Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 41, October 2024

Investigation of the environmental and economic damages of the Sang Darka-Amol coal mine to the soil, understory vegetation, and forest trees

Davoud Kartoolinejad[1*], Hasan Bashiri[2], Mohammad Rahimi[3]

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Arid-land Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran
2. MSc graduate student of Forest Science, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran
3. Professor of Climatology, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 03 March 2024
Revised: 22 June 2024
Accepted: 21 July 2024

Keywords:
Biodiversity indices, Environmental damages, Economic investigation, Hyrcanian forests, Mining, Standing trees.

ABSTRACT

Coal mining in any part of the world has always caused great damage to the landscapes, nature, and biological communities of fauna and flora. The current study was carried out to investigate the environmental and economic damages caused by the activity of the Sang Darka Amol coal mine. To record the characteristics of the trees outside the mining area, transects were laid in four main geographical directions, and 1000 square meter circular plots were measured on them at distances of 50, 100, 150, 200, and 250 meters and compared with control samples. To quantify the understory vegetation biodiversity indices, 3 square plots of 1.5 x 1.5 meters were measured in each of the 5 distances and compared with the control sample plots. The results showed that the biodiversity and richness indices of understory vegetation at distances of 50, 100, and 150 meters from the edge of the mine were more diminished than at distances of 200 and 250 meters. The abundance, basal area, and commercial value of the standing trees at distances of 50 and 100 meters from the edge of the mine had the lowest values. Due to the presence of the main species and the higher successional state of the forest at distances of 250 m and more, the biodiversity of herbaceous species and the density and composition of forest trees had been improved. In 50 and 100 m of the mine, light-demanding and opportunistic herbaceous species such as raspberry, sedge, bracken, and nettles were observed due to increased light intensity. They decreased tree canopy density while moving away from the mine margin shade-tolerant herbaceous species such as wavyleaf basketgrass, sweet violet, wood spurge, purple cyclamen, and even primrose became more dominant due to increased tree canopy density and percentage. According to the amount of soil excavation, the amount of economic damage caused by the mine activities along the 1.7 km road and the width of 50 m (area 8.5 hectares) was equal to 1.989.960.000 Rials. The economic damage caused by the complete removal of 1700 forest trees in the mentioned area was calculated to be 6,960,000,000 Rials. The total damages of soil destruction and forest tree removal in this mine were estimated at 8,919,960,000 rials. Based on the results, it is suggested to adopt a new approach to the non-issuance of exploitation licenses for low-yield mines in the forest with very high value of landscape, biodiversity, and recreation, such as the Hyrcanian forests, and the needed coal of the country be provided from the mineral reserves of the provinces located outside the Hyrcanian forests.

Cite this article: Kartoolinejad, D., Bashiri, H., & Rahimi, M. (2024). Investigation of the environmental and economic damages of Sang Darka-Amol coal mine to the soil, understory vegetation, and forest trees. Journal of Natural Environmental Hazards, 13(41), 151-168. DOI: 10.22111/jneh.2024.48099.2030

© Davoud Kartoolinejad Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.48099.2030

* Corresponding Author Email: kartooli58@semnan.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir
مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۱، مهر ۱۴۰۳

ارزیابی خسارت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی معدن زغال‌سنگ سنگ دَرکا–آمل بر خاک، پوشش گیاهی و درختان جنگلی

داود کرتولی نژاد[1*]، حسن بشیری[2]، محمد رحیمی[3]

۱. استادیار گروه جنگلداری مناطق خشک دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول)
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم جنگل دانشگاه سمنان
۳. استاد گروه بیابانزدایی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، سمنان

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۴/۳۱

واژه‌های کلیدی:
شاخص‌های تنوع‌زیستی، آسیب‌های زیست‌محیطی، ارزیابی اقتصادی، جنگل‌های هیرکانی، استخراج معدن، درختان سرپا.

چکیده

استخراج معادن زغال‌سنگ در هر نقطه از جهان همواره صدمات هنگفتی برای چشم‌اندازهای طبیعی و جوامع بیولوژیکی فون و فلور به همراه داشته است. مطالعه حاضر با هدف بررسی خسارت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از فعالیت معدن زغال‌سنگ سنگ درکا آمل انجام شد. برای ثبت خصوصیات درختان در خارج از محدوده معدن، ترانسکت‌هایی در چهار جهت اصلی پیاده شد و بر روی آنها پلات‌های دایره‌ای ۱۰۰۰ متر مربعی در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ متری اندازه گیری و با قطعات نمونه شاهد مقایسه شد. جهت اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی، تعداد ۳ پلات مربعی ۱/۵×۱/۵ متر در هر یک از فواصل ۵ گانه در هر جهت جغرافیایی اندازه‌گیری و با قطعات نمونه شاهد مقایسه شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های تنوع زیستی و غنای گونه‌ای پوشش علفی در فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری از حاشیه معدن دارای وضعیت نامساعدتری نسبت به فواصل ۲۰۰ و ۲۵۰ متری بودند. فراوانی، سطح مقطع و ارزش تجاری درختان سرپا در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ متری از حاشیه معدن دارای کمترین مقدار بود. وضعیت تنوع زیستی گونه‌های علفی و تراکم و ترکیب درختان جنگلی به دلیل حضور گونه‌های اصلی و کلیماکس جنگل در فواصل ۲۵۰ متری و بیشتر، بهتر شده بود. در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ متر از محدوده معدن غالبیت گونه‌های علفی شدیداً نورپسند و فرصت‌طلبی همچون تمشک، کارکس، سرخس عقابی و گزنه به‌واسطه افزایش شدت نور و کاهش تراکم تاج‌پوشش درختان سرپا مشاهده شد؛ درحالی‌که با فاصله‌گرفتن از حاشیه معدن به دلیل افزایش تراکم درختان سرپا و افزایش درصد تاج‌پوشش، غالبیت گونه‌های سایه پسند علفی النا، بنفشه، فرفیون، سیکلمن و حتی پامچال بیشتر شد. با توجه به حجم عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی میزان خسارت ایجادشده در این معدن با طول مسیر ۱/۷ کیلومتر و عرض تخریب ۵۰ متر (مساحت ۸/۵ هکتار) برابر ۱/۹۸۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال بوده است. خسارت اقتصادی قطع کامل ۱۷۰۰ اصله درخت جنگلی برابر ۶/۹۶۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال برآورد شد. مجموع خسارات تخریب خاک و درختان جنگلی در این معدن ۸/۹۴۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال برآورد گردید. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌گردد رویکرد جدیدی نسبت به عدم صدور پروانه بهره‌برداری برای معادن کم‌بازده در جنگل‌هایی با ارزش چشم‌انداز، تنوع زیستی و تفرجی بسیار بالا همچون جنگل‌های هیرکانی اتخاذ گردد و زغال‌سنگ موردنیاز کشور از سایر ذخایر معدنی موجود در استان‌های خارج از محدوده جنگل‌های هیرکانی تأمین گردد.

استناد: کرتولی نژاد، داود، بشیری، حسن، رحیمی، محمد. (۱۴۰۳). ارزیابی خسارت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی معدن زغال‌سنگ سنگ دَرکا-آمل بر خاک، پوشش گیاهی و درختان جنگلی. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۱)، ۱۵۱-۱۶۸. DOI: 10.22111/jneh.2024.48099.2030

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© داود کرتولی نژاد*، حسن بشیری، محمد رحیمی.

*- داود کرتولی نژاد (نویسنده مسئول)
Email: kartooli58@semnan.ac.ir

مقدمه

در طول دوره تاریخی اخیر صنعتی شدن در سرتاسر جهان، پیشرفت جوامع انسانی ارتباط نزدیکی با میزان انرژی مورد استفاده داشته است؛ به‌طوری‌که همچنان انرژی صنایع پایه در جهان بیشتر از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ، گاز و... تولید می‌شود. در حال حاضر زغال‌سنگ دومین منبع بزرگ انرژی است که ۲۴ درصد از کل انرژی مصرفی در سطح جهان را تشکیل می‌دهد (آهیروال و مایتی[۱]، ۲۰۱۶؛ پاندی و همکاران[۲]، ۲۰۱۴).

تاکنون چه کشورهای توسعه‌یافته و چه اقتصادهای نوظهور، تقاضای فزاینده‌ای برای استخراج معادن بیشتر زغال‌سنگ داشتند به‌طوری‌که تجارت جهانی زغال‌سنگ به طور پیوسته از ۳۸۶ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به ۴۶۸ میلیون تن در سال ۱۹۹۵ و به ۱۹۲۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته است (فتاح[۳]، ۲۰۰۸؛ موندال و همکاران[۴]، ۲۰۲۰). چراکه منابع معدنی زغال‌سنگ اساس سوخت و تامین انرژی در صنایع پایه و مادر را در جوامع انسانی تشکیل داده و پیشرفت کشورها همواره به آن وابسته بوده است. بنابراین شتاب استخراج زغال‌سنگ به توسعه اقتصاد محلی و کشورها منجر می‌گردد (گوسوامی[۵]، ۲۰۱۵؛ موندال و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژائو و همکاران[۶]، ۲۰۲۰؛ فینکلمن و همکاران[۷]، ۲۰۲۱).

از مهم‌ترین ویژگی‌های سوخت زغال‌سنگ، تجدیدناپذیری، کمیابی، توزیع نابرابر در کشورها و البته مخرب بودن برای محیط‌زیست است. به هر جهت، فرایند بهره‌برداری، حمل‌ونقل و فراوری منابع زغال‌سنگ از یک سو توسعه اقتصاد کشورها را سرعت می‌بخشد و از سوی دیگر باعث ایجاد مشکلات مختلف اکولوژیکی و زیست‌محیطی در هر منطقه از جهان می‌شود که نمی‌توان آنها را نادیده گرفت؛ بنابراین، شناخت اثرات بهره‌برداری از منابع معدنی بر محیط‌زیست و اکولوژی به یک موضوع تحقیقاتی محبوب در بین رشته‌ها تبدیل شده است (دونگان و همکاران[۸]، ۲۰۱۱؛ گوسوامی، ۲۰۱۵؛ موندال و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژائو و همکاران، ۲۰۲۰).

تحقیقات علمی زیادی حاکی از این است که استخراج زغال‌سنگ به‌طورجدی محیط‌زیست و اکوسیستم‌های آبی و خاکی را در اکثر نقاط جهان به خطر انداخته است. بسیاری از این بررسی‌ها ثابت نموده‌اند که بهره‌برداری از معادن زغال‌سنگ می‌تواند انواع مختلفی از مشکلات را به همراه داشته باشد که در صورت بهره‌برداری غیراصولی این اثرات به طور چشمگیری تشدید می‌گردد. از این مشکلات می‌توان به فرونشست زمین، بیابانی شدن زمین‌ها، حجم زیاد باطله‌های معدنی بر سطح زمین، فرسایش خاک، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، انتشار گازهای سمی گوگردی، آزادسازی مقدار قابل‌توجهی کربن در جو، ایجاد ترک‌های بزرگ در سطح خاک، افزایش EC خاک، تغییر ترکیبات شیمیایی خاک‌های سطحی، تخریب و جابه‌جایی خاک، آلودگی آب‌های سطح و زیرزمینی، از بین رفتن جنگل‌ها و عدم امکان استقرار مجدد آنها، تخریب پوشش گیاهی، تخریب اکوسیستم، کاهش تنوع زیستی فون و فلور، آسیب جدی به چشم‌انداز و... اشاره نمود (ژائو و همکاران، ۲۰۲۰؛ گوسوامی، ۲۰۱۵؛ هوانگ و همکاران[۹]، ۲۰۱۵؛ موندال و

1 Ahirwal and Maiti
2 Pandey et al
3 Fatah
4 Mondal et al
5 Goswami
6 Xiao et al
7 Finkelman et al
8 Donggan et al
9 Huang et al

همکاران، ۲۰۲۰؛ کامپالا بابا و همکاران[1]، ۲۰۲۰؛ ویشواکارما و همکاران[2]، ۲۰۲۰؛ فینکلمن و همکاران، ۲۰۲۱). به‌طورکلی در پژوهش‌های صورت پذیرفته، استخراج زغال‌سنگ همواره به عنوان عامل مهمی برای زوال اکولوژیکی و تخریب زمین در نظر گرفته می‌شود (ژائو و همکاران، ۲۰۲۰).

لازم به ذکر است، در ایران تا قبل از سال ۱۳۹۰ جهت صدور پروانه اکتشاف بهره‌برداری معادن از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور هیچ‌گونه استعلامی به عمل نیامده و پس از بازنگری در قانون معادن در آذرماه ۱۳۹۰، مجلس شورای اسلامی وزارت صنعت و معدن و تجارت را مکلف به استعلام از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در خصوص بهره‌برداری از معادن طبقه دو می‌نماید. ازاین‌رو تعداد ۲۶۶ فقره معادن مختلف اعم از معادن سنگ لاشه و ماسه، فلورین، سیلیس، زغال‌سنگ و... در حوزه اداره کل منابع طبیعی استان مازندران- ساری وجود دارد که تعداد ۵۶ فقره آن معدن زغال‌سنگ می‌باشد. از این تعداد ۴۴ فقره در زون جنگلی و ۱۲ فقره در زون مرتعی قرار دارد. بطوریکه مجوز فعالیت کلیه این معادن زغال‌سنگ در قبل از سال ۱۳۹۰ صادر گردیده است و از سال ۱۳۹۰ تاکنون مجوز فعالیت هیچ معدن زغال‌سنگی در حوزه اداره کل منابع طبیعی در زون جنگلی و مرتعی ناحیه هیرکانی صادر نگردیده است. هدف از پژوهش حاضر مطالعه برخی از اثرات بهره‌برداری از معدن زغال‌سنگ بر پوشش گیاهی، درختان جنگلی و خاک اطراف معدن زغال‌سنگ سنگ درکای آمل است. این پژوهش به مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی غنا و یکنواختی پوشش گیاهی و همچنین تغییرات فراوانی و سطح مقطع درختان جنگلی نسبت به جنگل شاهد مجاور می‌پردازد. در نهایت مقدار هزینه خاک تخریب یافته و درختان قطع شده بر اساس آئین‌نامه بند ب ماده ۱۲ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب سال ۱۳۹۲ مجلس شورای اسلامی (ابلاغی از سوی هیئت دولت به وزارت جهاد کشاورزی) محاسبه می‌شود (بشیری و همکارن، ۱۳۹۶).

داده‌ها و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، معدن زغال‌سنگ محدوده جنگلی سنگ درکا واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان آمل و از حوزه آبخیز شماره ۵۱ در طرح جنگلداری غرب هراز (تحت مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران) می‌باشد (شکل ۱). مساحت ناحیه جنگلی در طرح مذکور ۳۰۱۱/۳ هکتار و کل مساحت مورد عمل برای فعالیت معدن زغال‌سنگ ۴/۵ هکتار است. سطح پروانه صادره از سوی سازمان صنعت، معدن و تجارت استان مازندران برای معدن مذکور ۳۰/۱ هکتار (۱/۵×۲ کیلومترمربع) می‌باشد. از نظر سنگ‌شناسی در محدوده منطقه جنگلی و منطقه تحت فعالیت معدن زغال‌سنگ، ماسه‌سنگ، شیل زغالی و سیلتون و محدوده ارتفاعی آن ۷۳۰ متر از سطح دریا و پوشش جنگلی غالب منطقه از گونه ممرز[3]، خرمندی[4]، توسکا[5] و افرا[1] می‌باشد (بشیری و همکاران، ۱۳۹۶).

1 Kompała-Bąba et al
2 Vishwakarma et al
3 Carpinus betulus
4 Diospyros lotus
5 Alnus subcordata

شرایط اقلیمی منطقه

ایستگاه هواشناسی هلومسر که در نقطه‌ای با موقعیت جغرافیایی ´۱۸، °۵۲ طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و ´۳۶، °۲۷ عرض شمالی نسبت به خط استوا و حد ارتفاعی ۱۸۰ متر از سطح دریا درواقع نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی موجود نسبت به این سری به‌حساب می‌آید. میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال (دی‌ماه) ۸- درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال (مردادماه) ۲۴/۶ سانتی‌گراد و متوسط دمای سالیانه ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آبان با ۱۲۳/۶ میلی‌متر باران دارای بیشترین میزان بارندگی و ماه تیر با ۳۶/۵ میلی‌متر باران دارای کمترین میزان بارندگی است و ازنظر فصلی، فصل پائیز با مجموع ۳۰۳/۳ میلی‌متر بارندگی (معادل ۳۶/۲٪) دارای بیشترین میزان بارندگی می‌باشد و بعد از آن به ترتیب فصول زمستان با ۲۱۷/۶ میلی‌متر (معادل ۲۶٪)، بهار با ۱۶۰/۳ میلی‌متر (معادل ۱۹/۲٪) و تابستان با ۱۵۵/۳ میلی‌متر (معادل ۱۸/۶٪) بارندگی قرار دارند. بر اساس کلیماگرام اصلاح شده آمبرژه، اقلیم منطقه از نوع مرطوب خنک می‌باشد (بشیری و همکاران، ۱۳۹۶).

روش انجام تحقیق

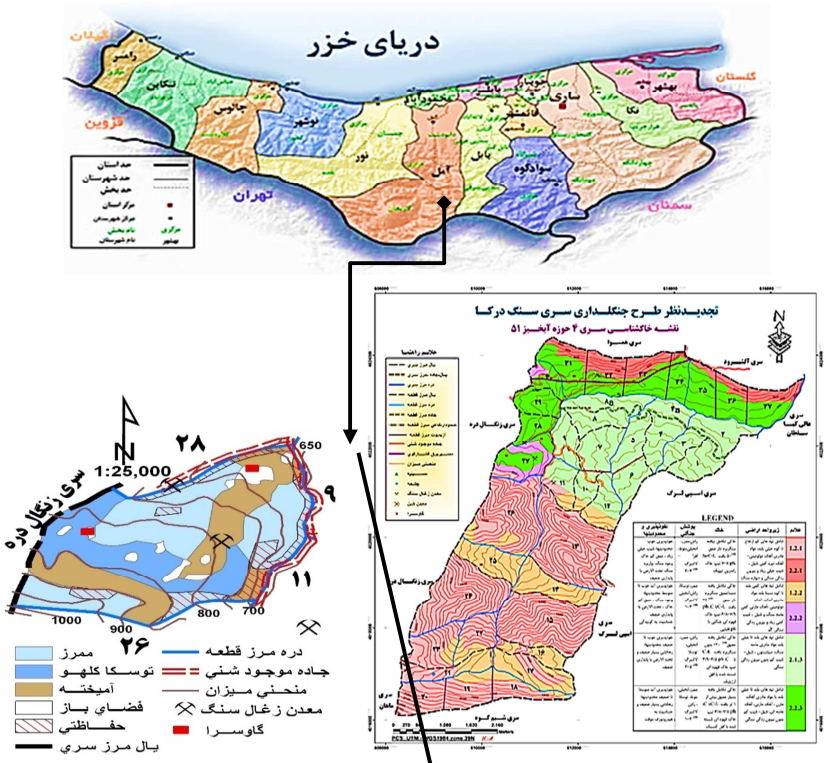
پس از بازدید میدانی و تعیین سطح دقیق متأثر از فعالیت معدن زغال‌سنگ به‌وسیله دستگاه GPS میزان تخریب موجود در منطقه اعم از تخریب خاک جابه‌جا شده، تعداد، قطر و ارتفاع درختان به تفکیک گونه در عرصه به طور دقیق مورد اندازه‌گیری و آماربرداری قرار گرفت. پس از محاسبه طول کل مسیر و مساحی محدوده متأثر از فعالیت‌های معدن، اقدام به محاسبه حجم خاک جابه‌جا شده، سطح مقطع برابر سینه و تعداد کل درختان از بین رفته در منطقه به تفکیک گونه، مساحت عرصه مورد تخریب با استفاده از دوربین نقشه‌برداری گردید. سپس برای برآورد و محاسبه خسارت ریالی وارده در دو منطقه جنگلی و منطقه مورد فعالیت معدن خسارت وارده به خاک، توده سرپا برحسب گونه و قطر درختان جنگلی از مشخصه‌های برآورد ریالی آئین‌نامه بند ب ماده ۱۲ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب سال ۱۳۹۲ مجلس شورای اسلامی ابلاغی از سوی هیئت دولت به وزارت جهاد کشاورزی استفاده گردید. درنهایت مقایسه‌ای برای میزان خسارت و صدمات وارده به منطقه انجام و راهکارهای قانونی و مدیریتی برای کاهش این خسارت‌ها نیز مورد بررسی گرفت.

بر اساس این دستورالعمل متوسط ارزش ریالی درختان برحسب درجه ۱، ۲ و ۳ برای مناطق هیرکانی محاسبه و ارزش غیر مبادله‌ای منطقه تخریب یافته (منطقه تحت پوشش فعالیت معدنی) به دست آمد. بطوریکه در این پژوهش ابتدا مساحت بخش تخریب یافته جنگل در اثر فعالیت معدن زغال‌سنگ با کمک GPS پیمایش، اندازه گیری و محاسبه شد.

به دلیل واقع‌شدن منطقه معدنی در داخل محدوده جنگلی و محاط شدن این منطقه توسط عرصه جنگلی، برای اینکه تغییرات ایجاد شده در اطراف معدن بررسی گردد از حاشیه محدوده فعالیت معدن در چهار جهت اصلی ترانسکت‌هایی عمود بر محور مرکزی منطقه معدنی پیاده شد. برای اندازه‌گیری درختان در هر جهت جغرافیایی اصلی بر روی ترانسکت‌ها ۵ نقطه در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ متری یک پلات با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع به

1 Acer velutiunum

شکل دایره‌ای پیاده شد. قطعات نمونه شاهد نیز در امتداد هر ترانسکت به سمت درون توده جنگلی با فاصله ۲ کیلومتر از حاشیه معدن در هر جهت اصلی جغرافیایی مستقر و اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

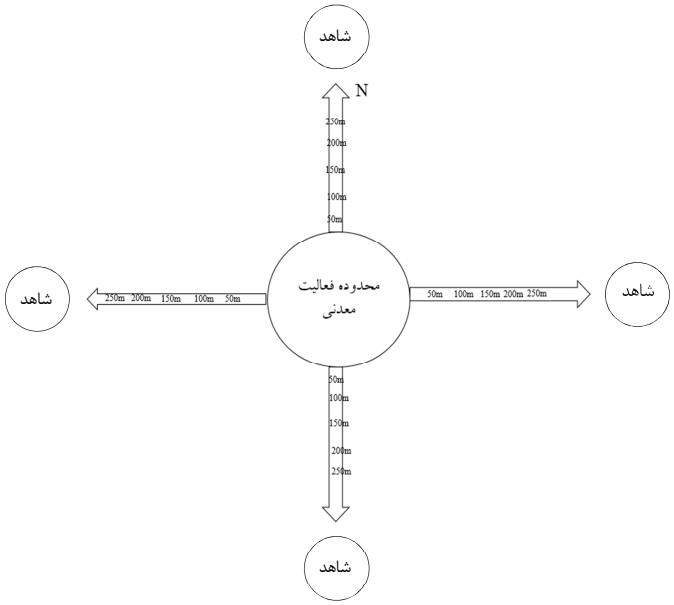


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه (قطعه ۲۷ سری ۴ طرح جنگل‌داری غرب هرازسنگ درکا)

درون هر پلات آماربرداری مشخصه‌های کمی اندازه‌گیری شده از درختان جنگلی عبارت بودند از نوع گونه، قطر درختان در ارتفاع برابر سینه (با استفاده از کالیپر)، ارتفاع درخت (با استفاده از شیب سنج سونتو) (خداوردی و همکاران[1]، ۲۰۱۹). جهت برآورد پوشش علفی تعداد ۳ پلات مربعی شکل به ابعاد ۱/۵×۱/۵ متر در هر یک از فواصل ۵ گانه در هر جهت جغرافیایی اندازه‌گیری و با قطعات نمونه شاهد به همین تعداد در فاصله ۲ کیلومتری از داخل جنگل مورد آماربرداری و مقایسه قرار گرفت. تمامی گونه‌های علفی و بوته‌ای در این پلات‌ها به تفکیک گونه شمارش شد. در نهایت شاخص‌های تنوع زیستی برای پوشش علفی کف جنگل در هر یک از پلات‌ها و در فواصل مختلف از محدوده فعالیت معدن محاسبه شد.

برای محاسبه تنوع زیستی پوشش گیاهی کف جنگل از شاخص‌های سیمپسون[2] و شانون-وینر[1] و برای ارزیابی غنای جوامع گیاهی از شاخص‌های مارگالف[2] و منهنیک[3] و جهت محاسبه یکنواختی پوشش گیاهی از شاخص‌های کامارگو[4] و شاخص یکنواختی اصلاح شده نی[5] استفاده شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ جعفری و همکاران، ۱۳۹۶).

1 Khodaverdi et al
2 Simpson



شکل ۲: نحوه نمونه‌برداری در منطقه مورد فعالیت معدن زغال‌سنگ، سنگ درکا – آمل

تعداد درختان در سطوح جنگل تخریب یافته اطراف محدوده معدن و جنگل شاهد با استفاده از پلات‌های آماربرداری دایره‌ای (۱۰۰۰ متر مربعی) اندازه گیری و محاسبه شد. نوع گونه‌ها به همراه قطر برابر سینه درختان بر اساس میانگین تعداد درختان در پلات‌های آماربرداری شده در هر فاصله از محدوده معدن و جنگل شاهد اندازه گیری و محاسبه شد. با توجه به مقادیر مربوط به جنگل شاهد مجاور، مقدار تغییرات تعداد درختان سرپا در هر هکتار و سطح مقطع در ارتفاع برابر سینه درختان سرپا به تفکیک نوع گونه در واحد سطح، برای فواصل مختلف از معدن محاسبه شد. سپس ارزش ریالی گونه‌های درختی حذف شده در هر فاصله از معدن بر اساس قیمت‌های درج شده در دستورالعمل فوق محاسبه گردید. ارزش ریالی خاک جابه‌جا شده در طول کل مسیر در افق A (با ضریب ۱/۲) و سایر افق‌ها با (ضریب ۰/۵) محاسبه و نیز حجم خاک تخریب یافته نیز با (ضریب ۰/۵) محاسبه شد. ارزش ریالی هرکدام از افق‌ها نیز مشخص و میزان خسارت اقتصادی و تخریب زیست‌محیطی در مناطق تحت فعالیت معدنی و مناطق جنگلی محاسبه شد.

روش تجزیه‌وتحلیل آماری

بررسی نرمال بودن داده‌های مربوط به متغیرهای کمی توده از قبیل نوع گونه، قطر و کلیه شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی به‌وسیله آزمون کولوموگروف-اِسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لِوِن بررسی شد. پس از اطمینان از

1 Shannon-Wiener
2 Margalef
3 Menhinick
4 Camargo
5 Modified Nee

نرمال بودن داده‌ها و جهت مقایسه مشخصه‌های توده و پوشش علفی در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ متر و شاهد در جهات جغرافیایی چهارگانه اطراف معدن با یکدیگر، از آزمون تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون توکی استفاده شد. آنالیز آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار اِکسل استفاده شد. جهت محاسبه کلیه شاخص‌های تنوع زیستی پوشش گیاهی کف جنگل از نرم‌افزار Ecological Methodology استفاده شد.

نتایج و بحث

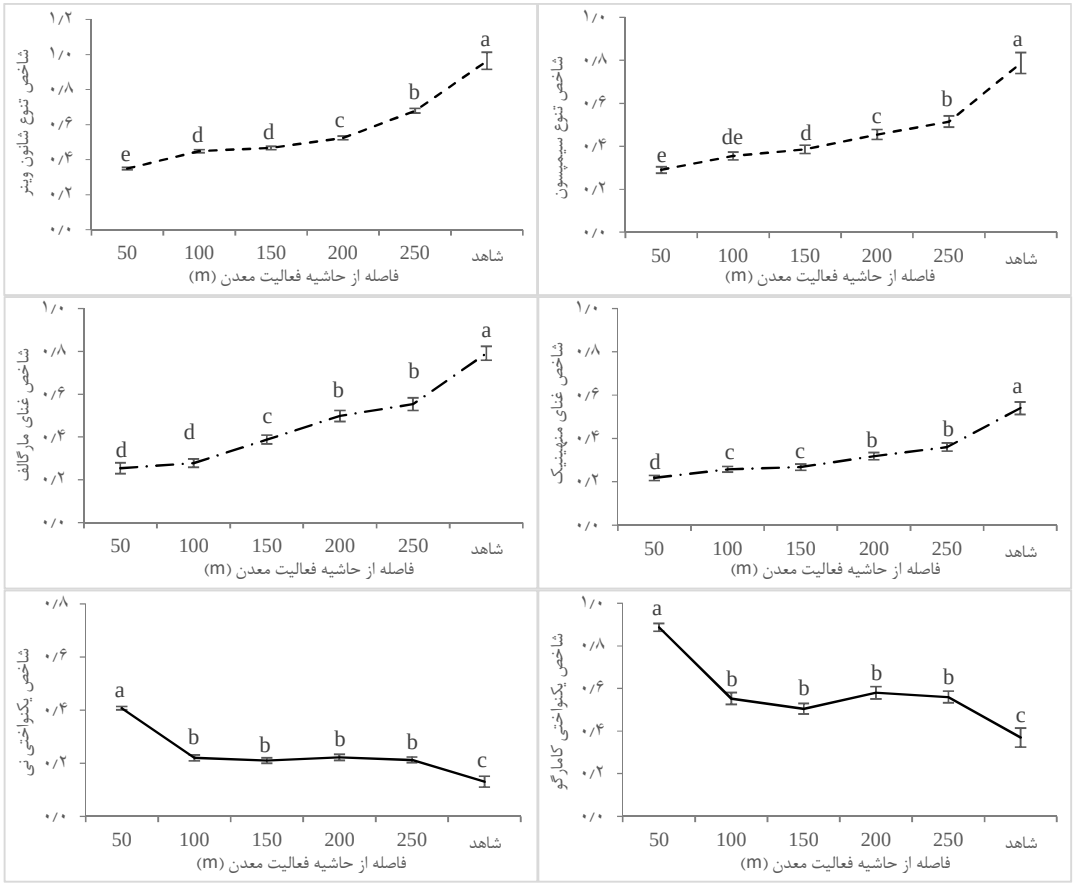
وضعیت تنوع زیستی، غنا و یکنواختی پوشش علفی با افزایش فاصله از حاشیه معدن

به‌منظور بررسی وضعیت تنوع زیستی پوشش علفی در قطعات نمونه‌برداری شده، شاخص‌های تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون وینر و شاخص‌های یکنواختی کامارگو، یکنواختی اصلاح شده نی و شاخص غنای مارگالف و منهنیک در فواصل مختلف از محدوده فعالیت معدن مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۱ نتایج آزمون تجزیه واریانس و شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین این شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱: نتایج آزمون تجزیه واریانس برای شاخص‌های تنوع زیستی در فواصل مختلف از حاشیه معدن

شاخص‌های تنوع زیستی		مقایسه اثرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
تنوع زیستی	شانون وینر	بین گروه‌ها	۰/۹۷۷	۵	۰/۱۹۵	۵۳/۷ **
		درون گروه‌ها	۰/۰۶۶	۶۶	۰/۰۰۴	
	سیمپسون	بین گروه‌ها	۰/۶۲۳	۵	۰/۱۲۵	۱۰۷/۲ **
		درون گروه‌ها	۰/۰۲۱	۶۶	۰/۰۰۱	
غنا	مارگالف	بین گروه‌ها	۰/۸۰۲	۵	۰/۱۶۰	۶۹/۱ **
		درون گروه‌ها	۰/۰۴۲	۶۶	۰/۰۰۲	
	منهینیک	بین گروه‌ها	۰/۲۶۸	۵	۰/۰۵۴	۲۷/۳ **
		درون گروه‌ها	۰/۰۳۵	۶۶	۰/۰۰۲	
یکنواختی	کامارگو	بین گروه‌ها	۰/۱۷۶	۵	۰/۰۳۵	۳۳/۱ **
		درون گروه‌ها	۰/۰۱۹	۶۶	۰/۰۰۱	
	نی	بین گروه‌ها	۰/۸۱۴	۵	۰/۱۶۹	۴۷/۲ **
		درون گروه‌ها	۰/۰۶۴	۶۶	۰/۰۰۴	

** وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۱



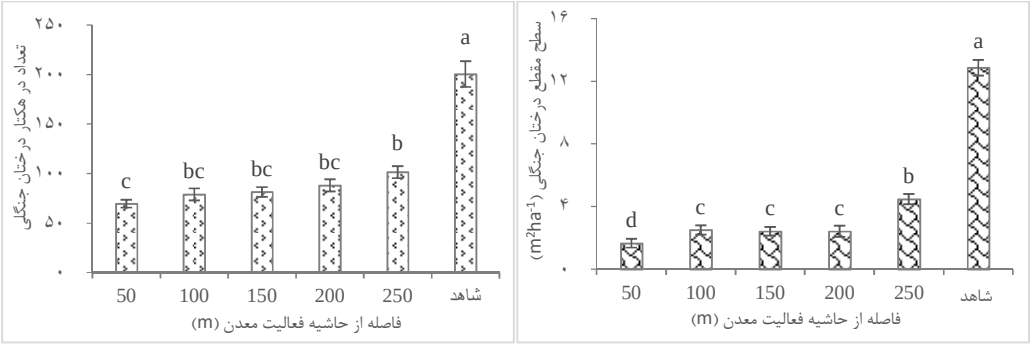
شکل ۳: مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع زیستی، غنا و یکنواختی پوشش گیاهی در فواصل مختلف از محدوده فعالیت معدن

جدول ۲: نتایج آزمون تجزیه واریانس برای تعداد و سطح مقطع درختان در هکتار در فواصل مختلف از حاشیه معدن

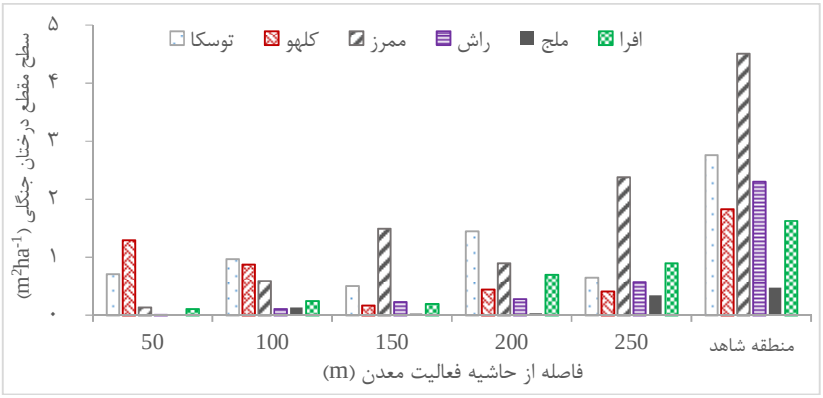
	مقایسه اثرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
تعداد درختان هکتار (n/ha)	بین گروه‌ها	۱۵۵۷۸	۵	۳۱۱۷/۴	۲۴/۷ **
	درون گروه‌ها	۲۲۷۴	۱۸	۱۲۶/۳	
سطح مقطع درختان در هکتار (m^2/ha)	بین گروه‌ها	۰/۲۲۲	۵	۰/۰۴۵	۲۶/۵ **
	درون گروه‌ها	۰/۰۳۱	۱۸	۰/۰۰۲	

** وجود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۱

سطح مقطع کل درختان جنگلی و تعداد درختان جنگلی در هر هکتار از جنگل در فواصل مختلف از محدوده فعالیت معدن با جنگل شاهد مورد مقایسه قرار گرفته که در شکل ۴ نشان داده شده است. از طرف دیگر، سطح مقطع گونه‌های اصلی درختان جنگلی در هر هکتار در فواصل مختلف از معدن با جنگل شاهد مقایسه شد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: مقایسه میانگین تعداد و سطح مقطع کل درختان جنگلی در هر هکتار در فواصل مختلف از محدوده فعالیت معدن



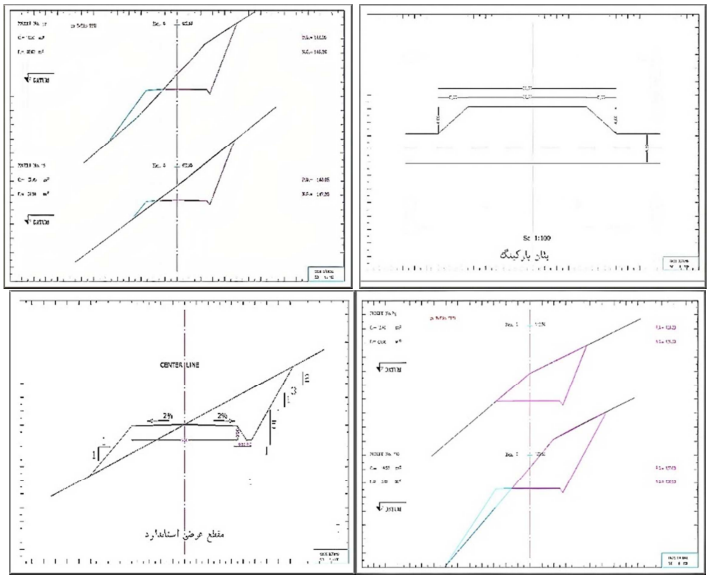
شکل ۵: سطح مقطع گونه‌های اصلی درختان جنگلی در هر هکتار در فواصل مختلف از محدوده فعالیت معدن

بررسی تغییرات تخریب خاک در منطقه معدنی و محاسبه ارزش اقتصادی

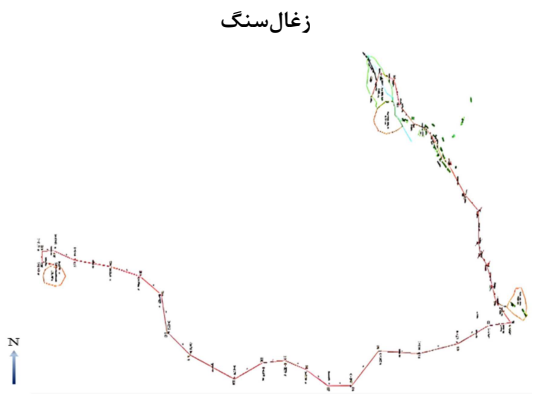
شکل ۶ تصاویر مربوط به ورودی معدن زغال سنگ، مسیر خروج مواد مستخرجه معدنی و محل تجمع باطله‌های معدنی را نشان می‌دهد. جهت بررسی تغییرات تخریب خاک در منطقه احداث شده معدن اقدام به نقشه‌برداری از منطقه موردنظر گردید. بطوریکه طول کل مسیر و پروفیل طولی و پروفیل عرضی متناسب با تغییرات توپوگرافیکی منطقه برداشت و میزان تخریب لایه‌های مختلف خاک در منطقه معدنی بر اساس قانون بند ب ماده ۱۲ و محاسبات مرتبط به آن محاسبه گردید. شکل ۸ پروفیل طولی جاده و شکل ۷ نمونه پروفیل‌های عرضی طول مسیر از ابتدای جاده ورودی معدن تا محل دهانه معدن می‌باشد که با مقیاس ۱/۵۰۰۰ در محیط اتوکد طراحی گردید و براین‌اساس میزان حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی به‌واسطه احداث جاده ورودی معدن و محدوده فعالیت معدن تا دهانه ورودی معدن محاسبه گردید. سپس بر اساس طول مسیر جاده و حجم عملیات خاکی با اعمال ضریب افق A خاک در بند ب ماده ۱۲ (ضریب ۱/۲) ۶۳۱۱ مترمکعب و حجم کل تخریب ناشی از عملیات خاکی و نیز خاک‌برداری ۱۵۸۰۶ مترمکعب به دست آمد که در جدول ارائه گردیده است.



شکل ۶: تصاویری از ورودی معدن زغال سنگ، مسیر خروج مواد معدنی و محل تجمع باطله‌های معدنی



شکل ۷: نمونه‌هایی از پلان و پروفیل عرضی جاده برای محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی شده در محدوده‌های فعالیت معدن



شکل ۸: پروفیل طولی جاده و محدوده فعالیت ناشی از احداث معدن

جدول ۳: محاسبه اقتصادی تخریب خاک در منطقه معدنی بر اساس بند ب ماده ۱۲[1]

طول کل مسیر معدنی (شروع ساختمان تا محل دهانه معدن)	طول افق A خاک در پروفیل عرضی	ضخامت خاک تخریب یافته افق A	ضریب افق A بر اساس بند ب ماده ۱۲	کل حجم عملیات خاکی در اثر خاک‌برداری افق A و سایر افق‌ها	کل هزینه تخریب افق A و سایر افق‌ها و جابه‌جایی خاک
۱۷۰۲ متر	۱۰/۳ متر	۰/۳ متر	۱/۲	۲۱۰۶۵ مترمکعب	۱/۹۸۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال

ضخامت خاک در افق A × طول کل مسیر (m) × طول افق A=کل حجم عملیات خاکی

۵۲۵۹=۰/۳× ۱۷۰۲ × ۱۰/۳=کل حجم عملیات خاکی (متر مکعب)

۶۳۱۱=۱/۲ × ۵۲۵۹ =حجم تخریب عملیات خاکی (متر مکعب)

۱۵۸۰۶=۵۲۵۹- ۲۱۰۶۵ =حجم تخریب ناشی از خاک‌برداری (متر مکعب)

۷۹۰۳=۰/۵ × ۱۵۸۰۶ = تخریب ناشی از خاک‌برداری با اعمال ضریب در سایر افق‌ها (غیر از افق A)

۱/۹۸۹/۹۶۰/۰۰۰=۱۴۰,۰۰۰× (۷۹۰۳+۶۳۱۱)=برآورد ریالی تخریب خاک بر اساس قانون بند ب (ریال)

برآورد ارزش اقتصادی درختان قطع شده در محدوده فعالیت معدن

با توجه به تراکم و ترکیب جنگل شاهد، تعداد درختان قطع شده و از بین رفته بر اساس مساحت محدوده فعالیت معدنی محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین، تعداد کل درختان قطع شده در کل عرصه فعالیت معدن به تفکیک گونه درختی موجود در ترکیب اصلی جنگل شاهد در جدول ۵ محاسبه و ارائه شده است.

[1] بر اساس این دستورالعمل متوسط ارزش ریالی درختان برحسب طبقه ۱، ۲ و ۳، ارزش بوته‌ها، درختچه‌ها و پوشش علفی برای مناطق هیرکانی محاسبه و ارزش غیر مبادله‌ای منطقه تخریب یافته (منطقه تحت پوشش فعالیت معدنی) به دست می‌آید. ارزش ریالی خاک جابجا شده در طول کل مسیر در افق A (با ضریب ۱/۲) و سایر افق‌ها با (ضریب ۰/۵) محاسبه و نیز حجم خاک تخریب یافته نیز با (ضریب ۰/۵) محاسبه خواهد شد.

جدول ۴: محاسبه تعداد درختان در منطقه معدنی

طول کل مسیر جاده تعریض شده (شروع ساختمان تا محل دهانه معدن)	متوسط عرض فضای باز شده به‌واسطه ایجاد معدن	کل فضای باز شده محدوده معدنی (عرصه تخریب یافته)	متوسط تعداد در پلات ۱۰۰۰ مترمربعی محدوده اطراف معدن	کل تعداد درختان تخریب یافته در منطقه معدنی
۱۷۰۲ متر	۵۰ متر	۸/۵ هکتار	۲۰ اصله در پلات =۲۰۰ اصله در هکتار	۱۷۰۰ اصله

جدول ۵: جدول محاسبه اقتصادی تخریب درختان جنگلی در منطقه معدنی بر اساس بند ب ماده ۱۲

	تعداد درختان در کل عرصه	متوسط تعداد گونه‌ها بر اساس ترکیب و فراوانی درختان در جنگل شاهد					
		راش	ملج	افرا	توسکا	ممرز	خرمندی
تعداد درختان قطع شده در عرصه معدنی به تفکیک گونه درختی (اصله)	۱۷۰۰	۲۵۰	۲۰	۵۰	۳۰۰	۴۸۰	۶۰۰

با توجه به فراوانی گونه‌های اصلی جنگل در جدول ۵، محاسبه اقتصادی هریک از گونه‌ها در ذیل انجام شد.

۲۵۰×۶,۰۰۰,۰۰۰=۱/۵۰۰/۰۰۰/۰۰۰ =خسارت ایجادشده گونه راش بر اساس قانون بند ب (ریال)

۲۰×۶,۰۰۰,۰۰۰=۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰ =خسارت ایجادشده گونه ملج بر اساس قانون بند ب (ریال)

۵۰×۶,۰۰۰,۰۰۰=۳۰۰/۰۰۰/۰۰۰ =خسارت ایجادشده گونه افرا بر اساس قانون بند ب (ریال)

۳۰۰×۶,۰۰۰,۰۰۰=۱/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰ =خسارت ایجادشده گونه توسکا بر اساس قانون بند ب (ریال)

۴۸۰×۳,۰۰۰,۰۰۰=۱/۴۴۰/۰۰۰/۰۰۰ =خسارت ایجادشده گونه ممرز بر اساس قانون بند ب (ریال)

۶۰۰×۳,۰۰۰,۰۰۰=۱/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰ =خسارت ایجادشده گونه خرمندی بر اساس قانون بند ب (ریال)

۶/۹۶۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال=کل خسارت ایجادشده گونه‌ها بر اساس قانون بند ب (ریال)

بنابراین مجموع خسارات وارده به درختان جنگلی و خاک عرصه عبارت است از:

=۱/۹۸۹/۹۶۰/۰۰۰+۶/۹۶۰/۰۰۰/۰۰۰= مجموع خسارات تخریب خاک و درختان جنگلی بر اساس قانون بند ب

۸/۹۴۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال

میزان استخراج زغال از معدن فوق نیز به طور متوسط ۷۰۰۰ تن در سال می‌باشد و با احتساب قیمت زغال هر تن ۱/۴۰۰/۰۰۰ ریال بر اساس آئین‌نامه بند ب ماده ۱۲ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب سال ۱۳۹۲ برابر ۹/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال بوده که درحال حاضر فعالیت چنین معادنی ازلحاظ اقتصادی، مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد.

بحث

فعالیت‌های معدنی و معدن‌کاوی بی‌شک یکی از مخرب‌ترین و آسیب‌رسان‌ترین فرایندهای صنعتی است که در صورت عدم مدیریت و هدایت صحیح، آثار منفی و قابل‌توجهی بر زیست‌بوم‌های طبیعی خواهد داشت (گوسوامی، ۲۰۱۵)؛ اگرچه بهره‌برداری از معادن به دلایلی ازجمله برآوردن نیازهای پایه و اساسی کشورها جهت پیشرفت و نیز بسترسازی مناسب برای اشتغال طیف گسترده‌ای از نیروی کار محلی موردتوجه است؛ اما همواره مخاطرات زیست‌محیطی فراوانی به همراه دارد (دونگان و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش آثار فعالیت معدن بر روی تنوع پوشش گیاهی، تراکم و سطح مقطع درختان سرپا و اثرات اقتصادی بهره‌برداری معدن بر خاک و درختان عرصه اطراف معدن مورد بررسی قرار گرفت. بررسی شاخص‌های تنوع زیستی سیمپسون و شانون وینر در پوشش علفی در فاصله ۵۰ متری از حاشیه معدن اختلاف معنی‌دار بسیار زیادی با بقیه تیمارها به خصوص جنگل شاهد و فاصله ۲۵۰ متر از حاشیه معدن را نشان داد (جدول ۱ و شکل ۳).

نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع زیستی سیمپسون و شانون وینر نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از محدوده مجاور معدن زغال‌سنگ به سمت داخل توده مقدار میانگین شاخص‌های تنوع زیستی افزایش می‌یابد تا جایی که در فاصله ۲۵۰ متری وضعیت تنوع پوشش گیاهی بسیار بهبود می‌یابد. این موضوع در مورد شاخص‌های غنای منهینیک و مارگالف نیز صادق است و با افزایش فاصله از ۵۰ تا ۲۵۰ متر، وضعیت غنای گونه‌ای نیز افزایش معنی داری می‌یابد. سِمی و سینگ[1] (۲۰۲۴) با مطالعه پوشش گیاهی در معدن زغال سنگی در هندوستان نیز نشان دادند که شاخصهای تنوع زیستی سیمپسون و شانون وینر و همچنین شاخص غنای مارگالف در منطقه متاثر از فعالیت معدن، کاهش معنی دار و قابل ملاحضه ای در مقایسه با محدوده به دور از فعالیت معدن داشته است. نتایج به دست آمده از تحقیقات دیگری چون لی[2] و همکاران (۲۰۲۴) در جنوب چین، کامپالا بابا و همکاران (۲۰۲۰) در لهستان، پاندی[3] و همکاران (۲۰۱۴) در مناطق نیمه استوایی هندوستان ژائو و همکاران (۲۰۲۰) در چین و فتاح (۲۰۰۸) در اندونزی بیانگر کاهش شدید در تنوع زیستی و غنای جوامع گیاهی در اثر فعالیت معدن زغال‌سنگ در اکوسیستم‌های مختلف است. افزایش تنوع پوشش علفی با افزایش فاصله از معدن به دلیل تغییر رژیم نور، حرارت و رطوبت توده است که به شرایط جنگل اصلی نزدیک‌تر می‌شود (سارما و همکاران[4]، ۲۰۱۰).

بررسی حاضر نشان‌دهنده این موضوع است که برخلاف تنوع زیستی و غنا، شاخص‌های یکنواختی جوامع گیاهی کف جنگل، میانگین بیشتری را در فواصل مجاور معدن نشان می‌دهند. نتایج مشابهی نیز در تحقیق پاندی و همکاران (۲۰۱۴) به دست آمد که حاکی از کاهش شدید شاخص تنوع زیستی شانون-وینر در مجاورت سایت‌های معدن زغال‌سنگ به دلیل بار سنگین آلودگی تشخیص داده شد. نتایج آنان همچنین نشان داد که حساس‌ترین گونه‌ها به دلیل فعالیت معدن زغال سنگ ناپدید شده و تنها گونه‌های بردبار و مقاومی که قابلیت تکثیر زیادی داشتند، باقی ماندند. آنان اذعان داشتند که حذف گونه‌های گیاهی حساس جایگاهی را ایجاد کرد که در دسترس گونه‌های فرصت‌طلب، مقاوم و بردبار قرار گرفت که توانستند در مکان‌های آلوده بدون رقیب فراوان شوند. به‌این‌ترتیب یکنواختی جامعه در اثر بهره‌برداری معادن زغال‌سنگ افزایش یافت، درحالی‌که غنای گونه‌ای در سایت‌های معدنی که

1 Semy and Singh
2 Li et al
3 Pandey
4 Sarma et al

بار آلودگی بیشتری داشتند کاهش یافت. طبق اظهارات آنان غنای گونه‌ای تأثیر بیشتری بر تنوع گونه‌ای در مقایسه با یکنواختی جامعه داشت.

توزیع گونه‌های جنگلی و تراکم پوشش علفی در این پژوهش نیز نشان داد که گونه‌های نورپسند در مناطق و فضاهای بازتر بیشتر بوده و با افزایش فاصله به داخل جنگل، تغییرات ترکیب گونه‌ها حالت طبیعی‌تری را نشان می‌دهد. در ارتباط با تغییرات پوشش علفی از لحاظ حضور، با فاصله‌گرفتن از حاشیه معدن به دلیل افزایش تراکم گونه‌های درختی و افزایش درصد تاج‌پوشش، غالبیت گونه‌های سایه‌پسند علفی بیشتر شده و حضور گونه علفی النا، بنفشه، فرفیون، سیکلمن و حتی پامچال نیز مؤید این مطلب می‌باشد. این در حالی است که در فواصل نزدیک به محدوده جنگل (۵۰ و ۱۰۰ متر) غالبیت گونه‌های علفی شدیداً نورپسند و فرصت‌طلبی همچون تمشک، کارکس، سرخس چمازی و گزنه به‌واسطه افزایش شدت نور و کاهش تراکم تاج‌پوشش درختان سرپا مشاهده و ثبت شد. تغییرات پوشش گیاهی از لحاظ حضور گونه‌ها به دلیل فعالیت معدن در تحقیقات دیگری نیز نشان داده شده است. به طوری که طبق تحقیق دونگان و همکاران (۲۰۱۱) در یک معدن زغال‌سنگ در چین، سطح فوقانی ناحیه بهره‌برداری شده معدن، گونه‌های مقاوم به خشکی خانواده Rosaceae بیشتر غالب شدند؛ زیرا استخراج زغال‌سنگ، آب لایه سطحی خاک را کاهش داده بود. در منطقه حفاری نشده معدن زغال‌سنگ به ترتیب گونه‌های کامه فیت و همی کریپتوفیت که مشخصه مناطق معتدله هستند بر پوشش گیاهی غالب بودند، درحالی‌که در منطقه بهره‌برداری شده، همی کریپتوفیتها که خاص مناطق خشک و سرد هستند به طور واضحی غلبه داشتند (تا ۴۵,۸٪). در این رابطه در تحقیق دیگری سارما و همکاران (۲۰۱۰) اذعان داشتند که فراوانی بیشتر گونه‌های علفی فرصت‌طلب همچون Paspalum orbiculare در مناطق مجاور معدن حاکی از سرعت تکثیر آن در محیط‌های آشفته بود. آنان اظهار داشتند که زیستگاه‌های کم مواد مغذی معمولاً توسط گونه‌هایی که نرخ رشد نسبی پایینی دارند مستعمره می‌شوند و این سازگاری‌ها گونه‌های استعمارگر را قادر می‌سازد تا جذب مواد مغذی را به حداکثر برسانند و از کارایی بالای استفاده از مواد مغذی در محیط‌های کم‌مغذی اطمینان حاصل کنند.

تغییرات نوع گونه‌های درختی و تغییرات رویه زمینی درختان جنگلی در فواصل مختلف از معدن نیز نشان‌دهنده این است که در فواصل نزدیک نظیر ۵۰ و ۱۰۰ متری گونه‌های فرصت طلب، نورپسند و پیشاهنگ نظیر خرمندی و نیز گونه‌هایی با قابلیت رشد در خاک‌های تخریب یافته و با رطوبت بالا و نور زیاد مانند توسکا، دارای فراوانی و حضور بیشتری هستند. نتایج اخیر نیز با تحقیقی که توسط سارما و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد مشابهت دارد. تحقیق آنان نیز نشان داد که فراوانی زیاد گونه‌های درختی Pinus kesiya و Schima wallichii در مناطق معدنی به دلیل توانایی آنها برای تکثیر و رشد در محیط‌های آشفته است زیرا آنها گونه‌های پیشاهنگ و نیازمند نور هستند و قبل از هر گونه درختی دیگری می‌توانند در مناطق آشفته معدن کاوی شده تشکیل کلنی دهند. به غیر از جنگل شاهد، در فاصله ۲۵۰ متری از معدن بیشترین تراکم و تنوع درختان جنگلی مشاهده می‌شود. درواقع اثرات تخریبی معدن و ایجاد یک فضای باز و اثرات تغییرات رژیم نوری و رطوبتی در توده جنگلی نزدیک به معدن کاملاً مشهود می‌باشد. همچنین استقرار گونه‌هایی مانند راش، ممرز و ملج در لایه‌های بالایی تاج‌پوشش در فاصله ۲۵۰ متری داخل جنگل و با توجه پتانسیل حضور آنها و عدم استقرار این‌گونه‌ها در فواصل اولیه نزدیک معدن به‌واسطه تخریب و جابه‌جایی خاک تا حد زیادی بیانگر تغییرات شدید محیطی می‌باشد. در زمینه اثرات بهره برداری معدن زغال سنگ بر تغییر خصوصیات

فیزیکی و شیمیایی خاک که پوشش گیاهی و درختان جنگلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد در مطالعات زیادی گزارش شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش انجام شده توسط لی و همکاران (۲۰۲۴) در جنوب چین، تاکور[1] و همکاران (۲۰۲۲) در مرکز هندوستان، سِنا[2] و همکاران (۲۰۲۱) در کنتاکی ایالات متحده آمریکا و ویشواکارما و همکاران (۲۰۲۰) در هندوستان اشاره نمود.

از طرفی دیگر، تراکم درختان سرپا در واحد سطح و همچنین میانگین سطح مقطع درختان جنگلی در جنگل شاهد به طور قابل ملاحضه ای بیشتر از فواصل نزدیک به محدوده فعالیت معدن به خصوص ۵۰ و ۱۰۰ متر بود. می‌توان اذعان داشت با افزایش فاصله از حاشیه معدن به سمت خارج و جنگل شاهد شرایط درختان سرپا از نظر این دو فاکتور اصلی جنگل بهبود می‌یابد. نتایج این بخش از تحقیق کاملاً مشابه با نتایج تحقیق سارما و باریک[3] (۲۰۱۱) در هندوستان است. تحقیقات آنان در سه معدن زغال‌سنگ در هندوستان نشان داد که تراکم درختان و بوته‌ها و متعاقباً میانگین سطح مقطع درختان به‌شدت در اطراف سایت‌های معدن زغال‌سنگ کاهش یافته است. علاوه بر این از نظر غنای گونه‌های درختی نیز تنها ۱۵ گونه از ۲۷ گونه درختی منطقه شاهد در اطراف این معادن مشاهده می‌شود. این کاهش غنا در مورد گونه‌های بوته‌ای و علفی نیز به همین صورت بود. آنان علت کاهش فراوانی درختان با کلاسه‌های قطری کم و زیاد را قطع برای مصارف داخلی در زمان بهره‌برداری معادن عنوان نمودند که در محدوده معدن سنگ درکای آمل نیز اتفاق افتاده است. به هر جهت تغییر در ترکیب گونه‌های درختی، بوته‌ای و علفی در مطالعات زیادی گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات دونگان و همکاران (۲۰۱۱)، پاندی و همکاران (۲۰۱۴)، موندال و همکاران (۲۰۲۰)، هوانگ و همکاران (۲۰۱۵) و ویشواکارما و همکاران (۲۰۲۰) اشاره نمود.

محاسبه تغییرات ایجادشده در منطقه به‌واسطه تخریب خاک و انجام عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی و جابه‌جایی خاک نشان داد میزان خسارت ایجادشده در بخش مربوط به خاک با طول مسیر ۱/۷ کیلومتر برابر ۱/۹۸۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. خسارت ایجادشده به درختان سرپای محدوده فعالیت معدنی به‌واسطه تخریب توده، مورد بررسی قرار گرفت که تغییرات در طول ۱/۷ کیلومتر مسیر با متوسط عرض تخریب ۵۰ متر برابر ۸/۵ هکتار بود. متوسط تعداد درختان از بین رفته در این قسمت بر اساس متوسط موجودی متوسط در جنگل شاهد اطراف معدن برابر ۱۷۰۰ اصله محاسبه گردید که خسارت ریالی آن بر اساس قانون حفاظت از اراضی طبیعی برابر ۶/۹۶۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. دراین‌رابطه، فعالیت معدنی در منطقه موردمطالعه ازلحاظ پوشش و خاک منجر به ایجاد خسارت ریالی مجموعاً به مبلغ ۸/۹۴۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. البته خسارت ایجادشده در منطقه به‌واسطه فعالیت معدنی بدون درنظرگرفتن ارزش‌های غیر مبادله‌ای جنگل در این سطح و نیز درنظرگرفتن میزان خاک فرسایش یافته در منطقه موردنظر می‌باشد. قابل‌ذکر است که خسارت‌های محاسبه شده تنها به احداث مسیری به طول ۱۷۰۰ متر و با عرض ۵۰ متر که در این نواحی جاده‌ای برای خروج مواد معدنی احداث شده و نخاله‌های معدنی نیز در این محدوده انباشت شده است، مربوط می‌باشد. در این نواحی عرصه کاملاً با عرض ۵۰ متر از هر درختی خالی شده است. اما مطالعه تراکم و تنوع زیستی با فاصله‌گرفتن از حاشیه فعالیت معدن انجام شده که در این نواحی نیز تراکم درختان کاهش

[1] Thakur
2 Sena
3 Sarma and Barik

چشمگیر داشته است و این سطوح در محاسبه اقتصادی لحاظ نشده‌اند. در این صورت میزان خسارت به درختان سرپا بسیار بیشتر می‌گردید. چراکه تا شعاع ۲۵۰ از حاشیه معدن هنوز آثار تخریب و قطع درختان برای مصارف معدن به چشم می‌خورد.

چنانچه اشاره شد میزان استخراج زغال سنگ از معدن مورد مطالعه سالانه به طور متوسط ۷۰۰۰ تن در سال می‌باشد و درآمد ناخالص ریالی آن با توجه به آئین‌نامه بند ب ماده ۱۲ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب سال ۱۳۹۲ برابر ۹/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال بود. با توجه به اینکه اثرات تخریبی زیست‌محیطی آن به خاک و درختان توده به‌مراتب بیشتر از مقادیر محاسبه شده در این پژوهش است و نیز میزان تولید ناخالص سالانه معدن مزبور قابل ملاحظه نیست، اساساً فعالیت چنین معادنی ازلحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. به‌طورکلی با توجه به ماهیت چنین معادنی و ویژگی‌های اقلیمی عرصه‌های مورد بهره‌برداری و میزان بارندگی و شستشوی خاک در اثر بارش‌ها، فعالیت‌های معدن منجر به افزایش حساسیت خاک در برابر لغزش، رانش و فرسایش می‌شود که چنین هزینه‌هایی به سادگی قابل محاسبه و ارزیابی اقتصادی نیست؛ بنابراین توصیه می‌شود جهت کاهش خسارات ناشی از بهره‌برداری از معادن به عرصه‌های منابع طبیعی در جنگل‌های ارزشمند هیرکانی، تأمین زغال‌سنگ موردنیاز کشور از سایر ذخایر موجود در استان‌های خارج از محدوده جنگل‌های هیرکانی عملی گردد؛ از طرف دیگر بایستی خاطر نشان کرد که متأسفانه عمده‌ترین معادن فعال زغال‌سنگ در نیمرخ شمالی البرز در جنگل‌های تولیدی و تولیدی- حمایتی قرار دارند. در سالهای قبل با توجه به قوانین موجود صدور پروانه بهره‌برداری معادن زغال‌سنگ از طریق سازمان صنعت، معدن و تجارت استان‌ها انجام پذیرفته و ادارات کل منابع طبیعی استان‌ها به‌عنوان متولی عرصه‌های مذکور، هیچ نقشی در واگذاری آن‌ها ایفا ننمودند و تنها دریافت‌کننده‌های پروانه‌های بهره‌برداری صادره از سازمان مذکور بودند. اما بازنگری قانون معادن در مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۹۰ تا حدودی توانسته است کاستی‌های موجود در این زمینه را پوشش دهد.

داشتن یک رویکرد جدید و کل‌نگر به فعالیت‌های معدنی، با درنظرگرفتن نگرانی‌های مربوط به محیط‌زیست و اکوسیستم‌های هر منطقه ضرورت دارد. این امر مستلزم شناسایی مکان‌های مناسب برای احداث معادن است که عوامل مختلف دیگری همچون زاویه شیب مناسب برای انباشت زباله‌های روباره، زهکش‌های دفع ایمن و تکنیک‌های ایمن برای سازه‌های مختلف کنترل گل‌ولای و غیره به‌خوبی بررسی شده باشد. استراتژی‌های "زغال‌سنگ پاک" که هدف آنها کاهش اثرات زیست‌محیطی است می‌تواند راهکار مناسبی باشد. در این صورت، کاهش محتویات خاکستر زغال‌سنگ شسته شده، راندمان حرارتی احتراق را افزایش می‌دهد. این امر تأثیر مستقیمی بر کاهش انتشار آلاینده‌ها دارد. فرایند شستشوی زغال‌سنگ اگرچه به آب اضافی نیاز دارد، اما می‌تواند در پیشرفت به سمت جامعه‌ای با آلودگی کمتر بسیار مؤثر باشد (گوسوامی، ۲۰۱۵).

در پایان توصیه می‌شود که فعالیت‌های معدنی در چنین مناطقی به‌شدت کنترل و به طور دقیق اجرا شوند تا از آسیب بیشتر به گونه‌ها جلوگیری شود. همچنین اقدامات احیای پوشش گیاهی و جنگل‌کاری در مناطق تخریب شده با استفاده از گونه‌های درختی و بوته‌ای بومی و مناسب انجام شود.

نتیجه‌گیری

استخراج گسترده زغال‌سنگ در منطقه موردمطالعه منجر به تغییر کارکرد زمین و نوع پوشش جنگلی و ایجاد منظره‌ای پر از زباله‌های معدنی شده است. اثرات منفی ناشی از استخراج معدن زغال‌سنگ بر پوشش گیاهی و گونه‌های درختی، با افزایش فاصله از مجاورت معدن کمتر شده بود. شاخص‌های تنوع زیستی و غنا برای گونه‌های علفی با نزدیک‌شدن فاصله تا معدن کاهش یافت به‌طوری‌که در فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری از حاشیه معدن دارای وضعیت نامساعدتری نسبت به فواصل ۲۰۰ و ۲۵۰ متری بودند. در حالی که شاخص یکنواختی با نزدیک‌شدن به محدوده جنگل، میانگین کمتری را نشان داد و بیانگر این است که عملیات معدن‌کاری باعث استعمار گسترده‌تر تعداد کمی از گونه‌های خاص در زیستگاه‌های تازه ایجاد شده مجاور معدن می‌شود. با توجه به شرایط توده و با حضور و استقرار گونه‌های اصلی جامعه شاهد به عنوان کلیماکس در فواصل ۲۵۰ متری و بیشتر از حاشیه معدن، کلیه شاخص‌های تنوع زیستی وضعیت بهتری می‌یابند. در ارتباط با فراوانی توده‌های درختی در فواصل ۵۰ و ۱۰۰ متری از معدن، کمترین تعداد و سطح مقطع گونه‌های درختی ثبت شد. از طرف دیگر، گونه‌های درختی سازگار با شرایط خاک تخریب یافته نظیر توسکا و خرمندی در منطق تخریب شده مستقر شدند و گونه‌های اصلی و تجاری مهم این جنگل‌ها یعنی راش، ملج و ممرز در این مناطق حضور نداشتند؛ اما با افزایش فاصله از اطراف معدن فراوانی، تراکم و سطح مقطع درختان ترکیب اصلی جنگل نیز به طور قابل ملاحضه‌ای افزایش یافت. با توجه به حجم عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی میزان خسارت ایجادشده بواسطه احداث مسیر و ریختن باطله‌های معدنی در محدوده‌ای با طول ۱/۷ کیلومتر و عرض ۵۰ متر (مساحت ۸/۵ هکتار) برابر ۱/۹۸۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال بوده است. خسارت ناشی از قطع کامل درختان جنگلی در محدوده مزبور (۸/۵ هکتار) با توجه به متوسط تعداد درختان در واحد سطح و ترکیب گونه‌های موجود، برابر ۱۷۰۰ اصله محاسبه گردید که خسارت اقتصادی آن بر اساس آئین‌نامه بند ب ماده ۱۲ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب سال ۱۳۹۲ مجلس شورای اسلامی برابر ۶/۹۶۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. بنابراین مجموع خسارات تخریب خاک و درختان جنگلی بر اساس این قانون در معدن زغال‌سنگ سنگ درکای آمل ۸/۹۱۹/۹۶۰/۰۰۰ ریال برآورد گردید. قابل‌ذکر است که سایر خسارت‌های وارده به عرصه جنگل ناشی از کاهش عملکرد جنگل، کاهش تنوع زیستی و حتی کاهش تراکم درختان سرپا در فواصل ۵۰ تا ۲۵۰ متر در این تحقیق ارزیابی نشده است.

منابع

احمدی، زینب؛ کرتولی نژاد، داود؛ ملاشاهی، مریم؛ شایان مهر، معصومه. (۱۳۹۷). تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع و سطح‌های غذایی فون خاک در جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل‌های گلندرود). فصلنامه علوم محیطی، ۱۶(۳)، صص: ۱۳۵-۱۵۲.

بشیری، حسن؛ کرتولی نژاد، داود؛ معافی، مهران؛ رحیمی، محمد. (۱۳۹۶). ارزیابی خسارت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی معادن زغال‌سنگ بر اراضی جنگلی و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: معدن زغال‌سنگ، سنگ درکا-آمل). پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه سمنان، ۸۷ ص.

جعفری، فرزانه؛ کرتولی نژاد، داود؛ امیری، مجتبی؛ شایان مهر، معصومه؛ اکبریان، محمد. (۱۳۹۶). تأثیر درازمدت مالچ نفتی بر شاخص‌های تنوع زیستی ماکروفون خاک و پوشش گیاهی در منطقه جاسک. خشکبوم، ۷(۱)، صص: ۲۷-۳۸.

Ahirwal, J., Maiti, S. K. (2016). Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (Shorea robusta) forest, India. Catena, 140, 155-163. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.028

Chabukdhara, M., Singh, O. P. (2016). Coal mining in northeast India: an overview of environmental issues and treatment approaches. International Journal of Coal Science & Technology, 3, 87-96. https://doi.org/10.1007/s40789-016-0126-1
Donggan, G., Zhongke, B., Tieliang, S., Hongbo, S., Wen, Q. (2011). Impacts of coal mining on the aboveground vegetation and soil quality: a case study of Qinxin coal mine in Shanxi Province, China. Clean–Soil, Air Water, 39(3), 219-225. https://doi.org/10.1002/clen.201000236
Eghrari, S., Ravanbakhsh, H., Shirvany, A., Kartoolinejad, D. (2023). The effect of understory shrub species on the natural regeneration of Hyrcanian mixed broad-leaved forests (Kheyrud, Iran). Iranian Journal of Forest, 15(1), 1-10. https://www.ijf-isaforestry.ir/article_163432_en.html?lang=fa
Fatah, L. (2008). The impacts of coal mining on the economy and environment of South Kalimantan Province, Indonesia. ASEAN economic bulletin, 85-98. https://www.jstor.org/stable/41231497
Finkelman, R. B., Wolfe, A., Hendryx, M. S. (2021). The future environmental and health impacts of coal. Energy Geoscience, 2(2), 99-112. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.11.001
Goswami, S. (2015). Impact of coal mining on environment. European Researcher, (3), 185-196.
Huang, Y., Tian, F., Wang, Y., Wang, M., Hu, Z. (2015). Effect of coal mining on vegetation disturbance and associated carbon loss. Environmental Earth Sciences, 73, 2329-2342. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3584-z
Khodaverdi, S., Amiri, M., Kartoolinejad, D., Mohammadi, J. (2019). Canopy gaps characteristics of pure and mixed stands in the Hyrcanian forests of north Iran. Annals of Silvicultural Research, 43(2), 62-70. https://doi.org/10.12899/asr-1882
Kompała-Bąba, A., Sierka, E., Dyderski, M. K., Bierza, W., Magurno, F., Besenyei, L., ... Woźniak, G. (2020). Do the dominant plant species impact the substrate and vegetation composition of post-coal mining spoil heaps? Ecological Engineering, 143, 105685. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105685
Li, H., Chen, W., Zhang, C., Liang, H. (2024). Coupling relationship between soil properties and plant diversity under different ecological restoration patterns in the abandoned coal mine area of southern China. EGUsphere, 2024, 1-41. https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-305
Milder, A. I., Fernández-Santos, B., Martínez-Ruiz, C. (2013). Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insights for forest expansion. Land Degradation & Development, 24(1), 39-46.
Mondal, S., Palit, D., Chattopadhyay, P. (2020). Impact of mining on tree diversity of the coal mining forest area at Raniganj coal field area of West Bengal, India. Ecology, Environment and Conservation, 26, 66-72.
Pandey, B., Agrawal, M., Singh, S. (2014). Coal mining activities change plant community structure due to air pollution and soil degradation. Ecotoxicology, 23, 1474-1483. https://doi.org/10.1007/s10646-014-1289-4
Sarma, K. and Barik, S. K. (2011). Coal mining impact on vegetation of the Nokrek Biosphere Reserve, Meghalaya, India. Biodiversity, 12(3), 154-164. https://doi.org/10.1080/14888386.2011.629779
Sarma, K., Kushwaha, S. P. S., Singh, K. J. (2010). Impact of coal mining on plant diversity and tree population structure in Jaintia Hills district of Meghalaya, North East India. New York Science Journal, 3(9), 79-85.
Semy, K., Singh, M. R. (2024). Changes in plant diversity and community attributes of coal mine-affected forest in relation to a community reserve forest of Nagaland, Northeast India. Tropical Ecology, 65(1), 16-25. https://doi.org/10.1007/s42965-023-00310-z
Sena, K. L., Yeager, K. M., Barton, C. D., Lhotka, J. M., Bond, W. E., Schindler, K. J. (2021). Development of mine soils in a chronosequence of forestry-reclaimed sites in eastern Kentucky. Minerals, 11(4), 422. https://doi.org/10.3390/min11040422
Thakur, T. K., Dutta, J., Upadhyay, P., Patel, D. K., Thakur, A., Kumar, M., Kumar, A. (2022). Assessment of land degradation and restoration in coal mines of central India: A time series analysis. Ecological Engineering, 175, 106493. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106493
Vishwakarma, A. K., Behera, T., Rai, R., Sonkar, A. K., Singh, A. P., Shrivastva, B. K. (2020). Impact assessment of coal mining-induced subsidence on native soil of South Eastern Coal Fields: India. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 6, 1-21. https://doi.org/10.1007/s40948-020-00156-y
Vishwakarma, A. K., Rai, R., Sonkar, A. K., Behera, T., Shrivastva, B. K. (2020). Assessment of impacts of coal mining-induced subsidence on native flora and native forest land: A brief review. Sustainable Development Practices Using Geoinformatics, 141-152. https://doi.org/10.1002/9781119687160.ch9
Xiao, W., Zhang, W., Ye, Y., Lv, X., Yang, W. (2020). Is underground coal mining causing land degradation and significantly damaging ecosystems in semi-arid areas? A study from an Ecological Capital perspective. Land degradation & development, 31(15), 1969-1989. https://doi.org/10.1002/ldr.3570.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Ahmadi, Z., Kartoolinejad, D., Molashahi, M., Shayanmehr, M. (2018). Effect of fire on the diversity and trophic levels of soil fauna in Hyrcanian forests after 5 years (case study: Galandroud forest). Environmental Sciences, 16(3), 135-152. https://envs.sbu.ac.ir/article_97958.html?lang=en [In Persian]

Beshiri, H., Kartooulinejad, D., Moafi, M., Rahimi, M. (2017). Evaluation of economic and environmental damages to land forest and vegetation in coal mining (case study: coal mine of SangDarka-Amol). Master's thesis in Sivicultural and Forest Ecology, Semnan University, 87 p.. [In Persian]

Jafari, F., Kartoolinejad, D., Amiri, M., Shayanmehr, M., Akbarian, M. (2017). Long-term effect of oil mulch on richness and biodiversity of soil macro-fauna and vegetation in Jask, Iran. Journal of Arid Biome, 7(1), 27-38. DOI: 10.29252/ARIDBIOM.7.1.27 [In Persian]

References (in English)

Ahirwal, J., Maiti, S. K. (2016). Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (Shorea robusta) forest, India. Catena, 140, 155-163. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.028

Chabukdhara, M., Singh, O. P. (2016). Coal mining in northeast India: an overview of environmental issues and treatment approaches. International Journal of Coal Science & Technology, 3, 87-96. https://doi.org/10.1007/s40789-016-0126-1

Donggan, G., Zhongke, B., Tieliang, S., Hongbo, S., Wen, Q. (2011). Impacts of coal mining on the aboveground vegetation and soil quality: a case study of Qinxin coal mine in Shanxi Province, China. Clean–Soil, Air Water, 39(3), 219-225. https://doi.org/10.1002/clen.201000236

Eghrari, S., Ravanbakhsh, H., Shirvany, A., Kartoolinejad, D. (2023). The effect of understory shrub species on the natural regeneration of Hyrcanian mixed broad-leaved forests (Kheyrud, Iran). Iranian Journal of Forest, 15(1), 1-10. https://www.ijf-isaforestry.ir/article_163432_en.html?lang=fa

Fatah, L. (2008). The impacts of coal mining on the economy and environment of South Kalimantan Province, Indonesia. ASEAN economic bulletin, 85-98. https://www.jstor.org/stable/41231497

Finkelman, R. B., Wolfe, A., Hendryx, M. S. (2021). The future environmental and health impacts of coal. Energy Geoscience, 2(2), 99-112. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.11.001

Goswami, S. (2015). Impact of coal mining on environment. European Researcher, (3), 185-196.

Huang, Y., Tian, F., Wang, Y., Wang, M., Hu, Z. (2015). Effect of coal mining on vegetation disturbance and associated carbon loss. Environmental Earth Sciences, 73, 2329-2342. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3584-z

Khodaverdi, S., Amiri, M., Kartoolinejad, D., Mohammadi, J. (2019). Canopy gaps characteristics of pure and mixed stands in the Hyrcanian forests of north Iran. Annals of Silvicultural Research, 43(2), 62-70. https://doi.org/10.12899/asr-1882

Kompała-Bąba, A., Sierka, E., Dyderski, M. K., Bierza, W., Magurno, F., Besenyei, L., ... Woźniak, G. (2020). Do the dominant plant species impact the substrate and vegetation composition of post-coal mining spoil heaps? Ecological Engineering, 143, 105685. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105685

Li, H., Chen, W., Zhang, C., Liang, H. (2024). Coupling relationship between soil properties and plant diversity under different ecological restoration patterns in the abandoned coal mine area of southern China. EGUsphere, 2024, 1-41. https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-305

Milder, A. I., Fernández-Santos, B., Martínez-Ruiz, C. (2013). Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insights for forest expansion. Land Degradation & Development, 24(1), 39-46.

Mondal, S., Palit, D., Chattopadhyay, P. (2020). Impact of mining on tree diversity of the coal mining forest area at Raniganj coal field area of West Bengal, India. Ecology, Environment and Conservation, 26, 66-72.

Pandey, B., Agrawal, M., Singh, S. (2014). Coal mining activities change plant community structure due to air pollution and soil degradation. Ecotoxicology, 23, 1474-1483. https://doi.org/10.1007/s10646-014-1289-4

Sarma, K. and Barik, S. K. (2011). Coal mining impact on vegetation of the Nokrek Biosphere Reserve, Meghalaya, India. Biodiversity, 12(3), 154-164. https://doi.org/10.1080/14888386.2011.629779

Sarma, K., Kushwaha, S. P. S., Singh, K. J. (2010). Impact of coal mining on plant diversity and tree population structure in Jaintia Hills district of Meghalaya, North East India. New York Science Journal, 3(9), 79-85.

Semy, K., Singh, M. R. (2024). Changes in plant diversity and community attributes of coal mine-affected forest in relation to a community reserve forest of Nagaland, Northeast India. Tropical Ecology, 65(1), 16-25. https://doi.org/10.1007/s42965-023-00310-z

Sena, K. L., Yeager, K. M., Barton, C. D., Lhotka, J. M., Bond, W. E., Schindler, K. J. (2021). Development of mine soils in a chronosequence of forestry-reclaimed sites in eastern Kentucky. Minerals, 11(4), 422. https://doi.org/10.3390/min11040422

Thakur, T. K., Dutta, J., Upadhyay, P., Patel, D. K., Thakur, A., Kumar, M., Kumar, A. (2022). Assessment of land degradation and restoration in coal mines of central India: A time series analysis. Ecological Engineering, 175, 106493. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106493

Vishwakarma, A. K., Behera, T., Rai, R., Sonkar, A. K., Singh, A. P., Shrivastva, B. K. (2020). Impact assessment of coal mining-induced subsidence on native soil of South Eastern Coal Fields: India. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 6, 1-21. https://doi.org/10.1007/s40948-020-00156-y

Vishwakarma, A. K., Rai, R., Sonkar, A. K., Behera, T., Shrivastva, B. K. (2020). Assessment of impacts of coal mining-induced subsidence on native flora and native forest land: A brief review. Sustainable Development Practices Using Geoinformatics, 141-152. https://doi.org/10.1002/9781119687160.ch9

Xiao, W., Zhang, W., Ye, Y., Lv, X., Yang, W. (2020). Is underground coal mining causing land degradation and significantly damaging ecosystems in semi-arid areas? A study from an Ecological Capital perspective. Land degradation & development, 31(15), 1969-1989. https://doi.org/10.1002/ldr.3570.