Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Physical and chemical characteristics of substrate material for plant growth on coal wastes in rangelands of Kiasar, Sari, Mazandaran province

Mahya Rezaei Bisotoni[1], Jamshid Ghorbani*[2], Ghorban Vahabzadeh[3], Seyyed Mohammad Hodjati[4]

1. MSc. in Range Management, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2. Corresponding author; Associate Prof., Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: j.ghorbani@sanru.ac.ir
3. Associate Prof., Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 15.03.2021
Revised: 10.06.2022
Accepted: 03.07.2022

Keywords:
Mine wastes,
succession,
pollution,
heavy metals,
mine reclamation.

Abstract

Background: Mining activities lead to the degradation of rangeland ecosystem structures and functions. Coal mining in rangelands generates substantial quantities of waste dumps, which serve as the primary environmental pollutants in the area and its surrounding ecosystems. Vegetation restoration in these mining areas can help reduce soil pollution and contribute to the overall landscape restoration. The aim of this study was to assess the physical and chemical properties of abandoned coal wastes in the rangelands of Kiasar, Mazandaran province, Iran. This information can be utilized to promote vegetation restoration on coal mine wastes by identifying the factors that limit plant growth and establishment on such substrates.

Methodology: This study was conducted at the Kiasar coal mine in Sari, Mazandaran province, Iran. The mine site was established in 1983. The area is located at an elevation of 1030 m above sea level, with an average rainfall of 520 mm and a mean temperature of 13.2°C. A total of 10 coal waste dumps were abandoned in the area over the last three decades. Six age classes were identified based on the time since abandonment of these waste dumps in the surrounding area of the mine site. The identification process involved the assistance of experienced engineers and local workers. The age classes were categorized as follows: 4-6, 8-12, 15-18, 19-21, 22-24, and 25-27 years since abandonment. The control site consisted of natural rangelands around the mine, which are currently used for livestock grazing. Waste and soil samples were collected using a random-systematic method from a depth of 0-20 cm. The samples were then placed in plastic bags for subsequent chemical analysis. The soil samples were air-dried at room temperature, and various parameters, including texture, moisture, pH, EC, OC, CaCO3, N, P, K, Cu, Fe, Cd, Ni, and Pb, were measured in the laboratory. Data were analyzed using one-way ANOVA, and means were compared using Duncan multiple tests.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

Results:
The analysis of variance indicated that all measured parameters of soil and coal, except nitrogen and potassium, exhibited statistically significant differences among the coal wastes and the nearby rangelands. The coal wastes had lower percentages of silt, clay, moisture, and lime compared to those in the surrounding rangelands. However, these properties did not show significant differences among the various abandoned coal wastes. Most of the abandoned wastes were characterized as neutral or alkaline, with an electrical conductivity (EC) less than 1.5 dS/m. An exception was found in the waste that was abandoned 22-24 years ago, which exhibited acidic pH

Conclusion: In conclusion, our study revealed that moisture availability is a crucial limiting factor for plant growth on coal wastes. This limitation can be attributed to the sandy and sandy-loamy texture, unstable slope of coal dumps, and high porosity of the substrate. Moreover, coal waste undergoing erosion and leaching exhibited high electrical conductivity (EC) and low pH levels. The levels of organic matter and available phosphorus were found to be insufficient for supporting optimal plant growth. However, the concentrations of heavy metals remained within the normal range, even after a significant period since the abandonment of coal wastes. We recommend the implementation of remediation treatments in similar restoration projects to enhance plant growth and establishment.

Cite this article: Rezaei Bisotoni, M., J. Ghorbani, G. Vahabzadeh, S.M. Hodjati, 2023. Physical and chemical characteristics of substrate material for plant growth on coal wastes in rangelands of Kiasar, Sari, Mazandaran province. Journal of Rangeland, 16(4): 652-665.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر رشد گیاهان در باطله‌های زغال سنگ در مراتع منطقه کیاسر ساری، استان مازندران

مهیا رضایی بیستونی[۱]، جمشید قربانی*[۲]، قربان وهاب‌زاده[۳]، سید محمد حجتی[۴]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: j.ghorbani@sanru.ac.ir

۳. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۴. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

واژه‌های کلیدی:
باطله‌های معدنی،
توالی،
آلودگی،
فلزات سنگین،
احیاء معدن.

چکیده

سابقه و هدف: استخراج معادن موجب تخریب اجزاء ساختاری و کارکردی در یک اکوسیستم مرتع می‌شوند. در مراتعی که استخراج معادن زغال‌سنگ در آنها انجام می‌شود معمولا انباشت‌های عظیمی از باطله‌های معدنی وجود دارد که از آلاینده‌های مهم برای طبیعت منطقه و اطراف هستند. احیای پوشش گیاهی در این انباشت‌های باطله زغال‌سنگ موجب کاهش آلودگی و بهبود چشم‌انداز در منطقه خواهد شد. هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله‌های زغال‌سنگ در محدوده معادن زغال‌سنگ البرز مرکزی در استان مازندران بوده است. با این شناخت ضمن شناسایی محدودیت‌های رشد و استقرار گیاهان، می‌توان احیای پوشش گیاهی در این مناطق را تسریع نمود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در معادن زغال‌سنگ کیاسر در شهرستان ساری در استان مازندران انجام شد. منطقه دارای ارتفاع متوسط ۱۰۳۰ متر از سطح دریا، میانگین بارندگی سالیانه ۵۲۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد است. بهره‌برداری از معدن منطقه از سال ۱۳۶۲ آغاز شده است. تعداد ۱۰ انباشت باطله متروک زغال‌سنگ در منطقه شناسایی شد. با کمک مهندسان و کارکنان با تجربه شش زمان رهاسازی باطله در منطقه تعیین شد. سن رهاسازی باطله‌ها شامل باطله ۴ تا ۶ سال، ۸ تا ۱۲سال، ۱۵ تا ۱۸سال، ۱۹ تا ۲۱ سال، ۲۲ تا ۲۴ سال و باطله ۲۵ تا ۲۷ سال بوده است. مراتع اطراف معدن که تحت چرای دام هستند به عنوان منطقه شاهد انتخاب شدند. نمونه‌برداری باطله زغال سنگ با استفاده از روش تصادفی-منظم تا عمق ۲۰ سانتی‌متری انباشت‌های باطله و مراتع اطراف معدن به عنوان شاهد صورت پذیرفت. بافت و میزان رطوبت در انباشت باطله و همچنین خصوصیات شیمیایی آن مانند درصد کربن آلی، آهک، اسیدیته، هدایت الکتریکی، عناصر غذایی (نیتروژن، پتاسیم و فسفر) و عناصر سنگین (مس، سرب، آهن، نیکل و کادمیم) اندازه‌گیری شدند. برای مقایسه خصوصیات خاک در باطله‌های متروک زغال‌سنگ و مراتع اطراف از آنالیز واریانس یک طرفه و در صورت معنی‌داری از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که به جز میزان ازت و پتاسیم، برای سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در بین باطله‌های زغال‌سنگ و خاک مراتع اطراف اختلاف معنی‌دار وجود دارد. باطله‌های زغال‌سنگ نسبت به خاک مراتع اطراف از درصد سیلت، درصد رس، درصد رطوبت و درصد آهک کمتری برخوردار بودند. باطله‌های زغال‌سنگ با سن مختلف رهاسازی از نظر این خصوصیات تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. بیشتر باطله‌های

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

زغال‌سنگ در منطقه دارای اسیدیته خنثی تا قلیایی و هدایت الکتریکی کمتر از ۱/۵ دسی زیمنس بر متر بودند اما تنها باطله زغال‌سنگ با سن رهاسازی ۲۲ تا ۲۴ سال دارای شرایط اسیدی و هدایت الکتریکی بالاتر بوده است. میزان ماده آلی در تمام باطله‌های زغال‌سنگ و فسفر قابل جذب در باطله با سن رهاسازی ۲۲ تا ۲۴ سال بیشتر از خاک مراتع اطراف بود. در آنالیز واریانس اثر معنی‌داری برای کادمیوم و نیکل مشاهده نشد اما برای سایر فلزات سنگین باطله‌های زغال‌سنگ از میزان مس و سرب بیشتری برخوردار بودند. غلظت آهن در خاک مراتع اطراف از میزان آن در باطله‌های زغال‌سنگ بیشتر بوده است. سن رهاسازی باطله‌ها بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله اثر داشته و با افزایش سن باطله‌ها، افزایش درصد ماده آلی، میزان فسفر و سرب مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در بررسی باطله‌های زغال‌سنگ که در زمان‌های مختلف در منطقه رها شده‌اند مشخص شد که میزان رطوبت از عوامل محدودکننده برای رشد و استقرار گیاهان است که در ارتباط با بافت عمدتاً شنی و شن- لومی باطله‌ها، دامنه‌های ناپایدار انباشت باطله‌ها، و تخلخل بالای آنها است. در باطله‌ای که در معرض فرسایش و آبشویی بوده افزایش هدایت الکتریکی و کاهش اسیدیته مشاهده شد. مقدار ماده آلی و فسفر قابل جذب هم کمتر از محدوده رشد گیاهان بوده است. مقدار فلزات سنگین در باطله‌ها حتی با گذشت زمان طولانی از رهاسازی نیز برای رشد گیاهان در محدوده نرمال قرار داشتند. برای احیاء پوشش گیاهی در منطقه استفاده از تیمارهای اصلاحی به منظور بهبود شرایط رشد و استقرار گیاهان توصیه می‌شود.

استناد: رضایی بیستونی، م.، ج. قربانی، ق. وهاب‌زاده، س.م. حجتی، ۱۴۰۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر رشد گیاهان در باطله‌های زغال سنگ در مراتع منطقه کیاسر ساری، استان مازندران. مرتع، ۱۶(۴): ۶۵۲-۶۶۵.

DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

مقدمه

زغال‌سنگ از سوخت‌های مهم فسیلی پس از نفت است که حدود ۴۰ درصد از تولید جریان برق در دنیا و ۲۷ درصد از انرژی اولیه زمین از آن حاصل می‌شود (۶). علی‌رغم مزایای زیاد این ماده معدنی، استخراج زغال‌سنگ آسیب‌های محیط زیستی بسیاری برای حیات بشر و سایر موجودات به همراه دارد (۲، ۲۶ و ۳۵). از بین رفتن پوشش گیاهی و تخریب زیستگاه‌های طبیعی از جمله آثار مخرب استخراج زغال‌سنگ هستند (۲۴،۱). در استخراج این ماده معدنی که معمولا به‌صورت زیرزمینی است مقدار قابل‌توجهی از لایه رویی کانسنگ و همچنین ضایعات کانسنگ در اطراف معادن رها یا روی هم انباشته می‌شوند که به آنها باطله معدنی گفته می‌شود. این باطله‌ها دارای شرایط نامطلوب از جمله اسیدیته پایین، کمبود ماده مغذی، درجه حرارت و شوری بالا، کمبود رطوبت و عدم فعالیت ریزموجودات هستند (۹ و ۳۵). علاوه بر این، اکسیداسیون مقادیر زیاد کانی‌های سولفیدی به‌ویژه پیریت در باطله‌های زغال‌سنگ، اثرات منفی و زیان‌باری بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک و میکروارگانیسم‌های موجود در آن دارد (۱۱). با توجه به آثار سوء باطله‌های حاصل از استخراج معادن زغال‌سنگ، عدم احیای بوم‌شناختی آن‌ها تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و عاملی محدودکننده برای پیشرفت این صنعت به شمار می‌آید (۹).

احیای پوشش گیاهی در اراضی معدنکاری شده از الزامات قانونی برای حفظ محیط‌زیست در بسیاری از کشورها است (۲۳ و ۲۶). برای استقرار پوشش گیاهی باید ارتباط بین گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی به‌ویژه خاک را در نظر گرفت، زیرا خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نامطلوب خاک در بسیاری از این مناطق، از علل اصلی عدم رشد پوشش گیاهی محسوب می‌شوند (۳، ۴ و ۳۳). در احیای باطله‌ها، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی به عنوان شاخص اصلی کیفیت خاک، از اهمیت زیادی برخوردار هستند (۱۵). پوشش گیاهی می‌تواند با کنترل آلودگی، جذب فلزات سنگین و اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، موجب بهبود محیط زیست شود (۵، ۹ و ۱۸). همچنین استقرار پوشش گیاهی در این مناطق معدنی می‌تواند موجب احیاء کیفیت خاک سطحی شود (۳۲) که بهبود کارکرد اکوسیستم به خصوص از نظر چرخه عناصر را در پی دارد (۲۱). در اغلب موارد، روند بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی باطله‌ها در ارتباط با سن رهاسازی باطله‌ها است. به‌طور کلی مواد آلی، ازت کل، نیتروژن قابل دسترس، پتاسیم و فسفر در لایه‌های بالایی خاک با افزایش سن باطله‌های زغال‌سنگ و استقرار پوشش گیاهی روند افزایشی داشته و با احیاء، تعداد و ترکیب جوامع میکروبی موجود در باطله‌ها افزایش می‌یابد (۳۴). در مکان‌های استخراج زغال سنگ معمولا انباشت‌های عظیمی از باطله وجود دارد که ضرورت دارد تا محدوددیت‌های استقرار گیاهان بر روی آنها مورد مطالعه قرار گیرد. مطالعه قبلی در معادن زغال سنگ البرز مرکزی در سوادکوه، استان مازندران نشان داد که قابلیت هدایت اکتریکی، بافت و عناصر سنگین از مهم‌ترین خصوصیات در استقرار گیاهان در باطله‌های زغال سنگ بوده‌اند (۲۲). در این تحقیق خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله‌های متروکه زغال‌سنگ در معادن کیاسر در شهرستان ساری در استان مازندران مورد مطالعه قرار گرفت. باطله‌ها در سال‌های مختلف در مراتع منطقه انباشت شده و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این باطله‌ها و تغییرات آنها بر حسب سال رهاسازی از اهداف این تحقیق بوده تا بتوان از نتایج آن برای رشد و استقرار گیاهان بر روی این باطله‌ها استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

معدن زغال‌سنگ کیاسر در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهر کیاسر و در ۷۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر ساری و در محدوده طول شرقی ″۳۶ ′۳۴ °۵۳ تا ″ ۲۸ ′۳۵ °۵۳ و عرض شمالی ″۴ ′۱۶ °۳۶ تا ″۴۸ ′۱۵ °۳۶ واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه کوهستانی و دارای ارتفاع متوسط ۱۰۳۰ متر از سطح دریا، میانگین بارندگی سالیانه ۵۲۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد است. بهره‌برداری از معدن زغال‌سنگ کیاسر، از سال ۱۳۶۲ آغاز شده است. این معدن از نیمه دوم سال ۱۳۸۲ از شرکت زغال‌سنگ البرز مرکزی به شرکت سامان سوادکوه (بخش خصوصی) واگذار گردیده است و دارای سه تونل می‌باشد که تونل ۱ و ۳ فعال و تونل ۲

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

غیرفعال است. مطالعه حاضر روی ۱۰ انباشت باطله متروک زغال‌سنگ با شش گروه سنی رهاسازی و مراتع اطراف معدن به عنوان منطقه شاهد انجام شد. سن رهاسازی باطله‌ها شامل باطله ۴ تا ۶ سال، ۸ تا ۱۲سال، ۱۵ تا ۱۸سال، ۱۹ تا ۲۱ سال، ۲۲ تا ۲۴ سال و باطله ۲۵ تا ۲۷ سال است. برای شناسایی و تعیین سن رهاسازی باطله‌ها از اطلاعات مهندسان مجرب استفاده شد.

شکل ۱: موقعیت معدن کیاسر ساری در استان مازندران و محدوده تونل‌ها و مراتع اطراف آن

نمونه‌گیری باطله‌های زغال سنگ

نمونه‌گیری به روش تصادفی- منظم انجام شد. به این ترتیب که پلات‌های یک متر مربعی به صورت تصادفی در امتداد ترانسکت‌ها قرار گرفتند و نمونه‌ها به علت تجمع مواد غذایی و بستر سخت باطله‌ها از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری برداشت شدند. طول (۵۰ و ۱۰۰ متری) و تعداد ترانسکت‌ها با توجه به حجم و وسعت منطقه انباشت متفاوت بود. در مجموع ۸۴ نمونه از کل منطقه شامل ۵۱ نمونه باطله و ۳۳ نمونه از خاک مراتع اطراف برداشت شدند. نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شد تا قطعات گیاهان، سنگ و سنگ‌ریزه از خاک جدا و برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی آماده شوند. بافت خاک به روش هیدرومتری و اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش توزین صورت گرفت. پارامترهای شیمیایی مانند درصد کربن آلی به روش والکی- بلاک، آهک (CaCo3) با استفاده از روش کلسیمتری، اسیدیته (pH) با استفاده از pH متر (پتانسیومتری)، هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از هدایت سنج الکتریکی، ازت کل خاک با روش کجلدال، پتاسیم قابل جذب (تبادلی) با روش فلئم فتومتری و فسفر قابل جذب (تبادلی) به روش اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری شدند (۱۷). برای اندازه‌گیری عناصر سنگین (مس، سرب، آهن، نیکل و کادمیم)، تعداد ۱۸ نمونه باطله زغال‌سنگ با سنین متفاوت متروک ماندن و شش نمونه خاک شاهد با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد بررسی قرار گرفتند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای نرمال‌سازی داده‌های درصدی پارامترهای خاک از تبدیل سینوس معکوس استفاده شد. به منظور مقایسه خصوصیات خاک در باطله‌های متروک زغال‌سنگ و رویشگاه‌های طبیعی (مرتع) از آنالیز واریانس یک‌طرفه و در صورت معنی‌داری از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. با توجه به تعداد اندک داده‌های عناصر سنگین، برای انجام آنالیز واریانس، شش سن باطله به سه سن (کمتر از ۱۲، ۱۲ تا ۲۰ و بیش از ۲۰ سال) تقسیم شدند. تمامی آنالیزها در نسخه ۲۳ نرم‌افزار SPSS انجام شدند.

نتایج

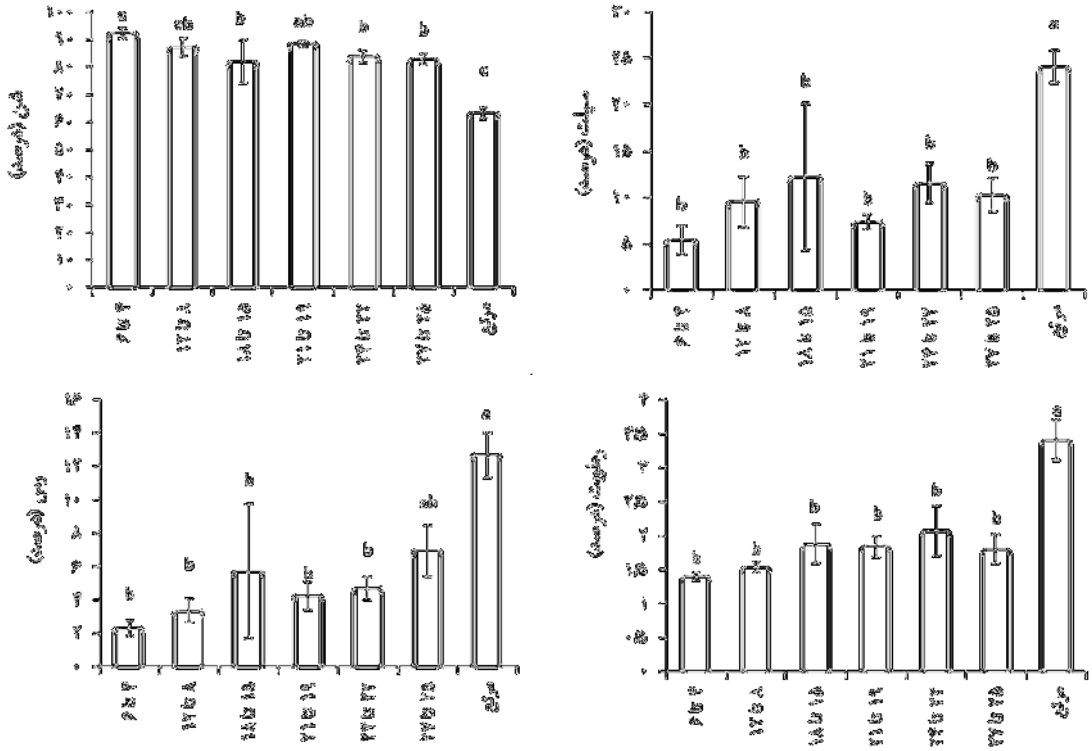
خصوصیات خاک در باطله‌های زغال‌سنگ و مراتع اطراف

تجزیه واریانس یک‌طرفه برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که به جز درصد ازت ($F=1/43$ و $P=0/211$) و پتاسیم تبادلی ($F=1/51$ و $P=0/183$)، سایر پارامترهای خاک معنی‌دار شدند. مقایسه درصد ذرات بافت خاک نشان داد که درصد شن در خاک منطقه مرتعی به طور معنی‌داری کمتر از سایر باطله‌های زغال سنگ بوده است (شکل ۲). در بین باطله‌های معدنی بیشترین مقدار درصد شن در باطله ۶-۴ سال، ۱۲-۸ سال و ۲۱-۱۹ سال مشاهده شد. میانگین درصد سیلت بین مناطق نشان داد که منطقه مرتعی به‌طور معنی‌داری دارای بیشترین درصد سیلت است و بین باطله‌ها با سنین مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). میزان درصد رس نیز در منطقه مرتعی به طور معنی‌داری بیشتر از باطله‌های زغال‌سنگ بوده و باطله‌های معدنی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. مقایسه میانگین درصد رطوبت خاک در بین مناطق حاکی از این است که منطقه مرتعی نسبت به باطله‌های زغال‌سنگ با سنین متفاوت، از میزان رطوبت بیشتری برخوردار است (شکل ۲).

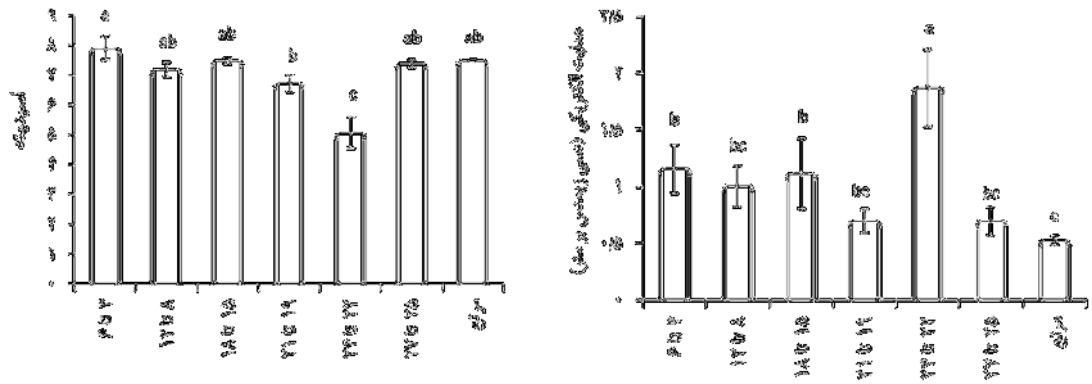
باطله زغال‌سنگ ۲۲ تا ۲۴ سال به طور معنی‌داری دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی نسبت به سایر باطله‌ها و منطقه مرتعی است (شکل ۳). میزان اسیدیته خاک در باطله زغال‌سنگ ۲۲ تا ۲۴ سال کمتر از سایر باطله‌ها و مرتع اطراف بود (شکل ۳). باطله زغال‌سنگ (به استثنای باطله ۲۵-۲۷ ساله) نسبت به مراتع اطراف کمترین مقدار آهک را داشتند (شکل ۴). نتایج نشانگر آن است که باطله‌های با حداقل سن رهاسازی ۸ سال از ماده آلی بیشتری برخوردار بودند (شکل ۴). با مقایسه میانگین فسفر مشخص شد که باطله زغال‌سنگ با محدوده سنی۲۲ تا ۲۴ سال دارای بیشترین مقدار فسفر است و سایر مناطق اختلاف معنی‌داری با یکدیگر و مرتع شاهد نداشتند (شکل ۴).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]



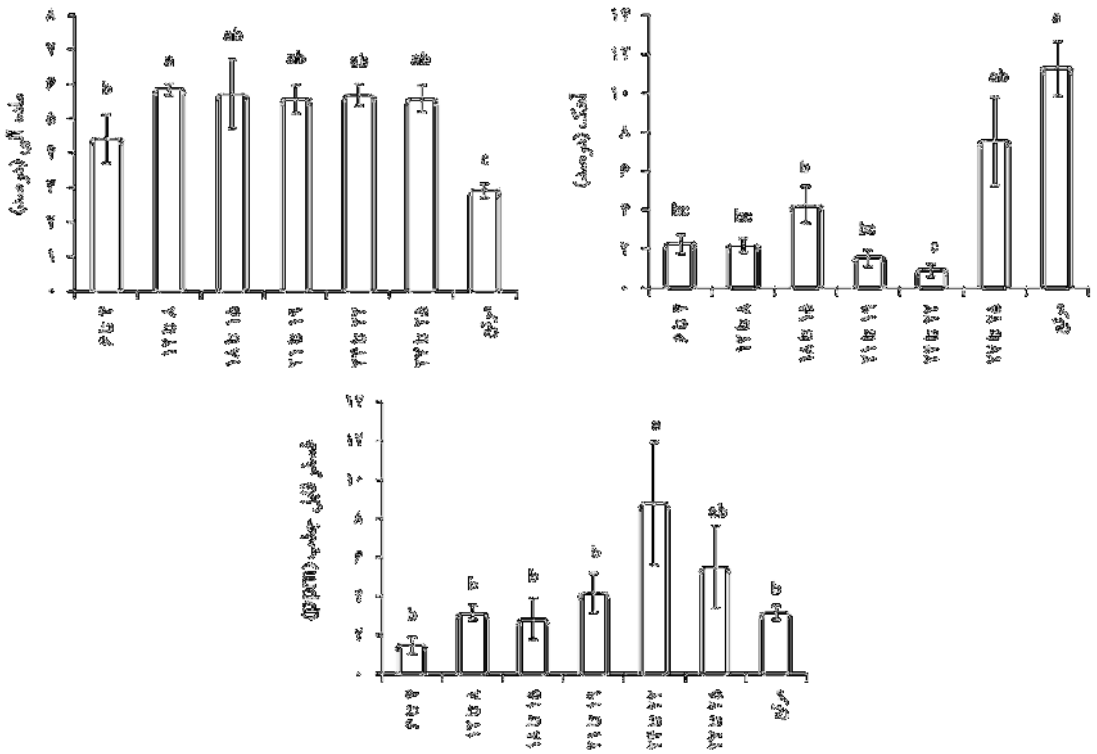
شکل ۲: مقایسه میانگین درصد شن (P=<۰/۰۰۱, F=۱۸/۹۹)، سیلت (P=<۰/۰۰۱, F=۱۱/۷۸)، رس (P=<۰/۰۰۱, F=۸/۸۵) و رطوبت (P=<۰/۰۰۱ , F=۶/۶۹) در باطله‌های معدنی زغال‌سنگ با سنین مختلف رهاسازی و مرتع اطراف آن در معدن کیاسر ساری، استان مازندران



شکل ۳: مقایسه میانگین هدایت الکتریکی (P=<۰/۰۰۱, F=۹/۲۹)، و اسیدیته خاک (P=<۰/۰۰۱, F=۱۴/۰۴) در باطله‌های معدنی زغال-سنگ با سنین مختلف رهاسازی و مرتع اطراف آن در معدن کیاسر ساری، استان مازندران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]



شکل ۴: مقایسه میانگین آهک (P=<۰/۰۰۱, F=۱۶/۲۷)، ماده آلی (P=<۰/۰۰۱, F=۱۳/۶۶) و مقدار فسفر تبادلی (P=<۰/۰۱۵, F=۲/۸۳) در باطله‌های معدنی زغال‌سنگ با سنین مختلف رهاسازی و مرتع اطراف آن در معدن کیاسر ساری، استان مازندران.

فلزات سنگین و سمی خاک در باطله‌های زغال‌سنگ و مراتع اطراف

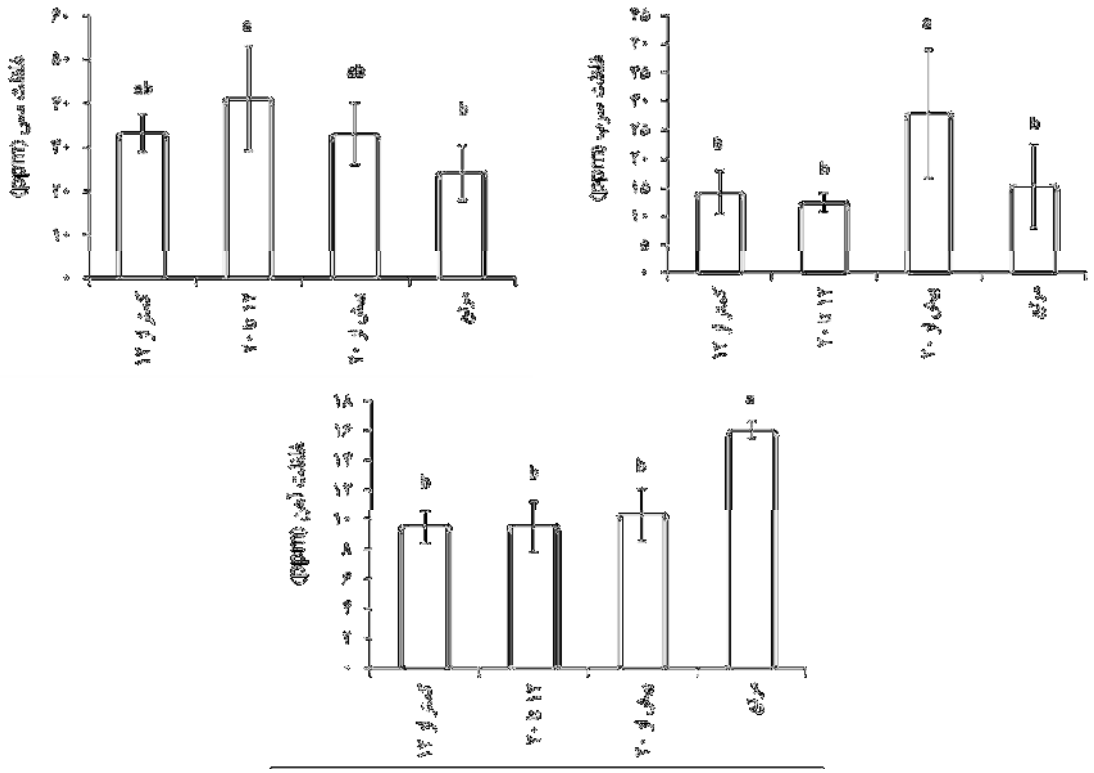
نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه برای غلظت فلزات سنگین در مرتع و سه طبقه سنی باطله نشان داد که به غیر از فلز کادمیم (P=۰/۲۴۵, F=۱/۵) و نیکل (۰/۹۰۲ , P=۰/۴۲۷F=) سایر فلزات سنگین معنی‌دار شدند. مقادیر کادمیم در باطله‌های زغال‌سنگ بین ۳۳۲ تا ۵۱۹ (ppb یا میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در مرتع اطراف حدود ۱۷۲ (ppb) بوده است (جدول ۱). مقدار نیکل در باطله‌ها حدود ۸ (ppb) و در مرتع حدود ۱۰ (ppb) بوده است (جدول ۱). مقایسه میانگین غلظت فلز مس و آهن در بین سنین متفاوت باطله‌ها و منطقه مرتعی بیانگر آن است که غلظت مس در باطله‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش و غلظت آهن کاهش یافت اما بین باطله‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵). مقایسه میانگین غلظت فلز سرب نشان داد که باطله با سن بیش از ۲۰ سال به طور معنی‌داری دارای بیشترین غلظت سرب است و بین باطله‌های دیگر و منطقه مرتعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

جدول ۱: میانگین غلظت فلزات سنگین و ســمی (ppb) در منطقه مرتعی و باطــله‌های زغال‌سنگ با سنین مختلف رهاسازی در معدن زغال‌سنگ کیاسر ساری، استان مازندران

عناصر	باطله‌های زغال‌سنگ با سنین متفاوت (سال)			مرتع
	کمتر از ۱۲	۱۲-۲۰	بیش از ۲۰	
کادمیم (Cd)	۲۱۲/۱ ± ۳۵/۵	۳۴۵/۸۳ ± ۲۶۸	۳۳۲/۰۳ ± ۲۱۴/۴	۱۷۲/۱۳ ± ۲۳/۹۷
نیکل (Ni)	۷/۶۳ ± ۳/۷۴	-	۸/۲۴ ± ۴/۲۶	۱۰/۰۸ ± ۰/۷۷



شکل ۵: میانگــین غلظت مس (P=<۰/۰۱۴, F=۴/۵۹)، ســرب (P=<۰/۰۰۴, F=۶/۲۸) و آهن (P=<۰/۰۰۱, F=۳۱/۰۳) در منطقه مرتعی و باطله‌های زغال‌سنگ با سنین مختلف رهاسازی در معدن زغال‌سنگ کیاسر ساری، استان مازندران

بحث و نتیجه‌گیری

اصولاً استخراج کانسنگ‌های معدنی با تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی مناطق معدنی همراه است (۳۱). در بررسی باطله‌های زغال‌سنگ با سنین متفاوت مشخص شد که بافت خاک عمدتاً شنی و شن لومی است. میزان زیاد شن و مقدار خیلی کم رس و سیلت باطله‌ها نسبت به مرتع، باعث حرکت سریع جریان آب و کاهش ظرفیت نگهداری آب و رطوبت شده و باطله نمی‌تواند آب مورد نیاز گیاه را در خود نگه دارد (۸). از طرفی، میانگین بسیار پایین رطوبت باطله‌ها ممکن است به علت دامنه‌های ناپایدار انباشت باطله‌ها، گرما، کمبود عنصر غذایی، تخلخل بالا و سنگ و سنگ‌ریزه فراوان باشد (۲۶). منشأ شن می‌تواند ناشی از کوارتز به‌عنوان فراوان‌ترین سیلیکات در لایه‌های زغالی باشد (۲۹). سیلت در اثر هوازدگی ذرات درشت‌تر باطله‌ها به وجود می‌آید. میزان کمتر سیلت در باطله‌ها نسبت به مرتع اطراف به دلیل هوازدگی و سن کمتر باطله‌ها است (۱۳). وجود رس در باطله‌ها مربوط به ایلیت و کائولینت است (۲۶). بر اساس نتایج این تحقیق باطله‌های متروک با سن حدود ۲۷ سال، افزایش مقدار رس را به همراه داشته‌اند. در همین راستا، گذر زمان می‌تواند باعث توسعه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

خاک و تغییرات در ساختار فیزیکی باطله‌ها شود (۲۰). در باطله‌های زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه در استان مازندران باطله ۱۰ و ۲۰ ساله حاوی شن فراوان و رس اندک بودند (۲۲). پایین بودن درصد آهک در باطله‌ها می‌تواند به واسطه حضور گوگرد و کانی‌های سولفیدی در باطله‌ها باشد. به‌طور کلی هرجا گوگرد حضور داشته باشد، میزان آهک پایین است (۲۰).

یافته‌ها حاکی از مقدار اندک ماده آلی (بین حدود ۴ تا ۶ درصد) در باطله‌های متروک زغال‌سنگ بوده است. در مطالعه مشابه در باطله‌های زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، مقدار حدود ۵ تا ۸ درصد ماده آلی در باطله‌های ۱۰ و ۲۰ ساله گزارش شد (۲۲). بر اساس نتایج، دلیل مقدار بیشتر ماده آلی در باطله‌ها نسبت به خاک مراتع اطراف، می‌تواند تا حدودی ناشی از باقی‌مانده زغال‌سنگ و دیگر ترکیبات آلی فسیلی در باطله‌ها باشد و تنها به بقایای گیاهی و جانوری سطح خاک مربوط نمی‌شود (۱۴ و ۱۹). این نوع ماده آلی علی‌رغم کیفیت پایین، توانایی نگه‌داشت آب و مواد مغذی را داشته و تا حدودی عدم تشکیل ماده آلی در خاک را جبران می‌کند (۱۴). علاوه بر این، به نظر می‌رسد چرای شدید گیاهان در مرتع و عدم چرای گیاهان روی باطله به علت ناپایداری و شیب زیاد، می‌تواند در اختلاف بین مقادیر ماده آلی موثر باشد. مطالعه پوشش گیاهی باطله‌ها در همین منطقه نشان داد که میانگین درصد تاج پوشش گیاهی روی باطله‌ها از ۸ درصد در باطله جوان تا حدود ۴۹ درصد در باطله‌های مسن‌تر متغیر بوده است (۱۶).

هدایت الکتریکی به عنوان شاخص سطح نمک‌های محلول در نظر گرفته می‌شود. مقدار هدایت الکتریکی خاک در باطله‌ها می‌تواند ناشی از دما، رطوبت خاک، اندازه ذرات، بافت خاک، تبخیر زیاد، وجود نمک‌های طبیعی در باطله‌ها، تغییرات pH، واکنش بین فرآیندهای ناشی از هوازدگی پیریت، کربنات‌های طبیعی و تبادلات کاتیونی و آنیونی باشد (۲۵). تولید اسید حاصل از هوازدگی مواد معدنی به ویژه کانی‌های سولفیدی در کوتاه مدت نیز شیمی خاک را تحت تأثیر قرار داده و باعث انحلال و آزاد شدن نمک در درازمدت می‌شود (۲۶). در این تحقیق، مقدار هدایت الکتریکی در باطله‌ها و مرتع به جز باطله با سن ۲۲ تا ۲۴ سال که رسانای الکتریکی آن به طور قابل توجهی بالا بوده، کمتر از ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر است. طبق مشاهدات، در انباشت باطله ۲۴-۲۲ سال فرسایش شیاری و خندقی وجود دارد که حاکی از حرکت و حضور آب روی باطله است. وجود آب و اکسیژن هم شرایط را برای اکسیداسیون و هیدرولیز پیریت فراهم کرده و باعث آزاد شدن کاتیون‌ها و آنیون‌ها می‌شود. بالا بودن هدایت الکتریکی در باطله زغال‌سنگ واقع در دامنه شیبدار و در معرض فرسایش در منطقه کامزد سوادکوه نیز گزارش شد (۲۲).

نتایج نشان داد به جز باطله با سن ۲۲ تا ۲۴ سال که اسیدی بوده، مقدار pH خاک در باطله‌ها در محدوده بالاتر از ۶ و نزدیک به خنثی تا قلیایی قرار دارد. اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی به خصوص پیریت یکی از رایج‌ترین و تنها عامل مهم اسیدی شدن باطله زغال‌سنگ است (۷). اکسیداسیون منجر به کاهش pH و افزایش غلظت سولفات می‌شود. در برخی مطالعات گزارش شده که حضور آب در باطله فرآیند اکسیداسیون را تسریع و pH را به سرعت کاهش می‌دهد (۱۰).

در بررسی عناصر غذایی خاک، از آنجایی‌که به طور کلی میزان فسفر قابل دسترس در باطله‌های زغال‌سنگ محدود و برای رشد گیاهان کافی نیست، در این مطالعه نیز سطح فسفر قابل دسترس کمتر از حد استاندارد گزارش شد (۲۶). بالا بودن فسفر در انباشت باطله ۲۲ تا ۲۴ سال، احتمالاً در ارتباط با اسیدی بودن آن است، زیرا خاک‌های قلیایی موجب کاهش فسفات محلول و تبدیل آن به کلسیم فسفات غیرقابل حل می‌شوند (۱۰). در مطالعه مشابه در باطله‌های متروک زغال‌سنگ معدن کارمزد سوادکوه، به پایین بودن مقدار فسفر اشاره شد (۲۲).

در بررسی مقادیر فلزات سنگین، با توجه به حد نرمال غلظت آهن که بین صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن در خاک برآورد شده است (۲۸)، مقدار آهن موجود در باطله‌های زغال‌سنگ و مرتع پایین‌تر از این حد نشان داد. آهن موجود در باطله‌ها ناشی از کانی‌های سولفیدی به‌ویژه پیریت (FeS_2) است. به دلیل قرار گرفتن باطله‌ها در معرض هوازدگی و انتقال آنها به محیط اطراف، انتظار می‌رود غلظت آهن در انباشت باطله بیش از ۲۰ سال و ۱۲ تا ۲۰ سال کمتر از باطله جوان‌تر باشد. اما انرژی بالاتر شبکه آهن نسبت به سایر عناصر موجب شده تا آزادسازی آهن به

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

راحتی صورت نگرفته و تقریباً یکسان بودن آهن در باطله‌ها نیز ناشی از عدم شرایط مناسب شکسته شدن همین انرژی شبکه است (۱۱). غلظت فلز سرب در باطله‌ها و مرتع از حد نرمال آن فراتـر نرفته است. سرب ارتباط نزدیکی با ماده آلی داشته و ماده آلی خاک نقش اساسی در کنترل و جذب سرب دارد (۶). غلظت مجاز فلز سرب در خاک ۲ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان شده است. کادمیم جزء عناصری با منشأ غیر از کانی‌های سولفیدی بوده و از طریق پوسته زمین، سنگ مادری، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و معـدنی، آلودگـی هوا و بارندگـی وارد خاک می‌شود (۱۲). در بیشتر مطالعات حد مجاز کادمیوم کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان شده است. مقدار این فلز در این مطالعه در محدوده مجاز گزارش شد. نیکل حاصل فعالیت‌های انسانی مانند معدنکاری، خاکستر زغال‌سنگ، سوخت و فعالیت‌های ماشین‌آلات بوده (۳۰) و مانند کادمیم منشأ غیر از کانی‌های سولفیدی دارد. نیکل عنصر کمیابی است که از سمی‌ترین فلزها در محیط زیست محسوب می‌شود و حلالیت و تحرک بالایی دارد (۲۷). با توجه به مقادیر مجاز آن در خاک (۵۰ تا ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، میزان آن در باطله‌ها بسیار ناچیز بود.

به منظور ارزیابی پتانسیل استقرار پوشش گیاهی در باطله‌های زغال‌سنگ، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مهم‌ترین فلزات سنگین در خاک بررسی شدند. از بین خصوصیات فیزیکی، رطوبت و درصد شن فراوان به عنوان عوامل محدودکننده برای استقرار گیاهان به حساب می‌آیند. اما خواص شیمیایی باطله‌ها در معادن بسیار متغیر بوده و حتی در محدوده یک معدن خاص نه تنها به ویژگی‌های ماده معدنی اصلی، بلکه به چگونگی استخراج ماده معدنی، روش‌های فرآوری، شرایط جوی، نحوه انباشت باطله‌ها و میزان هوازدگی باطله‌ها بستگی دارد. از مهمترین عوامل تعیین‌کننده در بین ویژگی‌های شیمیایی باطله‌ها، حضور کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت است. نتایج نشان داد علی‌رغم این که باطله‌ها با طبقات سنی مختلف، مقادیر متفاوتی از پارامترهای بررسی شده را به خود اختصاص دادند، اما بعضی از آنها اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند. همچنین، اگرچه کمبود مواد مغذی مثل پتاسیم و ازت در باطله‌ها دیده نشد، ولی محدودیت فسفر هم در باطله‌ها و هم در مرتع وجود داشت. بررسی فلزات سنگین حاکی از غلظت فلزات سنگین در محدوده نرمال بوده و مقدار بیشینه فلزات از محدوده نرمال فراتر نرفته و در واقع عاملی بازدارنده برای رشد و استقرار گیاهان محسوب نمی‌شوند.

References

1. Adibee, N., M. Osanloo & M. Rahmanpour, 2013. Adverse effects of coal mine waste dumps on the environment and their management. Environmental Earth Sciences, 70(4): 1581-1592.
2. Ahmadi, F., Sh. Rastgar & R. Ahmadi, 2017. Investigating the impacts of mining activities on livelihood condition of ranchers (Case study: rangelands of Dehgolan city - Kurdistan). Journal of Rangeland, 10(4): 409-425. (In Persian)
3. Alday, J.G., R.H. Marrs & C. Martinez-Ruiz, 2011. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. Applied Vegetation Science, 14(1): 84-94.
4. Alizadeh, A., J. Ghorbani, J. Motamedi, G. Vahabzadeh, A. Vandrant, & M. Edraki, 2019. Vegetation communities' distribution in Sungun copper mine area, Varzaqan, East Azerbaijan. Journal of Rangeland, 13(4): 658-672. (In Persian)
5. Arefieva, O.D., V.G. Tregubova, N.V. Gruschakova & V.T. Starozhilov, 2018. Properties of soils of abandoned coal mine industrial areas (Primorsky Krai, Russia). Journal of Geoscience and Environment Protection, 6: 78-92.
6. Bhuiyan, M.A., L. Parvez, M.A. Islam, S.B. Dampare & S. Suzuki, 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. Journal of Hazardous Materials, 173(1-3): 384-392.
7. Blowes, D.W., E.O. Frind, R.H. Johnson, W.D. Robertson, J.W. Molson & C.J. Ptacek, 1994. Acid-neutralization reactions in inactive mine tailings impoundments and their effect on the transport of dissolved

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

metals. Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and Third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, USA. pp. 86-94

8. Boruvka, L., J. Kozak, M. Muhlhanselova, H. Donatova, A. Nikodem, K. Nemecek & O. Drabek, 2012. Effect of covering with natural topsoil as a reclamation measure on brown-coal mining dumpsites. Journal of Geochemical Exploration, 113: 118-123.
9. Bradshaw, A.D., 1997. Restoration of mined lands using natural processes. Ecological Engineering, 8(4): 255-269.
10. Charnock, N.R. & C.D. Grant, 2005. Assessing various rehabilitation strategies for coarse coal washery reject dumps in the Hunter Valley, Australia. chemical characteristics. International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment, 19(2): 108-131.
11. Dang, Z., C. Liu & M.J. Haigh, 2002. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils. Environmental Pollution, 118(3): 419-426.
12. Dantu, S., 2009. Heavy metals concentration in soils of southeastern part of Ranga Reddy district, Andhra Pradesh, India. Environmental Monitoring and Assessment, 149(1-4): 213-222.
13. Down, C.G., 1975. Soil development on colliery waste trips in relation to age. I. Introduction and physical factors. Journal of Applied Ecology, 12(2): 613-622.
14. Fettweis, U., O. Bens & R.F., Huttl, 2005. Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed sites in the Lusatian lignite mining district afforested with *Pinus sp*. Geoderma, 129(1): 81-91.
15. Frouz, J., K. Prach, V. Pizl, L. Hanel, J. Stary, K. Tajovsky, J. Materna, V. Balik, J. Kalcik & K. Rehounkova, 2008. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. European Journal of Soil Biology, 37(3): 207-233.
16. Hosseini Kiasari, S.M., 2016. Natural succession of vegetation on abandoned coal wastes in rangelands of Kiasar Mazandaran Province. MSc thesis. Natural Resources Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Iran, 120 p. (In Persian)
17. JafariHaghighi, M., 2003. Methods of soil analysis sampling and important physical and chemical analysis. Theran, Iran, Nedaye Zoha Publishing, 236 p. (In Persian)
18. Jahantab, E., M. Jafari, B. Motasharezadeh, A. Tavili, & N. Zargham, 2017. Evaluating tolerance of plants species to heavy metals in oil polluted region (Case study: Pazanan Gachsaran). Journal of Rangeland, 10(4): 409-425. (In Persian)
19. Kribek, B., M. Strnad, Z. Bohacek, I. Sykorova, J. Cejka & Z. Sobalik, 1998. Geochemistry of miocene lacustrine sediments from the Sokolov coal basin (Czech Republic). International Journal of Coal Geology, 37(3-4): 207-233.
20. Kumar, S., S.K. Maiti & S. Chaudhuri, 2015. Soil development in 2–21 years old coalmine reclaimed spoil with trees: A case study from Sonepur-Bazari opencast project, Raniganj Coalfield, India. Ecological Engineering, 84: 311-324.
21. Lashgari, N., J. Ghorbani, S.H. Zali & G.h. Vahabzadeh, 2016. Assessment of the vegetation restoration potential on coal mine wastes (Case Study: Karmozd Savadkoh mines, Mazandaran Province). Journal of Environmental Studies, 41(4): 757-770. (In Persian)
22. Lashgari, N., J. Ghorbani, S.H. Zali & G.h. Vahabzadeh. 2017. Soil properties and level of heavy metals in coal wastes and their association with plant establishment (Case study: coal mine of Karmozd Savadkoh, Mazandaran Province). Journal of Natural Environment, 69(4): 1091-1108. (In Persian)
23. Li, M.S., 2006. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice. Science of the Total Environment, 357(1-3): 38-53.
24. Monami, N., A. Rashtian, A.A. Karimian, & H. Azimzadeh, 2017. Effects of Buxite mining on the structural vegetation parameters in Steppe rangelands of SadrAbad-Yazd. Journal of Rangeland, 11(1): 116-124. (In Persian)
25. Naylor, S., T.D. Branam & G.A. Olyphant, 2012. Physico-chemical assessment of a fixated flue-gas desulfurization sludge cap emplaced along with other coal-combustion residues to abate acid mine drainage. Journal of Contaminant Hydrology, 132: 37-47.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]

26. Osanloo, M., 2009. Mine Reclamation. Theran, Iran, Amirkabir University of Technology Publishing, 230 p. (In Persian)
27. Pagotto, C., N. Remy, M. Legret & P. Le Cloirec, 2001. Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway. Environmental Technology, 22(3): 307-319
28. Rahimpour, F. & R.A., Abbaspour. 2014. Mapping concentrations of heavy metals in soils using Kriging and RBF (Case study: Harris Township). Geographical Data, 23(91): 55-67. (In Persian)
29. Rajabzadeh, M.A., Z. Ghorbani, M. Jalalifard & M. mohammadzadeh. 2014. Geochemical and Mineralogical study of Parvadeh coal, Tabas. The Second National Iranian Coal Congress. Shahrood University of Technology and Kerman Coal Mines Company, (In Persian)
30. Rout, T., R.E. Masto, P.K. Padhy, J. George, L.C. Ram & S. Maity, 2014. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. Journal of Geochemical Exploration, 144: 443-455.
31. Singh, A.N., A.S. Raghubansh & J.S. Singh, 2002. Plantations as a tool for mine spoil restoration. Current Science, 82(12): 1436-1441.
32. Wang, X., C. Zhou, G. Liu & Z. Dong, 2013. Transfer of metals from soil to crops in an area near a coal gangue pile in the Guqiao coal mine, China. Analytical Letters, 46(12): 1962-1977.
33. Wong, M.H., 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere, 50(6): 775-780.
34. Zhao, Z., I. Shahrour, Z. Bai, W. Fan, L. Feng & H. Li, 2013. Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1-13 years in West-Northern Loess Plateau of China. European Journal of Soil Biology, 55: 40-46.
35. Zhengfu, B., H.I. Inyang, J.L. Daniels, F. Otto & S. Struthers, 2010. Environmental issues from coal mining and their solutions. Mining Science and Technology, 20(2): 215-223.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.4.1.9]