مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ۴۱-۳۴
Volume 6, Issue 3, Atumn 2026, 34-41
http://emj.ardakan.ac.ir/article_742905.html

گرادیان تخریب اکوسیستم مرتعی اطراف معدن مهدی‌آباد یزد: تغییرات پوشش گیاهی و خاک

سمیرا حسین جعفری[1*]

چکیده

فعالیت‌های معدن‌کاوی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آشفتگی‌های انسانی، اکوسیستم‌های مرتعی مناطق خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش باهدف بررسی تغییرات شاخص‌های گیاهی و ویژگی‌های خاک در فواصل مختلف از معدن سرب و روی مهدی‌آباد یزد، طراحی شد. نمونه‌برداری پوشش گیاهی با ۳۰ پلات دو مترمربعی و نمونه‌برداری خاک در سه فاصله صفر تا ۴۰۰، ۴۰۰ تا ۸۰۰ و ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از معدن انجام شد. نتایج نشان داد که فاصله از معدن تأثیر معنی‌داری بر درصد پوشش، تولید و تراکم فرم‌های رویشی و همچنین pH، EC و آهک خاک داشت ($p\leq$۰/۰۱). کمترین درصد پوشش بوته‌ای و علفی به ترتیب با ۴/۲۱ و ۰/۵۹ درصد در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین مقادیر به ترتیب با ۱۱/۰۲ و ۲/۸۸ درصد در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری مشاهده شد. تولید کل از ۴/۶۸ (گرم بر مترمربع) در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری به ۱۰/۰۲ (گرم بر مترمربع) در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری و تراکم کل از ۸/۴۷ به ۲۳/۲۳ در واحد سطح در همین فواصل افزایش یافت. pH خاک از ۷/۸۷ در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری به ۷/۲ در دورترین فاصله کاهش یافت، درحالی‌که EC در همین فواصل روند معکوس داشت (از ۰/۶۹ به ۰/۹۸). میزان آهک خاک نیز از ۲۶/۷ درصد در نزدیک‌ترین فاصله به ۱۸/۸ درصد در دورترین فاصله کاهش یافت. یافته‌ها حاکی از آن است که با افزایش فاصله از معدن، شرایط برای استقرار و رشد گیاهان به‌تدریج بهبود می‌یابد. این نتایج می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و احیایی در مناطق تحت تأثیر فعالیت‌های معدنی، با حفظ تعادل میان بهره‌برداری و حفاظت از منابع طبیعی، مورداستفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی:

آشفتگی معدن‌کاوی، پوشش گیاهی، خاک، تخریب، مراتع خشک.

مقاله پژوهشی

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

s.jafari@torbath.ac.ir
* نویسنده مسئول

شناسه مقاله: ۲۶۰۹-۱۲۰۷
شماره صفحه پیاپی: ۱۴۳۱-۱۴۳۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۰
انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۷/۲۴
زمان پذیرش: ۱۷ روز

استناددهی:
حسین‌جعفری، م. (۱۴۰۵). گرادیان تخریب اکوسیستم مرتعی اطراف معدن مهدی‌آباد یزد: تغییرات پوشش گیاهی و خاک. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۳)۶، ۴۱-۳۴.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2026.2107056.1207

۱- مقدمه

اکوسیستم‌های مرتعی اکوسیستم‌های مرتعی مناطق خشک و نیمه‌خشک از حساس‌ترین و شکننده‌ترین نظام‌های بوم‌شناختی جهان محسوب می‌شوند که در برابر آشفتگی‌های انسانی، به‌ویژه فعالیت‌های معدن‌کاوی، آسیب‌پذیری بالایی دارند (لایقی و همکاران، ۱۴۰۲). در این اکوسیستم‌ها، پوشش گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه ساختاری، نقش کلیدی در حفظ تعادل بوم‌شناختی، حفاظت از خاک و چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کند. فعالیت‌های معدن‌کاوی ازجمله مخرب‌ترین فعالیت‌های انسانی به‌شمار می‌روند که منجر به از دست رفتن پوشش گیاهی، حذف خاک سطحی و نمایان شدن لایه‌های عمیق سنگی می‌شوند؛ فرآیندهایی که تکامل خاک را مختل کرده و زمین‌های بایر غنی از فلزات سنگین را به وجود می‌آورند (Pandey et al., 2019). استان یزد به دلیل موقعیت اقلیمی خاص و قرارگیری در کمربند خشک جهانی، ازجمله مناطقی است که به‌طور گسترده تحت تأثیر عملیات معدن‌کاوی قرارگرفته و بخش قابل‌توجهی از عرصه‌های منابع طبیعی آن در معرض تخریب و بیابان‌زایی است (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۹۴). معدن سرب و روی مهدی‌آباد یزد، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین معادن سرب و روی خاورمیانه، یکی از مهم‌ترین کانون‌های فعالیت معدنی در این منطقه به‌شمار می‌رود. هرچند این فعالیت‌ها از منظر اقتصادی و اشتغال‌زایی حائز اهمیت هستند، اما پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها، به‌ویژه تخریب پوشش گیاهی و تغییر خصوصیات خاک، به یکی از چالش‌های جدی مدیریت منابع طبیعی در این مناطق تبدیل‌شده است (جوژیان و همکاران، ۱۳۹۵).

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که عملیات معدن‌کاوی تأثیرات مخربی بر پوشش گیاهی مناطق اطراف دارد. لایقی و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی مراتع مرادبیگلو قزوین با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز گزارش کردند که شاخص‌های عملکردی پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی در مناطق مجاور معدن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و مقادیر ماده آلی، فسفر قابل‌جذب، پتاسیم قابل‌جذب و نیتروژن خاک در این مناطق کمتر بود. حسین جعفری (۱۴۰۳) در بررسی اثر معدن بوکسیت اردکان استان یزد گزارش کرد که درصد پوشش فرم‌های رویشی بوته‌ای، فورب، گراس و درختچه در منطقه دور از معدن به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه نزدیک معدن بود. فخیمی (۱۳۹۹) در مطالعه خود در مراتع اطراف معدن مس دره زرشک دریافتند که درصد تاج پوشش گیاهان و ساختار پوشش گیاهی بوته‌ای‌ها، علف گندمیان وچندساله‌ها به‌طور معنی‌داری در نزدیکی معدن کاهش یافتند. منعمی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در مطالعه معدن بوکسیت صدرآباد ندوشن یزد نشان دادند که تولید، درصد پوشش و تراکم فرم‌های رویشی بوته‌ای و گندمی در فاصله بیش از ۵۰۰ متری از معدن افزایش معنی‌داری یافت و تنوع گونه‌ای بر اساس شاخص‌های سیمپسون و شانون- وینر کاهش پیدا کرد. جوژیان و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی معادن گچ و رس دشت سگزی اصفهان نتیجه گرفتند که ساختار و عملکرد مناطق مرجع شامل نفوذپذیری، پایداری و چرخه مواد غذایی خاک وضعیت بهتری نسبت به مناطق معدن‌کاوی شده داشت و تغییرات به وجود آمده گواه افزایش روند بیابان‌زایی منطقه است. علاوه‌بر تأثیر بر پوشش گیاهی، معدن‌کاوی موجب تغییرات چشمگیر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز می‌شود. Pandey et al. (۲۰۱۹) گزارش کردند که دمای خاک و فشردگی ذرات خاک در منطقه معدن‌کاوی شده بیشتر از منطقه شاهد بود و مقادیر pH و کربن آلی خاک نیز در منطقه معدن‌کاوی شده به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. Ahirwal et al. (۲۰۱۷) نشان دادند که EC، pH و چگالی ظاهری در منطقه معدن‌کاوی شده افزایش و مقدار عناصر غذایی کاهش‌یافته است. در مطالعه‌ای روی معدن شیلیت در منطقه نیمه‌خشک برزیل، مشخص شد که فرآیندهای تخریب خاک شامل فشردگی، شور شدن، کاهش مواد آلی و آلودگی به فلزات سنگین است و عناصر کادمیوم، نیکل و سرب از توده‌های باطله آزادشده و از مقادیر مرجع کیفیت خاک فراتر رفتند (Garcia et al., 2025). Wei et al. (۲۰۲۶) مفهوم «وراثت سنگ‌شناسی» را به‌عنوان عامل کلیدی کنترل‌کننده توالی خودبه‌خودی پوشش گیاهی در خاک‌های آلوده معرفی کردند و نشان دادند که سنگ‌شناسی از طریق تنظیم بازخورد خاک-گیاه، به‌طور غیرمستقیم بر مسیر احیای پوشش گیاهی اثر می‌گذارد. Xu and Zhang (۲۰۲۲) عواملی مانند ارتفاع سنگ‌آهک، کربن آلی خاک و ضخامت خاک را به‌عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر احیای پوشش گیاهی در مناطق کارستی معرفی کردند. شواهد بین‌المللی نیز حاکی از آن است که تخریب ناشی از معدن‌کاوی می‌تواند دهه‌ها پس از توقف فعالیت‌ها نیز پایدار بماند. Buczyńska and Blackhowski (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای روی معدن زغال‌سنگ در لهستان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور نشان دادند که تغییرات در پوشش گیاهی و خاک ناشی از فعالیت‌های معدنی در بازه سی‌ساله (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹) قابل ردیابی بوده و حتی پس از بسته شدن معدن، اثرات ثانویه شامل فرونشست، سیلاب‌های محلی و فرسایش توده‌های باطله در منطقه مشاهده‌شده است. Pandey et al. (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای بر روی معادن زغال سنگ نشان دادند که بهبود خصوصیات خاک لزوماً با بازیابی تنوع پوشش گیاهی همراه نیست و اجزای اکوسیستم ممکن است با سرعت‌های متفاوتی بازیابی شوند. Alarcón-Aguirre et al. (۲۰۲۳) در معدن طلای پرو گزارش کردند که حتی پس از ۱۹ سال از رهاسازی، پوشش گیاهی همچنان تحت تسلط گونه‌های پیشگام باقی‌مانده و ترکیب گونه‌ای به مرحله ثانویه اولیه نرسیده است.

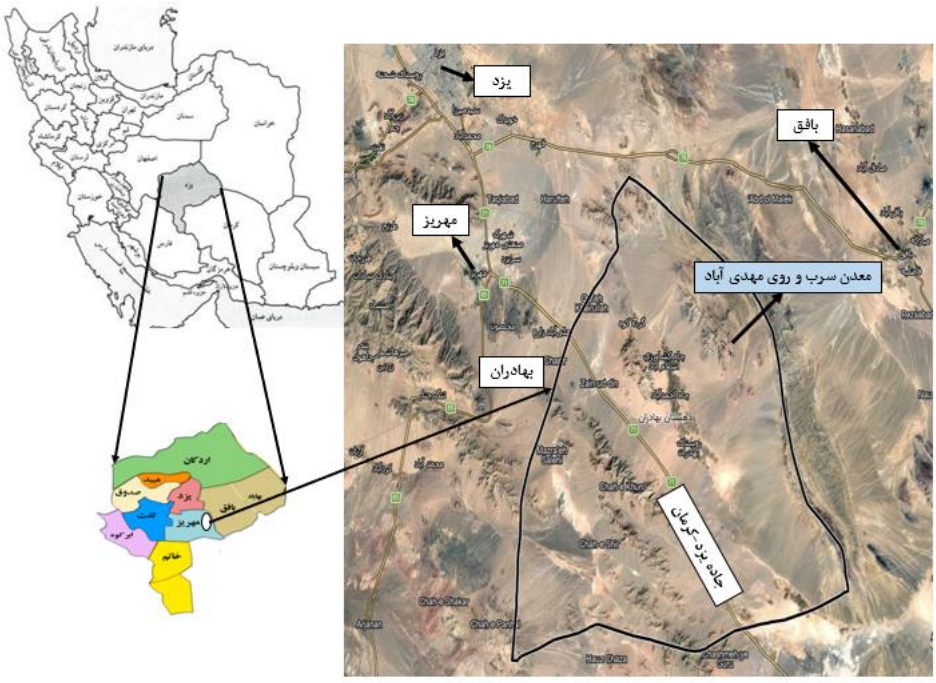
اگرچه اثر معدن‌کاوی بر پوشش گیاهی و خاک در مطالعات متعددی بررسی شده است، اما مطالعه حاضر از چند جنبه متمایز است. این پژوهش نخستین مطالعه در معدن سرب و روی مهدی‌آباد با سنگ میزبان کربناته است و پوشش گیاهی (سه فرم رویشی) و پارامترهای مختلف خاک را به‌صورت همزمان در قالب یک گرادیان مکانی بررسی می کند. همچنین استراتژی‌های سازشی متفاوت فرم‌های رویشی مختلف را در برابر آشفتگی معدن‌کاوی مورد بررسی قرار می‌دهد که در مطالعات قبلی به‌طور اختصاصی گزارش نشده است. در همین راستا، مطالعه حاضر باهدف بررسی تغییرات شاخص‌های

پوشش گیاهی (درصد پوشش، تولید و تراکم فرم‌های رویشی بوته‌ای، علفی و گراس) و ویژگی‌های خاک (pH، EC، آهک، مواد آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و رطوبت) در فواصل مختلف از معدن سرب و روی مهدی‌آباد استان یزد جهت برداشتن گامی فراتر در درک اثرات معدن‌کاوی بر اکوسیستم‌های مرتعی مناطق خشک، طراحی‌شده است. این پژوهش به دنبال پاسخ به این پرسش اساسی است که آیا عملیات معدن‌کاوی موجب ایجاد گرادیان تخریب اکوسیستم در اطراف معدن شده است و واکنش فرم‌های رویشی مختلف به این گرادیان چگونه است. فرضیه اصلی این مطالعه آن است که با افزایش فاصله از معدن، شاخص‌های پوشش گیاهی و کیفیت خاک به‌تدریج بهبود می‌یابند و الگوی تغییرات، گواهی بر تخریب تدریجی اکوسیستم در اثر فعالیت‌های معدن‌کاوی است. نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های احیایی و مدیریت پایدار اکوسیستم‌های مرتعی در مناطق تحت تأثیر معدن‌کاوی مورداستفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

مهدی‌آباد در فاصله تقریبی ۱۱۶ کیلومتری جنوب غربی شهر یزد و در بخش مرکزی ایران مرکزی واقع‌شده است. ناحیه موردمطالعه بخشی بین ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و یک دقیقه طول شرقی در بخش جنوب یزد و جنوب بافق قرارگرفته است (شکل ۱). از نظر آب و هوایی ناحیه موردمطالعه جزء اقلیم‌های نسبتاً خشک و کویری محسوب می‌گردد که به‌طور تقریبی دو تناوب فصلی خشک و گرم، نیمه مرطوب و سرد در ناحیه قابل‌شناسایی است. به‌طوری‌که در اواخر بهار و تابستان، گرم و خشک و در پائیز، زمستان و در اوایل بهار دارای آب‌وهوای معتدل است. حداکثر درجه حرارت در تیرماه ۴۶+ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت در دی‌ماه و بهمن‌ماه تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد می‌رسد. اختلاف درجه حرارت روز و شب با توجه به کویری بودن ناحیه زیاد است. میزان بارندگی سالیانه ۶۰ تا ۷۰ میلی‌متر در سال است. میانگین ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. ناحیه دشت بهادران و ارتفاعات مجاور به‌طرف جنوب و جنوب غرب با شرایط زیست‌محیطی مناسب برای انواع جانوران و گیاهان به‌عنوان ناحیه حفاظت‌شده و تحت نظارت سازمان حفاظت محیط‌زیست استان یزد قرار دارد و اکوسیستم موجود در این ناحیه بسیار جالب و پیچیده بوده که خود ناشی از تنوع گونه‌های جانوری و گیاهی است. گونه غالب منطقه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) است که بخش زیادی از منطقه را در برگرفته است. گونه‌های همراه شامل قیچ (*Zygophyllum sp.*)، کاهوی وحشی (*Scariolla orientalis*)، انواع علف شور (*Salsola sp.*) و ریش بز (*Ephedra sp.*) و گونه های دیگر از گیاهان تیره کاسنی (*Compositae*) ازقبیل هزار خار (*Couisinia sp.*) می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان یزد، ایران

۲-۲-روش تحقیق

جهت بررسی تأثیر عملیات معدن‌کاوی بر پوشش گیاهی و خاک، ابتدا محدوده منطقه بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخص شد. پس از بررسی اولیهٔ مراتع بر روی نقشه و پیمایش‌های زمینی، محدوده منطقه مورد مطالعه مشخص شد و با فواصل معین در محدوده معدن با توجه به

تغییرات فیزیونومی و پوشش گیاهی محدوده نمونه‌برداری در سه منطقه، منطقه ۱ (فاصله صفر تا ۴۰۰ متری از معدن)، منطقه ۲ (۴۰۰ تا ۸۰۰ متر از معدن) و منطقه ۳ (۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از معدن) تعیین گردید، مناطق از نظر سایر عوامل، نظیر عوامل اقلیمی، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب مشابه بودند. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی به‌طور کاملاً تصادفی انجام شد. در بررسی پوشش گیاهی مراتع از پلات‌های دو مترمربعی استفاده شد که مناسب الگوی پراکنش گیاهان در مناطق استپی است (مقدم، ۱۳۷۷؛ مصداقی، ۱۳۸۲). در کل ۱۰ پلات در هر منطقه (در کل ۳۰ پلات) به‌صورت تصادفی مستقر گردید. در هر پلات نوع گونه، تراکم، درصد پوشش و تولید هرگونه گیاهی اندازه‌گیری گردید. جهت نمونه‌برداری از خاک، در هر منطقه، سه پلات تصادفی انتخاب و از هر پلات یک نمونه خاک برداشت شد. بنابراین فاصله بین نمونه‌ها در هر منطقه تصادفی بود. نمونه‌برداری از عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متری (لایه سطحی) انجام شد، زیرا این عمق بیشترین تأثیر را از فعالیت‌های معدن‌کاوی و گرد و غبار ناشی از آن می‌پذیرد و محل اصلی استقرار ریشه گیاهان مرتعی است. در کل ۹ نمونه خاک (۳ منطقه × ۳ تکرار) برای تجزیه فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. درآزمایشگاه رطوبت به روش وزنی، بافت خاک به روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین، آهک به روش تتیراسیون با سود یک درصد نرمال، مواد آلی به روش تیتراسیون با فروسولفات آمونیوم ۰/۵ نرمال، pH با الکترود pH متر، هدایت الکتریکی بادستگاه EC سنج و عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲). در انتها داده‌های جمع‌آوری‌شده با نرم‌افزار SPSS 20 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳- نتایج

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های درصد پوشش، تولید و تراکم نشان داد که عملیات معدن‌کاوی تأثیر معنی‌داری بر تمام پارامترهای مذکور داشت ($p<0/01$) (جداول ۱، ۲ و ۳). مقایسه میانگین درصد پوشش در فواصل مختلف معدن نشان داد که کمترین درصد پوشش فرم‌های بوته‌ای و علفی به ترتیب با ۴/۲۱ و ۰/۵۹ درصد در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین درصد پوشش فرم‌های بوته‌ای و علفی به ترتیب با ۱۱/۰۲ و ۲/۸۸ درصد در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از معدن است (جدول ۱). همچنین بیشترین درصد پوشش گراس‌ها (۰/۶۲درصد) در دورترین فاصله معدن (۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری) مشاهده شد. درصد پوشش کل در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ با ۱۴/۵۲ درصد افزایش معنی‌داری نسبت به دو منطقه دیگر داشت (جدول ۱).

جدول (۱): آنالیز واریانس و مقایسه میانگین درصد پوشش فرم‌های رویشی مختلف در منطقه مهدی‌آباد استان یزد

پارامترها	فواصل مختلف از معدن (متر)			میانگین مربعات	df	F
	صفر تا ۴۰۰	۴۰۰ تا ۸۰۰	۸۰۰ تا ۱۲۰۰			
بوته‌ای	۴/۲۱^{c}	۷/۷۳^{b}	۱۱/۰۲^{a}	۳۳/۲۵	۲۹	۵/۱۵**
علفی	۰/۵۹^{c}	۱/۶۱^{b}	۲/۸۸^{a}	۰/۵۴	۲۹	۳/۳۱**
گراس	۰/۲^{b}	۰/۳^{b}	۰/۶۲^{a}	۰/۸۴	۲۹	۲/۵۳**
کل	۵^{c}	۹/۶۴^{b}	۱۴/۵۲^{a}	۴۵/۲۳	۲۹	۴/۱۹**

(**: معنی‌داری در سطح ۱درصد)، حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف آماری در سطح ۱ درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های تولید نشان داد که عملیات معدن‌کاوی تأثیر معنی‌داری بر تولید فرم‌های رویشی مختلف داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین تولید در فواصل مختلف از معدن نشان داد که کمترین میزان تولید فرم‌های بوته‌ای، علفی و گراس به ترتیب با ۴/۱۱، ۰/۴۹ و ۰/۰۸ گرم در مترمربع در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین میزان تولید فرم‌های بوته‌ای، علفی و گراس به ترتیب با مقادیر ۷/۸۵، ۱/۹۸ و ۰/۱۹ گرم در مترمربع در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از معدن مشاهده شد. همچنین بیشترین تولید کل (۱۰/۰۲ گرم در مترمربع) در دورترین فاصله از معدن (۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری) ثبت شد. تولید کل در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری با ۱۰/۰۲ گرم در مترمربع افزایش معنی‌داری نسبت به دو منطقه دیگر داشت (جدول ۲).

جدول (۲): آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تولید (گرم بر مترمربع) فرم‌های رویشی مختلف در منطقه مهدی‌آباد استان یزد

پارامترها	فواصل مختلف از معدن (متر)			میانگین مربعات	df	F
	صفر تا ۴۰۰	۴۰۰ تا ۸۰۰	۸۰۰ تا ۱۲۰۰			
بوته‌ای	۴/۱۱^{b}	۳/۸۲^{b}	۷/۸۵^{a}	۳۷/۳۴	۲۹	۴/۲۳*
علفی	۰/۴۹^{c}	۰/۸۲^{b}	۱/۹۸^{a}	۰/۸۹	۲۹	۲/۱۲**
گراس	۰/۰۸^{b}	۰/۱۱^{b}	۰/۱۹^{a}	۰/۸۴	۲۹	۲/۲۱*
کل	۴/۶۸^{b}	۴/۷۵^{b}	۱۰/۰۲^{a}	۳۴/۱۴	۲۹	۴/۳۵**

(**: معنی‌داری در سطح ۱درصد)، (*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد)، حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف آماری در سطح ۱ درصد می‌باشد.

با توجه به جدول (۳)، آنالیز واریانس داده‌های تراکم نشان داد که عملیات معدن‌کاوی تأثیر معنی‌داری بر تراکم فرم‌های علفی، گراس و تراکم کل داشت، اما بر تراکم فرم بوته‌ای اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین تراکم در فواصل مختلف از معدن نشان داد که کمترین تراکم فرم‌های علفی و گراس به ترتیب با ۲/۷۹ و ۴/۰۶ در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین تراکم فرم‌های علفی و گراس به ترتیب با ۷/۷۸ و ۱۳/۵۶ در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از معدن مشاهده شد. تراکم فرم بوته‌ای در هیچ‌یک از فواصل اختلاف معنی‌داری نشان نداد. تراکم کل در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری با ۲۳/۲۳ بیشترین مقدار را داشت و اختلاف معنی‌داری با دو منطقه دیگر نشان داد (جدول ۳).

جدول (۳): آنالیز واریانس و مقایسه میانگین تراکم (تعداد در واحد سطح) فرم‌های رویشی مختلف در منطقه مهدی‌آباد استان یزد

پارامترها	فواصل مختلف از معدن (متر)			میانگین مربعات	df	F
	صفر تا ۴۰۰	۴۰۰ تا ۸۰۰	۸۰۰ تا ۱۲۰۰			
بوته‌ای	۱/۶۲^{a}	۱/۷۲^{a}	۱/۸۹^{a}	۵/۲۵	۲۹	۳/۷۲^{ns}
علفی	۲/۷۹^{c}	۳/۴۴^{b}	۷/۷۸^{a}	۴۰/۱۲	۲۹	۲/۲۷**
گراس	۴/۰۶^{c}	۵/۱۹^{b}	۱۳/۵۶^{a}	۴۳/۳۴	۲۹	۴/۴۲**
کل	۸/۴۷^{c}	۱۰/۳۵^{b}	۲۳/۲۳^{a}	۶۵/۵۵	۲۹	۵/۷۵**

(**:معنی‌داری در سطح ۱درصد)، (^{ns}: عدم معنی‌داری)، حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف آماری در سطح درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس پارامترهای خاک نشان داد که عملیات معدن‌کاوی تأثیر معنی‌داری بر pH، EC و آهک خاک داشت، اما بر مواد آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و رطوبت خاک اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین pH خاک نشان داد که بیشترین مقدار pH (۷/۸۷) در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و کمترین مقدار آن (۷/۲) در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از معدن مشاهده شد. در مورد EC، برخلاف pH، کمترین مقدار (۰/۶۹ dS/m) در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین مقدار (۰/۹۸ dS/m) در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری ثبت شد. میزان آهک خاک نیز از ۲۶/۷ درصد در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری به ۱۸/۸ درصد در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری کاهش یافت. سایر پارامترهای خاک شامل مواد آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و رطوبت خاک در فواصل مختلف از معدن اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴).

جدول (٤): آنالیز واریانس و مقایسه میانگین پارامترهای خاک در منطقه مهدی‌آباد استان یزد

پارامترها	فواصل مختلف از معدن (متر)			میانگین مربعات	df	F
	صفر تا ۴۰۰	۴۰۰ تا ۸۰۰	۸۰۰ تا ۱۲۰۰			
PH	۷/۸۷^{a}	۷/۶۳^{b}	۷/۲^{c}	۰/۳۳	۸	۴/۲۷**
EC (dS/m)	۰/۶۹^{c}	۰/۸۲^{b}	۰/۹۸^{a}	۲/۵۴	۸	۲۰/۳**
آهک(درصد)	۲۶/۷^{a}	۲۴/۹^{b}	۱۸/۸^{c}	۵۹/۲۳	۸	۷/۳**
مواد آلی(درصد)	۰/۲۳^{a}	۰/۳۳^{a}	۱/۰۸^{a}	۰/۸۶	۸	۲/۲۹^{ns}
N (ppm)	۰/۰۲^{a}	۰/۰۳^{a}	۰/۰۶^{a}	۰/۰۰۳	۸	۲/۶۷^{ns}
P (ppm)	۵/۶۹^{a}	۵/۸۱^{a}	۵/۸۱^{a}	۱/۱۲	۸	۲/۲^{ns}
K (ppm)	۰/۷۳^{a}	۰/۷۳^{b}	۰/۸۲^{c}	۰/۸۷	۸	۲/۴۳^{ns}
رطوبت خاک (درصد)	۱۸/۵۸^{a}	۱۸/۶۹^{a}	۱۹/۲^{a}	۲۲/۲۰	۸	۲/۱۲^{ns}

(**:معنی‌داری در سطح ۱درصد)،(^{ns}: عدم معنی‌داری)، حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف آماری در سطح ۱ درصد می‌باشد.

٤- بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش نشان داد که عملیات معدن‌کاوی در معدن مهدی‌آباد یزد موجب ایجاد گرادیان تخریب در شاخص‌های پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک شده است. الگوی کلی تغییرات به‌گونه‌ای است که با افزایش فاصله از معدن، پوشش گیاهی بهبودیافته و برخی پارامترهای خاک نیز روند تغییر معنی‌داری نشان می‌دهند.

٤-١- پارامترهای پوشش گیاهی

کمترین درصد پوشش فرم‌های بوته‌ای، علفی و گراس در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین مقادیر در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری مشاهده شد. کاهش پوشش گیاهی در نزدیکی معدن می‌تواند ناشی از چند عامل باشد: نخست، تخریب مستقیم ناشی از خاک‌برداری و جابه‌جایی خاک که منجر به حذف پوشش گیاهی موجود می‌شود. دوم، گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های معدنی که با نشستن بر روی اندام‌های هوایی گیاهان، فتوسنتز و تبادلات گازی را مختل می‌کند. سوم، تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک که استقرار و رشد گیاهان را دشوار می‌سازد. این یافته با نتایج لایقی و همکاران (۱۴۰۲) که کاهش شاخص‌های عملکردی پایداری و چرخه مواد غذایی را در مناطق مجاور معدن گزارش کردند، هم‌راستا است. حسین جعفری (۱۴۰۳) نیز در مطالعه معدن بوکسیت اردکان یزد گزارش کرد که درصد پوشش فرم‌های رویشی بوته‌ای، فورب، گراس و درختچه در منطقه دور از معدن به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه نزدیک معدن بود. منعمی و همکاران (۱۳۹۵) نیز کاهش پوشش و تنوع گونه‌ای را در نزدیکی معدن بوکسیت صدرآباد ندوشن نشان دادند. جوژیان و همکاران (۱۳۹۵) نیز تغییرات پوشش گیاهی و خاک در معادن گچ و رس دشت سگزی اصفهان را گواه افزایش روند بیابان‌زایی منطقه دانستند. درصد پوشش کل در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری با ۱۴/۵۲ درصد افزایش معنی‌داری نسبت به دو منطقه دیگر داشت. این افزایش می‌تواند به دلیل کاهش شدت آشفتگی‌های معدنی با فاصله گرفتن از معدن و فراهم شدن شرایط مناسب‌تر برای استقرار گیاهان باشد.

نتایج تولید نیز الگوی مشابهی با پوشش نشان داد. کمترین تولید فرم‌های بوته‌ای، علفی و گراس در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین مقادیر در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری مشاهده شد. کاهش تولید در نزدیکی معدن می‌تواند ناشی از کاهش پوشش گیاهی، کاهش عمق خاک قابل‌استفاده برای ریشه، و افزایش تنش‌های محیطی (شوری، کمبود مواد مغذی، فلزات سنگین) باشد. Pandey et al. (۲۰۱۹) گزارش کردند که دمای خاک و فشردگی

ذرات خاک در منطقه معدن‌کاوی شده بیشتر از منطقه شاهد بود و مقادیر pH و کربن آلی خاک نیز در منطقه معدن‌کاوی شده به‌طور معنی‌داری کمتر بود. Ahirwal et al. (۲۰۱۷) نیز کاهش عناصر غذایی را در مناطق معدن‌کاوی شده گزارش کردند. این عوامل می‌توانند به کاهش تولید گیاهی منجر شوند. مطالعه حاضر نشان داد که تولید کل در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری با ۱۰/۰۲ گرم در مترمربع بیشترین مقدار را داشت. این نتیجه با یافته‌های Buczyńska et al. (۲۰۲۳) که نشان دادند تغییرات پوشش گیاهی و خاک ناشی از معدن‌کاوی در بازه سی‌ساله قابل‌ردیابی است، هم‌سو است. همچنین Alarcón-Aguirre et al. (۲۰۲۳) گزارش کردند که حتی پس از ۱۹ سال از رهاسازی معدن طلا در پرو، پوشش گیاهی همچنان تحت تسلط گونه‌های پیشگام باقی‌مانده است که نشان‌دهنده کندی فرآیند احیای طبیعی است.

نتایج تراکم نشان داد که فرم‌های علفی و گراس در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری بیشترین تراکم را دارند، اما تراکم فرم بوته‌ای در فواصل مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداد. این تفاوت واکنش فرم‌های رویشی می‌تواند ناشی از تفاوت در مقاومت و استراتژی‌های سازشی آن‌ها باشد. فرم‌های بوته‌ای به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر و توانایی بیشتر در تحمل شرایط استرس زنده، کمتر تحت تأثیر آلودگی‌های سطحی خاک قرار می‌گیرند، درحالی‌که فرم‌های علفی و گراس باریشه‌های سطحی‌تر، حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات خاک سطحی ناشی از معدن‌کاوی نشان می‌دهند. Wei et al. (۲۰۲۶) نیز تأکید کردند که وراثت سنگ‌شناسی و بازخورد خاک–گیاه می‌تواند بر سرعت و مسیر احیای پوشش گیاهی اثر بگذارد.

٤-۲- پارامترهای خاک

عملیات معدن‌کاوی تأثیر معنی‌داری بر pH خاک داشت ($p<0/01$). بیشترین مقدار pH (۷/۸۷) در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و کمترین مقدار (۷/۲) در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری مشاهده شد. افزایش pH در نزدیکی معدن می‌تواند ناشی از جابه‌جایی خاک و نزدیک شدن کربنات‌ها به سطح باشد. معدن مهدی‌آباد دارای سنگ میزبان کربناته است و گردوغبار ناشی از فعالیت‌های معدنی می‌تواند موجب افزایش pH در نزدیکی معدن شود. این نتیجه با یافته‌های Asadi et al. (۲۰۲۵) و لشکری صنعی و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارد. همچنین فتوحی (۱۳۸۵) تغییرات pH را در نتیجه جابه‌جایی خاک گزارش کرده است. میزان آهک خاک از ۲۶/۷ درصد در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری به ۱۸/۸ درصد در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری کاهش یافت. این کاهش می‌تواند ناشی از جابه‌جایی خاک و تجمع کربنات‌ها در نزدیکی معدن باشد. Xu n Zhang (۲۰۲۲) عواملی مانند ارتفاع سنگ‌آهک و کربن آلی خاک را به‌عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر احیای پوشش گیاهی معرفی کردند. در مورد EC، کمترین مقدار (۰/۶۹) در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری و بیشترین مقدار (۰/۹۸) در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری ثبت شد. این نتیجه با یافته‌های لشکری صنعی و همکاران (۱۴۰۰) که کاهش EC را در نزدیکی معدن گزارش کردند، مطابقت دارد. کاهش EC در نزدیکی معدن ممکن است به دلیل جابه‌جایی خاک، فرسایش و آبشویی ذرات خاک باشد. Ahirwal et al. (۲۰۱۷) افزایش EC را در مناطق معدن‌کاوی شده گزارش کردند که بامطالعه حاضر متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع ماده معدنی، اقلیم و شدت فعالیت‌های معدنی باشد.

سایر پارامترهای خاک شامل مواد آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و رطوبت خاک در فواصل مختلف از معدن اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. عدم معنی‌داری این پارامترها می‌تواند به دلیل مقیاس مکانی مطالعه، شدت و مدت فعالیت‌های معدنی، و ویژگی‌های خاک منطقه باشد. بااین‌حال، روند کاهشی مواد آلی از ۰/۲۳ درصد در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری به ۱/۰۸ درصد در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متری مشاهده شد که هرچند ازنظر آماری معنی‌دار نبود، اما جهت تغییرات با انتظارات مطابقت دارد. Garcia et al. (۲۰۲۵) کاهش مواد آلی و آلودگی به فلزات سنگین را در معدن شیلیت برزیل گزارش کردند. همچنین Suryadi et al. (۲۰۲۶) نشان دادند که بهبود خصوصیات خاک لزوماً با بازیابی تنوع پوشش گیاهی همراه نیست و اجزای اکوسیستم ممکن است با سرعت‌های متفاوتی بازیابی شوند.

۵- نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که عملیات معدن‌کاوی در معدن مهدی‌آباد یزد موجب ایجاد گرادیان تخریب در اکوسیستم مرتعی اطراف شده است. با افزایش فاصله از معدن، درصد پوشش، تولید و تراکم فرم‌های رویشی (به‌ویژه علفی و گراس) به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در مورد خاک، pH و آهک در نزدیکی معدن بیشتر و EC در فواصل دورتر بیشتر بود، درحالی‌که سایر پارامترهای خاک تغییر معنی‌داری نشان ندادند. الگوی کلی تغییرات نشان‌دهنده آن است که اثر تخریبی معدن‌کاوی بر پوشش گیاهی در محدوده نزدیک معدن (تا حدود ۴۰۰ متری) متمرکز است و با افزایش فاصله، شرایط برای استقرار و رشد گیاهان بهبود می‌یابد. این یافته‌ها بر ضرورت اجرای برنامه‌های احیایی در مناطق تحت تأثیر معدن‌کاوی، به‌ویژه در محدوده نزدیک معدن، تأکید می‌کند. با توجه به اینکه معدن مهدی‌آباد یکی از بزرگ‌ترین معادن سرب و روی منطقه است و فعالیت آن می‌تواند اثرات تجمعی بر اکوسیستم‌های اطراف داشته باشد، پیشنهاد می‌شود مطالعات تکمیلی با تمرکز بر آلودگی فلزات سنگین، فعالیت میکروبی خاک و پایش بلندمدت تغییرات پوشش گیاهی در این منطقه انجام شود.

٦- سپاسگزاری

این مقاله از پژوهش‌های انجام‌شده در طول دوره فرصت ارتباط با صنعت (تابستان ۱۴۰۳ (دوره اول) و تابستان ۱۴۰۴ (دوره دوم)) استخراج شده است. بدین‌وسیله از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان یزد و مدیریت گروه کارآفرینی و ارتباط با صنعت و جامعه دانشگاه تربت حیدریه جهت فراهم نمودن مقدمات اجرای این پژوهش قدردانی و سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

جعفری حقیقی، م. (۱۳۸۲)، روش‌های تجزیه خاک، نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تاکید بر اصول تئوری و کاربردی. تهران: نشر ندای ضحی، ۲۴۰ص.

جوژیان، ا.، بشری، ح.، پهلوانروی، ا.، و آجرلو، م. (۱۳۹۵). تأثیر استخراج معادن رس و گچ بر وضعیت پوشش گیاهی و خاک اکوسیستم مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت سگزی اصفهان). بوم‌شناسی کاربردی، (۱۵)۵، ۷۵-۶۵.

حسین جعفری، س. (۱۴۰۳). تأثیر عملیات معدن‌کاوی بر تغییرات پوشش گیاهی، تنوع و غنای گونه‌ای مراتع اطراف معدن بوکسیت اردکان، استان یزد. ششمین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ۸-۱، خرداد ۱۳۹۵.

سلیمانی ساردو، م.، روستایی، ف.، رنجبر فردوئی، ا.، قضاوی، ر.، و ولی، ع. (۱۳۹۴). ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی با استفاده از روش ESAs (پژوهش موردی: دشت یزد-اردکان). پژوهش‌های حفاظت آب وخاک، (۲)۲۲، ۲۰۴-۱۹۱.

فتوحی، ا. (۱۳۸۵). بررسی تأثیر معدن‌کاوی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۵۰ص.

فخیمی، ا. (۱۳۹۹). تأثیر معدنکاری بر تغییرات تنوع، غناو ساختار پوشش گیاهی مراتع (مطالعه موردی: معدن مس دره زرشک، استان یزد، ایران). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۴)۲۷، ۷۸۱-۷۷۲.

لایقی، ن.، جوادی، س. ا.، جعفری، م.، و ارزانی، ح. (۱۴۰۲). بررسی اثرات بهره‌برداری از معادن بر ساختار و عملکرد پوشش گیاهی و خاک سطحی مراتع (مطالعه موردی: مراتع بوئین‌زهرا). مرتع، (۳)۱۷، ۳۴۵-۳۳۳.

لشکری صنعی، ن.، قربانی، ج.، زالی، س. ح.، و وهاب‌زاده، ق. (۱۴۰۰). آشیان بهینه خاک برای برخی از گیاهان مرتعی پیشگام در باطله‌های زغال سنگ در معادن کارمزد سوادکوه، استان مازندران. مرتع، (۱)۱۶، ۱۶-۱.

مصداقی، م.، (۱۳۸۲). مرتعداری در ایران. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.، ۳۳۳ص.

مقدم، م.ح.، (۱۳۸۸). مرتع و مرتعداری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، ۴۷۰ص.

منعمی، ن.، جعفری، م.، آذرنیوند، ح.، و زارع چاهوکی، م. ع. (۱۳۹۵). بررسی اثر معدن‌کاوی بوکسیت بر پوشش گیاهی و خاک (مطالعه موردی: معدن صدرآباد ندوشن یزد). مرتع، (۳)۱۰، ۲۶۵-۲۵۰.

Ahirwal, J., Maiti, S.K. and Singh, A.K. (2017). Changes in ecosystem carbon pool and soil Co2 flux following post-mine reclamation in dry tropical environment, India. *Science of The Total Environment*, 583, 153-162.

Alarcón-Aguirre, G., Quispe, E.S., Zavaleta, T.V., Tejada, L.V. P., Enciso, D.R., Achata, L.R., and Garate-Quispe, J. (2023). Vegetation dynamics in lands degraded by gold mining in the southeastern Peruvian Amazon. Trees, Forests and People, 11(2), 100369.

Asadi Ooriad, F., Gholamnejad, J., and Dabagh, A. (2026). Development of a Long-term Mining Production Planning Model Considering Working Spaces for In-pit Crushers. Journal of Mining and Environment, 17(3), 1145-1162.

Buczyńska, A., and Blachowski, J. (2023). Proposal of a new Mining and Geology Impact Factor (MaGIF) index for the study of post-mining environment. Catena, 232, 107463.

Garcia, K.G., Almeida, M.S., Martins, T.S., Barbosa, F.L., Filho, C.D. T., Araujo, A.S., and Pereira, A.P. (2025). Soil health assessment and ecological risks associated with a tungsten-rich Scheelite mining site in a Brazilian semiarid region. Scientific Reports, 15(1), 41975.

Pandey, B., Mukherjee, A., Agrawal, M., and Singh, S. (2019). Assessment of seasonal and site-specific variations in soil physical, chemical and biological properties around opencast coal mines. Pedosphere, 29(5), 642-655.

Pandey, M., Mishra, A., Swamy, S.L., Anderson, J.T., and Thakur, T.K. (2025). Machine learning-bsed monitoring of land cover and reclamation plantations on coal-mined landscape using sentinel 2 data. Environmental and Sustainability Indicators, 25, 100585.

Suryadi, U. E. (2026). Evaluating reclamation effectiveness and ecosystem recovery trajectories following tropical bauxite mining in Indonesia. *Environmental Challenges*, 101647.

Wei, Z., Zhao, Y., He, L., Wang, G., Hong, X., Ashuo, K., Zhou, S. and Li, M. (2026). Lithological Inheritance Governs Spontaneous Vegetation Succession on Contaminated Soils and Indirectly Regulates Soil–Plant Uranium Transfer in High-Altitude Mine Wastelands, Southwest China. Plants, 15(6), 854.

Xu, E., and Zhang, H. (2022). A stratified environmental reference system for better understanding of the relationship between remote sensing observations and ground monitoring of karst rocky desertification. Land Degradation & Development, 33(9), 1366-1382.

Management of Natural Ecosystems
Volume 6, Issue 3, Atumn 2026, 34-41
http://emj.ardakan.ac.ir/article_742905.html

Ecosystem Degradation Gradient in Surrounding the Mehdi-Abad Mine in Yazd: Changes in Vegetation and Soil

Samira Hossein Jafari[1*]

CC BY

Research Article

1. Assistant Professor, Department of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

s.jafari@torbath.ac.ir
* Corresponding author

Article Code: 2609-1207
Countinus Pagination: 1431-1438

Received: 26 September 2026
Accepted: 12 October 2026
Online: 16 October 2026
Review speed: 17 days

Citation:
Hossein Jafari, S. (2026). Ecosystem Degradation Gradient in Surrounding the Mehdi-Abad Mine in Yazd: Changes in Vegetation and Soil. Management of Natural Ecosystems, 6(3), 34-41.

Abstract

Mining activities, as one of the most significant human disturbances, affect rangeland ecosystems in arid regions. This study was designed toinvestigate changes in vegetation indices and soil properties at different distances from the Mehdi-Abad lead and zinc mine in Yazd. Vegetation sampling was conducted using 30 plots of 2 m² each, and soil sampling was performed at three distances from the mine: 0-400, 400-800, and 800-1200 m. The results showed that distance from the mine had a significant effect on vegetation cover percentage, production, and density of growth forms, as well as soil pH, EC, and lime content ($p<0.01$). The lowest percentages of shrub and herbaceous cover were 4.21% and 0.59% at 0-400 m, respectively, while the highest values were 11.02% and 2.88% at 800-1200 m, respectively. Total production increased from 4.68 (g/m²) at 0-400 m to 10.02 (g/m²) at 800-1200 m, and total density increased from 8.47 to 23.23 per unit area across the same distances. Soil pH decreased from 7.87 at 0-400 m to 7.2 at the farthest distance, while EC showed an inverse trend over the same distances (from 0.69 to 0.98). Soil lime content also decreased from 26.7% at the nearest distance to 18.8% at the farthest distance. The findings indicate that establishment and growth gradually improve with increasing distance from the mine. These results can serve as a basis for management and reclamation planning in areas affected by mining activities, while maintaining a balance between resource exploitation and natural resource conservation.

Key Words:

Mining disturbance, Vegetation, Soil, Degradation, Arid rangelands.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2026.2107056.1207