، میرزایی، ج.، و قاسمی، ا. (۱۳۹۸). بررسی وضعیت خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و زادآوری در رویشگاه‌های کهور ایرانی (*Prosopis cineraria* (L.) Druce) در جنوب ایران. جنگل ایران، (۲)۱۱، ۲۶۷-۲۵۵.

اسکندری، ف.، بصیری، ر.، و مرادی، م. (۱۳۹۹) بررسی اثر گونه‌ی بلوط ایرانی (*Quercus brantii Lindle*) و زربین (*Cupressus sempervirens* L. var. horizontahis (Mill.) Gord.) روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کهگیلویه و بویراحمد. پژوهشهای گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، (۴)۳۳، ۷۸۰-۷۷۰.

اسماعیل‌زاده، ا.، حسینی، س.م.، اسدی، ح.، غدیری‌پور، پ.، و احمدی، ع. (۱۳۹۱). رابطه تنوع زیستی با عوامل فیزیوگرافی در ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته. زیست‌شناسی گیاهی، ۴(۱۲)، ۱-۱۲.

ایمانی، ف.، مرادی، م.، و بصیری، ر. (۱۳۹۵). تاثیر جنگل‌کاری با گونه *Prosopis juliflora* بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تپه‌های شنی (پژوهش موردی: منطقه مگران شهرستان شوش). علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۰(۷۸)، ۱۸۴-۱۷۳.

ایمانی، ف.، مرادی، م.، و بصیری، ر. (۱۳۹۷). ارزیابی تنوع گونه‌های گیاهی در تپه‌های شنی بعد از گذشت دو دهه از فعالیت‌های تثبیت و جنگل‌کاری (مطالعه موردی: منطقه مگران، شوش). پژوهشهای گیاهی (زیست‌شناسی ایران). ۳۱(۱)، ۲۳-۱۲.

ثابتی، ح. (۱۳۷۳). جنگل‌هـا، درختـان و درختچـه‌هـای ایـران. یزد: انتشارات دانشگاه یزد.۸۱۰ص.

جعفری حقیقی، م. (۱۳۸۲). روش‌های تجزیه خاک نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی. تهران: انتشارات ندای ضحی، ۲۴۰ص.

ریگی، م.، و فخیره، ا. (۱۳۹۲). مطالعه اثر شدت‌های مختلف چرا بر شاخص‌های غنا و تنوع پوششگیاهی به‌منظور حفاظت زیست بوم‌های مرتعی تفتان. حفاظت زیست بوم گیاهان، ۱(۳)، ۱۱۸-۱۰۵.

عزیزی‌کیا، ی.، مرادی، م.، درویش چسند، ز.، و طالشی، ح. (۱۴۰۳). بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رویشگاه‌های گونه مورد (*Myrtus communis* L.) در جنوب غربی ایران. روابط خاک و گیاه، ۱۵(۳)، ۸۷-۷۱.

منجری، ف.، کیانی، ب.، تابنده ساروی، آ.، و فلاحتی، ا. (۱۳۹۹). بررسی نتایج احیای اراضی جنگلی با اجرای جنگل‌کاری بنه و بادام کوهی در شهرستان خاتم، استان یزد. تخریب و احیاء اراضی طبیعی، ۱(۱)، ۴۴۳۳.

میرزایی، ج.، اکبری‌نیا، م.، حسینی، س، م.، طبری کوچکسرایی، م.، و جلالی، س، غ. (۱۳۸۷). مقایسه تراکم زادآوری طبیعی گونه‌های چوبی در رابطه با عوامل فیزیوگرافی و خاک در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده ارغوان در شمال ایلام). پژوهش و سازندگی، ۲۰(۴)، ۲۳-۱۶.

میرزایی، ج.، جعفریان، ن.، مرادی، م.، و حیدری، م. (۱۳۹۶). مقایسهٔ خصوصیات محیطی و رسته‌بندی رابطه گونه‌های چوبی با عوامل محیطی در جنگل‌های شهرستان ایلام. پژوهش‌های علوم . فناوری چوب و جنگل، ۲۴(۳)، ۹۴-۸۱.

Alef, K., and Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. UK, London: Academic Press, 608p.

Askari, Y., Parsapour, M.K., and Hosseni, Z. (2013). Modeling of suitability Iranian Oak site for establish of coppice regeneration in Zagros forest. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 1(1), 61-70.

Avazpoor, Z., Moradi, M., Basiri, R., Mirzaei, J., Taghizadeh-Mehrjardi, R., and Kerry, R. (2019). Soil enzyme activity variations in riparian forests in relation to plant species and soil depth. Arabian Journal of Geosciences, 12(23), 708.

Bayat, H., Rastgo, M., Zadeh, M.M., and Vereecken, H. (2015). Particle size distribution models, their characteristics and fitting capability. Journal of hydrology, 529(6), 872-889.

Begon, M., Harper, J.L., and Townsend, C.R. (1990). Ecology: individuals, populations and communities. Italy: Blackwell Science Inc., 960p.

Behmanesh, S., Moradi, M., Pourrezaei, J., and Basiri, R. (2024). Does road construction have beneficial effects on vegetation biodiversity and tree regeneration in arid woodlands? Land Degradation and Development, 35(7), 2508-2517.

Blake, G.R., and Hartge, K.H. (1986). Bulk density. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, 5, 363-375.

Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal, 54(5), 464-465.

Cavieres, L.A. (2021). Facilitation and the invasibility of plant communities. Journal of Ecology, 109(5), 2019-2028.

de Medeiros, E.V., Duda, G.P., dos Santos, L. A.R., de Sousa Lima, J.R., de Almeida-Cortêz, J.S., Hammecker, C., Lardy, L., and Cournac, L. (2017). Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. Catena, 151, 137-146.

Di Sacco, A., Hardwick, K.A., Blakesley, D., Brancalion, P.H., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Chomba, S., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith R.J., and Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. Global Change Biology, 7(7), 1328-1348.

Forogh Nasab, M., Moradi, M., Moradi, G., and Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2020). Topsoil carbon stock and soil physicochemical properties in riparian forests and agricultural lands of southwestern Iran. Eurasian Soil Science, 53(10), 1389-1395.

Guignabert, A., Augusto, L., Gonzalez, M., Chipeaux, C., and Delerue, F. (2020). Complex biotic interactions mediated by shrubs: Revisiting the stress-gradient hypothesis and consequences for tree seedling survival. Journal of Applied Ecology, 57(7), 1341-1350.

Huang, H., Tian, D., Zhou, L., Su, H., Ma, S., Feng, Y., Tang, Z., Zhu, J., Ji, C., and Fang, J. (2022). Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis. Geoderma, 423, 115961.

Jafarian, N., Mirzaei, J., Omidipour, R., and Kooch, Y. (2023). Effects of micro-climatic conditions on soil properties along a climate gradient in oak forests, west of Iran: Emphasizing phosphatase and urease enzyme activity. Catena, 224, 106960.

Kandeler, E., and Gerber, H. (1988). Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. Biology and fertility of Soils, 6(1), 68-72.

Kara, E., and Sürmen, M. (2024). The role of slope as an environmental variable in plant biodiversity change in Aegean rangelands by SHE analysis: The case of Çakmar rangeland. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 8(1), 9-13.

Karamian, M., Mirzaei, J., Heydari, M., Kooch, Y., and Labelle, E.R. (2023). Seasonal effects of native and non-native woody species on soil chemical and biological properties in semi-arid forests, western Iran. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 23(3), 4474-4490.

Kassa, G., Molla, E., and Abiyu, A. (2019). Effects of Eucalyptus tree plantations on soil seed bank and soil physicochemical properties of Qimbaba forest. Cogent Food & Agriculture, 5(1), 1711297.

Krebs, C.J. (1989). Ecological methodology (Vol. 654). New York: Harper & Row.

Liu, M., Che, Y., Jiao, J., Li, L., and Jiang, X. (2019). Exploring the community phylogenetic structure along the slope aspect of subalpine meadows in the eastern Qinghai–Tibetan Plateau, China. Ecology and Evolution, 9(9), 5270-5280.

McIntosh, R.P. (1967). An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. Ecology, 48(3), 392-404.

Mirzaei, J., and Moradi, M. (2017). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Amygdalus scoparia Spach plantations and a natural stand. *Journal of Forestry Research*, *28*(6), 1209-1217.
Moradi, M., and Moradi, G. (2024). Carbon Sequestration of Mediterranean Tree Species in the Zagros Forest of Iran. Ecopersia, 12(4), 351-361.
Moradi, M., Jorfi, M.R., Basiri, R., Yusef Naanaei, S., and Heydari, M. (2021). Beneficial effects of livestock exclusion on tree regeneration, understory plant diversity, and soil properties in semi-arid forests in Iran. Land Degradation and Development, 33(2): 324-332.
Moreno, G., Obrador, J. J., and García, A. (2007). Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. Agriculture, ecosystems & environment, 119(3-4), 270-280.
Navarro-Cano, J.A., Horner, B., Goberna, M., and Verdú, M. (2019). Additive effects of nurse and facilitated plants on ecosystem functions. Journal of Ecology, 107(6), 2587-2597.
Ohlinger, R. (1996). Acid and alkaline phosphomonoesterase activity with the substrate p-nitrophenyl phosphate. In: Schinner, F., Kandeler, E., Ohlinger, R., Margesin, R. (Eds) Methods in soil biology. Berlin: Springer-Verlag, 210-214.
Olsen, S.R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
Parhizkar, Z., Moradi, M., and Akbarifazli, R. (2025). Effects of recreational activities on carbon stocks in the arid riparian forest. Eurasian Soil Science, 58(10), 133.
Ricklefs, R.E., Latham, R.E., and Qian, H. (1999). Global patterns of tree species richness in moist forests: distinguishing ecological influences and historical contingency. Oikos, 86(2) 369-373.
Sagheb Talebi, K., Sajedi, T., and Pourhashemi M. (2014) Forests of Iran a treasure from the past, a hope for the future. Berlin: Springer, 160p.
Salarian, A., Mataji, A., and Iranmanesh, Y. (2009). Investigation on site demand of Almond (*Amygdalus scoparia* Spach.) in Zagros Forests (Case study: Karebassite of Chaharmahal and Bakhtiari province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(4), 542-528.
Salehi, M.H., Esfandiarpour, I., and Sarshogh, M. (2011). The effect of aspect on soil spatial variability in Central Zagros, Iran. Procedia Environmental Sciences, 7, 293-298.
Segura, C., Jiménez, M.N., Fernández-Ondoño, E., and Navarro, F.B. (2021). Effects of afforestation on plant diversity and soil quality in semiarid SE Spain. Forests, 12(12), 1730.
Sharma, C.M., Baduni, N.P., Gairola, S., Ghildiyal, S.K., and Suyal, S. (2010). Effects of slope aspects on forest compositions, community structures and soil properties in natural temperate forests of Garhwal Himalaya. Journal of Forestry Research, 21(3), 331-337.
Shi, J., Deng, L., Gunina, A., Alharbi, S., Wang, K., Li, J., Liu, Y., Shangguan, Z., and Kuzyakov, Y. (2023). Carbon stabilization pathways in soil aggregates during long-term forest succession: Implications from δ13C signatures. Soil Biology and Biochemistry, 180, 108988.
Skandari, F., Salehi, A., Daryaei, M.G., Moradi, M., and Burslem, D.F.R.P. (2025). Long-Term Effects of Forest Management Interventions on Carbon Stocks and Soil Microbial Activity in Degraded Semi-Arid Oak Forests of Iran. Eurasian Soil Science, 58(13), 200.
Skłodowski, J. (2020). Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend on the composition of the undergrowth and the soil environment. Forest Ecology and Management, 461, 117950.
Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil biology and Biochemistry, 19(6), 703-707.
Walkley, A., and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science, 37(1), 29-38.
Wang, C., Zhang, W., Li, X., and Wu, J. (2022). A global meta-analysis of the impacts of tree plantations on biodiversity. Global Ecology and Biogeography, 31(3), 576-587.
West, N.E. (1993). Biodiversity of rangelands. Rangeland Ecology and Management, 46(1), 2-13.
Yang, J., El-Kassaby, Y. A., and Guan, W. (2020). The effect of slope aspect on vegetation attributes in a mountainous dry valley, Southwest China. Scientific Reports, 10(1), 16465.
Young, K. E., Reed, S. C., Ferrenberg, S., Faist, A., Winkler, D. E., Cort, C., and Darrouzet-Nardi, A. (2021). Incorporating biogeochemistry into dryland restoration. *Bioscience*, *71*(9), 907-917.
Zhang, Q.P., Wang, J., Gu, H.L., Zhang, Z.G., and Wang, Q. (2018). Effects of continuous slope gradient on the dominance characteristics of plant functional groups and plant diversity in alpine meadows. Sustainability, 10(12), 4805.
Zhao, W., Sun, Y., and Gao, Y. (2023). Potential factors promoting the natural regeneration of Larix principis-rupprechtii in North China. PeerJ Life and Environment, 11, e15809.
Zobel, D.B., McKee, A., Hawk, G.M., and Dyrness, C.T. (1976). Relationships of environment to composition, structure, and diversity of forest communities of the central western Cascades of Oregon. Ecological Monographs, 46(2), 135-156.

Management of Natural Ecosystems
Volume 5, Issue 1, Spring 2025, 58-69
http://emj.ardakan.ac.ir/article_732851.html

Establishment and Biodiversity of native species natural regeneration after afforestation with almond (*Amygdalus scoparia*) in relation to slope and Aspect in the semi-arid region of Zagros

Fatemeh Bagheri[1], Javad Mirzaei[2*], Mehdi Heydari[3], Mostafa Moradi[4]

CC BY

Research Article

1. Ph.D. Student, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
bagherrifateme@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
j.mirzaei@ilam.ac.ir
* Corresponding author

3. Professor, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
m_heydari23@yahoo.com

4. Associate Professor, Department of Forestry and Cellulose Industries, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.
moradi4@gmail.com

Article Code: 2510-1127
Countinus Pagination: 1032-1043

Received: 26 October 2025
Accepted: 20 December 2025
Online: 22 December 2025
Review speed: 56 days

Citation:
Bagheri, F., Mirzaei, J., Heydari, M., and Moradi, M. (2025). Establishment and Biodiversity of native species natural regeneration after afforestation with almond (Amygdalus scoparia) in relation to slope and Aspect in the semi-arid region of Zagros. Management of Natural Ecosystems, 5(1), 58-69.

Abstract
The effects of afforestation with *Amygdalus scoparia* on the establishment and biodiversity of natural regeneration of native species in different aspects and slopes in the semi-arid Zagros region were evaluated. For this purpose, a total of 48 plots, (10 × 10 m), were randomly sampled in six replicates across two aspects (north and east) and two slope gradients (less than 10% and greater than 40%), within two situations (afforested area - non-afforested area) and biodiversity indices were calculated. Also, to investigate soil properties, one soil sample was collected from the 0–20 cm soil depth. In order to investigate the effects of afforestation, geographical aspect, and slope on soil and biodiversity indices, a Three-Way analysis of variance (ANOVA) was used, and to examine the relationship between the effect of afforestation with the wild almond species, biodiversity indices, and soil properties, Principal Component Analysis (PCA) was utilized. The results showed that the Simpson, Menhinick, and Margalef indices showed their highest values in the east aspect and on slopes less than 10% within the afforested area. While, the highest value for the dominance index was observed in the control area (non-afforested) and in the north aspect. Correlation results also indicated that microbial biomass had a positive and significant correlation (P-value < 0.01) with class/category (r=0.405), Shannon-Wiener diversity (r=0.377), Simpson (r=0.394), and evenness (r=0.405), and a positive and significant correlation with the number of individuals (r=0.295), Menhinick richness (r=0.358), and Margalef (r=0.314). The results of this research indicate that afforestation with the wild almond (*Amygdalus scoparia*) species in semi-arid regions has led to the improvement of physical, chemical, and biological soil properties, ultimately resulting in the natural regeneration of native species in the region. These findings provide a basis for developing eco-friendly afforestation strategies.

Key Words:
Topography, Species richness, Soil characteristics, Nurse species.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.732851