Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Changes in diversity, richness, and composition indices of vegetation cover around the Shahin lead and zinc mine, Shazand - Markazi Province

Sana Barzegar[1], Bakhtiar Fattahi[*2], Eisa Solgi[3]

[1.] MSc. of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran.

[2.] Corresponding Author; Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: fattahi_b@yahoo.com

[3.] Prof., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2026; Vol 20, Issue 3

Article history:
Received: 03.03.2025
Revised: 26.04.2025
Accepted: 30.04.2026

Keywords:
Vegetation cover, vegetation indices, lead and zinc mine, Shazand.

Abstract

Background and Objective: Vegetation, as a fundamental pillar of ecosystems, is inextricably linked with other biotic and abiotic components under the influence of environmental factors. Sustainable conservation and maintenance of ecosystem functions are heavily dependent on species richness, diversity, and composition; therefore, evaluating these indices is essential for informed management decisions regarding rangeland restoration and reclamation. This study aims to investigate variations in diversity, richness, and vegetation composition indices in the areas surrounding the Shahin Lead and Zinc Mine (Shazand, Markazi Province).

Methodology: The study was conducted using a systematic radial design across eight geographical directions, involving a total of 70 plots. In each plot, parameters including species foliar cover, total vegetation cover, percentage of bare soil, litter, and rock/gravel were recorded. Vegetation types and micro-types were determined using the physiognomic-floristic method. To analyze similarities in species composition (based on species with >5% frequency), Detrended Correspondence Analysis (DCA) was initially employed to determine species loadings (scores). Subsequently, differences in species composition across various directions were evaluated using One-Way Analysis of Variance (ANOVA) and Duncan's post-hoc test.

Results: Field surveys and floristic analysis identified 108 species belonging to 83 genera and 22 plant families. Correlation analysis between plant indices revealed significant positive correlations ($p < 0.01$) between: (Shannon and heterogeneity), (evenness, heterogeneity, and Shannon), and (richness and heterogeneity). The highest values for the Shannon-Wiener index, richness, and heterogeneity were observed in the northeast (2.595, 0.893, and 18, respectively), while the lowest values were recorded in the southwest of the mine (0.32, 0.11, and 5, respectively). Results from the Multiple Response Permutation Analysis (MRPA/MRPP) indicated significant differences in vegetation composition across seven geographical directions ($P = 0.024$). Furthermore, one-way ANOVA on plot scores for the directional axis (Component 1, $p = 0.030$) and diversity (Component 2, $p = 0.041$) showed significant differences at the 95% confidence level.

Conclusion: The findings demonstrate that structural changes in vegetation are significantly influenced by the distance from mineral pollution sources and

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

geographical directions. Results indicate that diversity (Shannon-Wiener), evenness, and species richness indices follow a decreasing trend with proximity to the mine, reflecting the differential responses of various growth forms to environmental stressors. Moreover, significant differences in species composition across directions confirm the decisive role of topography and pollutant distribution patterns. Indirect impacts of mining, including secondary consequences such as exclosure areas and leaching from mine tailings, were also reflected in the analysis. Evidence suggests that the combination of terrain slope and the mine's southern face directs contaminated runoff downstream, directly altering species composition and diversity. Ultimately, these findings underscore the necessity of targeted management strategies, particularly runoff control and land-use reclamation, to achieve sustainable development in mining-impacted lands.

Cite this article: Barzegar, S., B. Fattahi, E. Solgi, 2026. Changes in diversity, richness, and composition indices of vegetation cover around the Shahin lead and zinc mine, Shazand - Markazi Province. Journal of Rangeland, 20(3): 216-235.

© The Author(s).

DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6

Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

تغییرات شاخص‌های تنوع، غنا و ترکیب پوشش گیاهی پیرامون معدن سرب و روی شاهین، شازند-استان مرکزی

سنا برزگر[۱]، بختیار فتاحی[*۲]، عیسی سلگی[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: fattahi_b@yahoo.com

۳. استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۵؛ جلد ۲۰، شماره ۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۲/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰

واژه‌های کلیدی:
مرتع،
شاخص‌های ساختاری و عملکردی پوشش،
ترکیب گونه‌ای،
معدن سرب و روی،
شازند.

چکیده

سابقه و هدف: پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی اکوسیستم، تحت تأثیر فاکتورهای محیطی، پیوندی ناگسستنی با سایر اجزای زیستی و غیرزیستی دارد. حفاظت پایدار و حفظ عملکرد اکوسیستم به‌شدت به غنا، تنوع و ترکیب گونه‌ای وابستگی دارد؛ از این رو، ارزیابی این شاخص‌ها برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی در زمینه احیا و اصلاح مراتع ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات شاخص‌های تنوع، غنا و ترکیب پوشش گیاهی در نواحی پیرامون معدن سرب و روی شاهین (شازند، استان مرکزی) انجام شده است.

مواد و روش‌ها: مطالعه به‌صورت سیستماتیک و با طرح شعاعی در جهت‌های هشت‌گانه جغرافیایی و در مجموع ۷۰ پلات انجام شد. در هر پلات، درصد پوشش گونه‌ای، پوشش گیاهی کل، درصد خاک لخت، لاشبرگ، سنگ و سنگریزه ثبت گردید. تیپ و میکروتیپ‌های پوشش گیاهی با روش فیزیونومیک-فلورستیک تعیین شد. جهت بررسی تشابه در ترکیب گونه‌ای (بر مبنای گونه‌های با فراوانی بیش از ۵ درصد)، ابتدا از روش تحلیل قطبی قوس‌گیری‌شده (DCA) برای تعیین بارهای گونه‌ای استفاده شد. سپس با به‌کارگیری آنالیز واریانس و آزمون دانکن، تفاوت‌های ترکیب گونه‌ای در جهت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: در طی پیمایش میدانی، مطالعه پلات‌ها و بررسی فلور منطقه تعداد ۱۰۸ گونه از ۸۳ جنس و ۲۲ تیره گیاهی شناسایی شد. بر اساس یافته‌های حاصل از همبستگی بین شاخص‌های گیاهی: (شاخص شانون و غیریکنواختی)، (شاخص یکنواختی، غیریکنواختی و شانون)، (غنا و غیریکنواختی) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱درصد نشان دادند. بیشترین مقدار شاخص‌های شانون وینر، غنا و غیریکنواختی در شمال شرقی به ترتیب ۲/۵۹۵، ۰/۸۹۳ و ۱۸و کمترین آن‌ها در جنوب غربی معدن به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۱۱ و ۵ بودند. نتایج حاصل از آزمون تحلیل چند پاسخی روش جایگشت (MRPA) Multiple Response Permutation Analysis نشان داد که ۷ جهت جغرافیایی از لحاظ ترکیب پوشش گیاهی با یکدیگر متفاوت هستند. بر طبق این آزمون معنی‌دار شدن (P =۰/۰۲۴) به این معناست که در ترکیب گیاهی جهت‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه در بررسی اختلاف در ترکیب گیاهی بر روی بارهای (Score) پلات‌ها در محور جهت‌ها (مولفه ۱، p=۰/۰۳۰) و تنوع (مولفه ۲، p=۰/۰۴۱) نشان داد که اختلاف از نظر هر دو مؤلفه در سطح ۹۵درصد معنی‌دار است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات در ساختار پوشش گیاهی، به‌طور معنی‌داری تابع فاصله از کانون‌های آلاینده معدنی و جهت‌های جغرافیایی است. یافته‌ها حاکی از آن است که شاخص‌های تنوع

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

(مانند شانون-وینر)، یکنواختی و غنای گونه‌ای با افزایش فاصله از معدن روند کاهشی دارند، که این امر ناشی از پاسخ متفاوت فرم‌های رویشی مختلف به فشارهای محیطی در نزدیکی معدن است. علاوه بر این، تفاوت معنی‌دار در ترکیب گونه‌ای میان جهت‌های مختلف جغرافیایی، نقش تعیین‌کننده توپوگرافی و الگوی توزیع آلاینده‌ها را تأیید می‌کند. در این مطالعه، اثرات معدن به‌صورت غیرمستقیم و از طریق ارزیابی پیامدهای ثانویه، نظیر ایجاد محدوده‌های قرق و نفوذ آبشویی ناشی از واریزه‌های معدنی، در تحلیل‌ها لحاظ گردید. شواهد نشان می‌دهد که تلفیق شیب زمین با جبهه جنوبی معدن، منجر به هدایت رواناب‌های آلوده به پایین‌دست شده و این فرآیند، ترکیب و تنوع گونه‌ای را به‌طور مستقیم دستخوش تغییر کرده است. در نهایت، یافته‌های این پژوهش ضرورتِ اتخاذ راهکارهای مدیریتی هدفمند، به‌ویژه مدیریت رواناب‌ها و اصلاح الگوی بهره‌برداری را جهت دستیابی به توسعه پایدار در اراضی پیرامون معادن، بیش از پیش نمایان می‌سازد.

استناد: برزگر، س.، ب.ر فتاحی، ع. سلگی، ۱۴۰۵. تغییرات شاخص‌های تنوع، غنا و ترکیب پوشش گیاهی پیرامون معدن سرب و روی شاهین، شازند-استان مرکزی. مرتع، ۲۰(۳): ۲۱۶-۲۳۵.

DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

مقدمه

مراتع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیستگاه خاکی برتر دنیا در تأمین نیازهای حیاتی انسان همواره در معرض کاهش خدمات اکولوژیکی خود ناشی از بهره‌برداری نامناسب، تغییرات اقلیمی و موارد این چنینی هستند. این در حالی است که تمام این کارکردها و سرویس‌های اکوسیستم‌های مرتعی از طریق مؤلفه اصلی آن یعنی پوشش گیاهی اتفاق می‌افتد (۸ و ۱۲). پرواضح است که در صورت حفظ آب و خاک در هر اکوسیستم، پوشش گیاهی نیز حفظ می‌گردد (۲۲). فعالیت‌های معدنی رشد گیاهان را دشوار کرده و کل اکوسیستم را مختل کند (۱۹ و ۲۱).

پوشش گیاهی مهم‌ترین نقش را در عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی ایفا می‌کند (۱۰) که این نقش در اکوسیستم به وسیله بعضی خصوصیات مانند تولید، تنوع، غنا و .... صورت می‌پذیرد. متغیرهای بنیادی و کلیدی اکوسیستم شامل تولید، غنا، تنوع و تاج پوشش و روابط بین آن‌ها هستند (۸). در اکوسیستم‌های مرتعی، ارزیابی غنا و تنوع گیاهی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا حفظ ذخایر ژنتیکی، مبارزه بیولوژیک و کنترل اکوسیستم‌های طبیعی به‌واسطه شناسایی تنوع ممکن می‌گردد (۲۳) که مفهوم آن با ترکیب و آمیختگی گونه‌ها قرین است و جهت مقایسه وضعیت اکولوژیک اکوسیستم‌ها به‌عنوان یک شاخص به‌کار گرفته می‌شود (۵ و ۲۳). اگرچه تشریح رابطه تولید-غنای گونه‌ای، کلیدی جهت فهم پویایی پوشش گیاهی می‌باشد و در این راستا چندین مکانیزم پیشنهاد گردیده، اما تجزیه و تحلیل پیچیده استراتژی گیاهان، ترکیبات عمده تولید و غنای گونه‌ای در طول یک گرادیان طولانی تولید، همچنان ناقص می‌باشد (۳۰). نحوه پراکنش و توزیع جهت افراد گونه‌ها توسط شاخص یکنواختی نشان داده می‌شود. هرچقدر توزیع گونه‌ها یکنواخت‌تر باشد، میزان ثبات و پایداری نیز بیشتر خواهد بود (۵). طبقه‌بندی جوامع گیاهی تشکیل شده در مکان‌های تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بسیار دشوار است (۲۵). تغییرات در تنوع گیاهی به‌طور معمول با استفاده از شاخص‌های تنوع ارزیابی می‌شود که شاخص شانون یکی از پرکاربردترین آن‌هاست. در موارد دیگر، از وجود یا عدم وجود گونه‌های شاخص برای تشخیص تغییرات استفاده می‌شود (۱۴). بررسی تغییرات ساختار پوشش گیاهی و تنوع گیاهی به‌منظور اطمینان از وضعیت و سلامتی اکوسیستم‌ها، امری لازم و ضروریست (۷).

در این راستا مطالعات متعددی صورت گرفته است. به‌طور مثال منعمی و همکاران (۲۰۱۷) در مراتع صدر آباد ندوشن یزد اثر معدن بوکسیت بر پارامترهای ساختاری پوشش گیاهی را مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند درصد پوشش، تراکم و همچنین تنوع گونه‌ای گیاهان کاهش یافته و بیشترین اثر حاصل از معدن‌کاری بر پوشش گیاهی مراتع پیرامون معدن بوکسیت تا شعاع ۵۰۰ متری از معدن بوده است. همچنین فخیمی (۲۰۲۰) اثر معدنکاوی بر تغییرات تنوع، غنا و ساختار پوشش گیاهی مراتع در اطراف معدن مس دره زرشک، استان یزد را بررسی و به این نتیجه رسید که عملیات معدنکاوی تأثیر زیادی بر ساختار پوشش گیاهی منطقه داشته و موجب کاهش تنوع گیاهی گردیده است. در پژوهشی دیگر لایقی و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی اثرات بهره‌برداری از معادن بر ساختار و عملکرد پوشش گیاهی و خاک سطحی مراتع بوئین زهرا نشان دادند که معدنکاوی باعث نامناسب شدن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گردیده و در اثر تداوم این روند، این منطقه با پدیده بیابان‌زایی شدید روبرو خواهد شد و کارکردهای اکولوژیک آن آسیب جدی خواهند داشت. بونکسا و همکاران (۲۰۱۹)، تنوع پوشش‌گیاهی تحت سلطه گونه‌های علفی غالب در توده‌های باطله‌های اطراف معادن زغال‌سنگ را مورد مطالعه قرار داده و دریافتند که افزایش فراوانی گونه‌های علفی خاصی از جمله *Calamagrostis epigejos*، *Festuca rubra*، *Festuca arundinacea*، *Phragmites australis* تأثیر منفی قابل‌توجهی بر غنای گونه‌ها، تنوع گونه‌ای و یکنواختی پراکنش گونه‌های جامعه گیاهی دارد. دنگ و همکاران (۲۰۲۱)، تنوع گونه‌های گیاهی و ترکیب گونه‌ای هشت جامعه بوته‌ای در منطقه معدنی شهرستان لانپینگ، استان یونان، چین را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند گونه‌های گیاهی، تعداد افراد، تسلط اکولوژیکی (Do)، شاخص شانون-وینر (H')، شاخص تنوع سیمپسون (Dsi) و شاخص یکنواختی پیلو (Epi) تحت تأثیر محتوای Cd و Cu خاک و رسوب قرار دارد. فرناندز و همکاران (۲۰۲۵)، در مطالعه باطله های معدن بر تنوع جوامع گیاهی در حوضه آبخیز جنگل دریافتند که غنای

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

گونه‌ای در مناطق آسیب دیده به مراتب کمتر از مناطق مرجع بود و ترکیب گیاهی نیز در این مناطق دستخوش تغییرات زیادی شده بود.

شواهد پژوهشی اخیر نشان می‌دهند که فشارهای ناشی از معدن‌کاری، برخلاف تصورات سنتی، به مرزهای قانونی معدن محدود نمی‌شود. مطالعات اخیر تأکید دارند که گسترش جاده‌ها، سکونتگاه‌ها و تغییر کاربری‌های اراضی پیرامونی، اثرات غیرمستقیم معدن را تا فواصل قابل‌توجهی گسترش می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که حتی بخش بزرگی از اراضی تحت‌تأثیر در نقشه‌های عمومی پوشش زمین، همچنان به‌عنوان اراضی «طبیعی» شناسایی می‌شوند و این امر می‌تواند شدت واقعی تخریب زیستی را پنهان سازد. علاوه بر این، آلودگی خاک با فلزات سمی مانند Pb, Zn, Cd, Cu که به‌واسطه زه‌آب، رواناب، فرسایش بادی باطله‌ها و رسوب‌گذاری جوی منتشر می‌شود، تهدیدی پایدار برای سلامت خاک و گیاهان است. (هو و همکاران، ۲۰۲۵) این آلاینده‌ها نه‌تنها بر رشد و بقای گیاهان تأثیر منفی دارند، بلکه با انباشت در بافت‌های گیاهی، مسیر انتقال فلزات به زنجیره غذایی و چرای دام را نیز فراهم می‌کنند).فرانتیرز، ۲۰۲۴)

مطالعات متعدد در سطح داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهند که فعالیت‌های صنعتی، از جمله معدن‌کاوی، پیامدهای محیط‌زیستی نامطلوبی نظیر تغییر در درصد پوشش تاجی، تولید، تراکم و تنوع گیاهی را به همراه دارند. از آنجایی که شاخص‌های تنوع زیستی، از مهم‌ترین سنجه‌های ارزیابی سلامت و پویایی اکوسیستم‌ها هستند، بررسی تغییرات ساختاری پوشش گیاهی در مناطق تحت تأثیر، امری ضروری است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی پویایی جامعه گیاهی متأثر از فعالیت‌های معدن‌کاوی، از طریق تحلیل گرادیانِ فاصله و جهت‌های جغرافیایی طراحی شده است. در این رویکرد، با اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع زیستی و ترکیب گونه‌ای در محدوده‌های تحت تأثیر، اثرات این مداخلات به‌صورت کمی‌سازی‌شده مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند تا در نهایت، توصیه‌های مدیریتی مبتنی بر پویایی بوم‌سازگان ارائه گردد. با توجه به این ضرورت، مطالعه تغییرات پراکنش و ویژگی‌های کمی و کیفی پوشش گیاهی پیرامون معدن سرب و روی شاهین (شازند، استان مرکزی) اهمیت ویژه‌ای یافته است. این پژوهش با تمرکز بر تعیین پارامترهای ساختاری نظیر تنوع، غنا، یکنواختی، درصد پوشش، تولید و تراکم، به بررسی نقش معدن‌کاوی در تغییر ترکیب گونه‌ای و عملکرد مراتع می‌پردازد. یافته‌های حاصل از این مطالعه می‌تواند مبنای تعیین میزان خسارات وارده به پوشش گیاهی پیرامون معادن و همچنین تدوین راهکارهای مدیریت صحیح جهت کاهش اثرات محیط‌زیستی قرار گیرد.

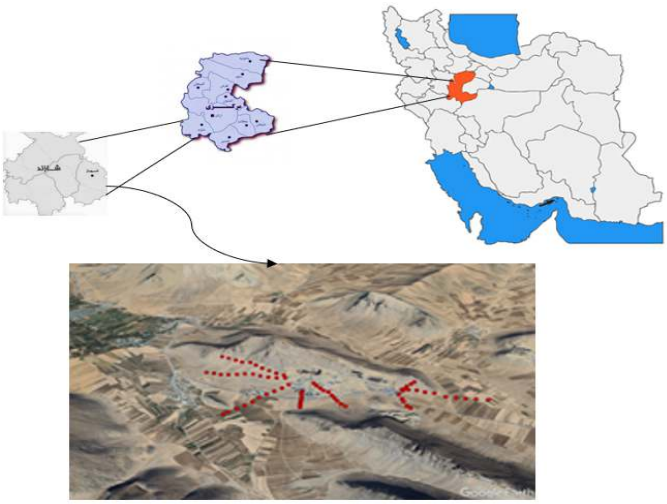
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

معدن سرب و روی شاهین در شازند واقع در استان مرکزی در ۴۶ کیلومتری جنوب غربی اراک، ۲۰ کیلومتری شهرستان شازند در ۵ کیلومتری شهر شهباز قرار گرفته و روستاهای عمارت، تکیه، کرک و موچان در مجاورت این معدن قرار دارند. مساحت معدن حدود ۲۰/۱۸۲ هکتار و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۱۵۰ متر است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (نقاط موقعیت پلات‌ها را نشان می‌دهد)

- موقعیت جغرافیایی

معدن شاهین واقع در در شازند استان مرکزی بین مدارهای '۴۵ °۳۳ تا °۳۴ شمالی و '۳۰ °۴۹ تا '۴۵ °۴۹ شرقی از نصف النهار مبدأ است.

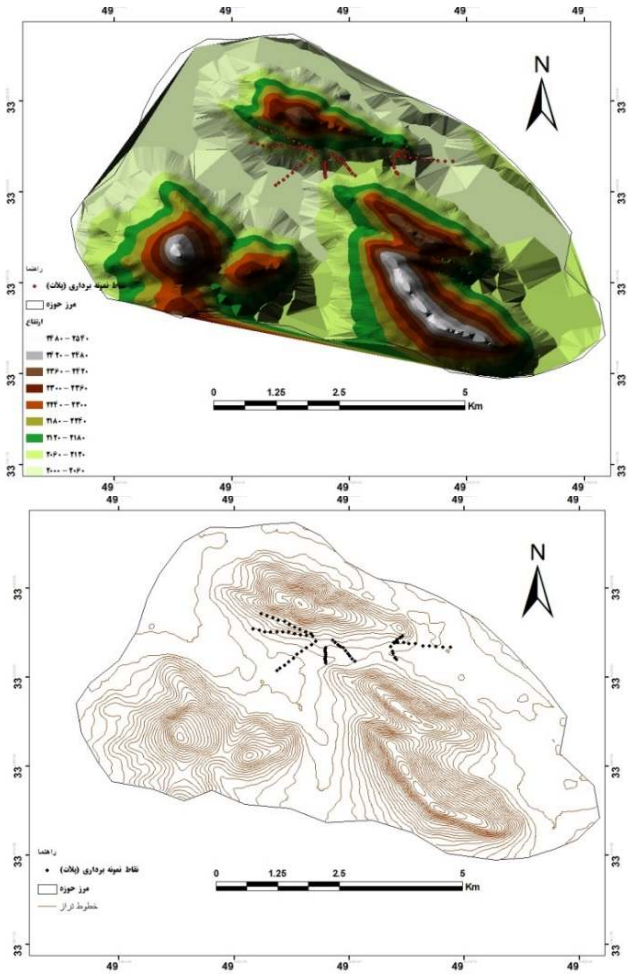
این معدن در یک منطقه معتدل کوهستانی واقع شده که از لحاظ آب و هوایی تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد دارد. درجه حرارت سالانه تغییرات بسیار زیادی داشته و از ۲۰- درجه سانتی‌گراد در فصل زمستان تا ۳۵+ درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان تغییر می‌یابد. متوسط بارندگی سالانه ۴۲۷ میلی‌متر گزارش شده است.

- پوشش گیاهی

پوشش گیاهی منطقه متناسب با مناطق کوهستانی بوده و در طول زمان با توجه به ویژگی‌های آب و هوایی و خاکی و توپوگرافی آن و در نتیجه فرایند سازگاری و تکامل استقرار یافته است. در منطقه فرم‌های رویشی مختلف علفی، یک‌ساله، بوته‌ای و درختچه‌ای دیده می‌شود. گیاهان یک‌ساله اغلب به خانواده‌های گرامینه تعلق دارند. علفی مانند *Euphorbia, Verbascum, Achillea* و ... گیاهان بوته‌ای نیز اغلب از خانواده Asteraceae و Fabaceae می‌باشند. گونه‌های درختچه‌ای مانند *Prunus*، *Crataegus* ، *Daphne* به ندرت قابل مشاهده هستند. با این وجود *Gundelia*، *Astragalus* و گیاهان یک‌ساله متعلق به خانواده Gramineae پوشش گیاهی غالب در منطقه می‌باشند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]



شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه برداری روی نقشه های توپوگرافی و DEM منطقه مورد مطالعه

- روش نمونه‌برداری

با استفاده از گوگل ارث و بازدیدهای متوالی از منطقه مورد مطالعه شناخت نسبی از توپوگرافی و پوشش گیاهی منطقه به‌دست آمد و نقاط مورد بررسی و فاصله پلات‌های مورد نظر جهت مطالعه و پژوهش روی نقشه مشخص گردید. با توجه به اینکه هدف مطالعه بررسی تغییرات پوشش گیاهی در محیط پیرامون معدن (با فاصله گرفتن از معدن) بود؛ بنابراین ضروری بود که نمونه‌برداری پوشش گیاهی (پلات‌اندازی) به روش سیستماتیک و به‌صورت شعاعی در اطراف معدن به شرح زیر انجام شود:

- با توجه به شرایط آب و هوایی و رشد حداکثری گونه‌های غالب منطقه، نمونه‌برداری در اردیبهشت‌ماه انجام گرفت.

- در راستای جهت‌های هشت‌گانه جغرافیایی شامل ۳ جهت اصلی (جهت شمال به‌دلیل صخره با شیب تند و عدم وجود پوشش‌گیاهی حذف گردید) و ۴ جهت فرعی، در مجموع تعداد ۷ ترانسکت از کانون فعالیت معدن به سمت اطراف به‌صورت شعاعی مشخص شد و از پلات برای نمونه برداری استفاده شد. با توجه به الگوی پراکنش، تراکم، یکنواختی، فرم رویشی گونه‌های منطقه و رعایت اصل سطح حداقل، پلات مستطیل شکل به مساحت ۱/۷ مترمربع (ابعاد ۱/۵*۱/۱۰) تعیین گردید (شکل ۳).

- نزدیک‌ترین نقطه به کانون فعالیت معدن به‌عنوان محل شروع ترانسکت در جهت‌ها تعیین گردید. در امتداد هر یک از ترانسکت‌های فوق با توجه به وجود موانع و محدودیت‌هایی نظیر شیب، صعب‌العبور بودن، وضعیت

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

پوشش‌گیاهی، فاصله از جاده، ساختمان و ابنیه طول های متفاوت (از ۶۰۰ متر تا ۱۵۰۰متر با توجه به محدودیت‌های توپوگرافی منطقه) و تعداد ۱۰ پلات با فواصل مساوی در امتداد هر ترانسکت مستقر گردید (۷۰پلات = ۱۰ پلات * ۷ جهت)



شکل ۳: پلات مورد استفاده در نمونه‌برداری

- **فاکتورهای مورد مطالعه**

در هر پلات، ضمن شناسایی گونه‌های گیاهی موجود در پلات، درصد پوشش هریک از گونه‌ها، پوشش تجمعی گیاهی، خاک لخت، لاشبرگ و سنگ و سنگریزه و تراکم گونه‌ها در داخل پلات تعیین و ثبت گردید. تیپ و میکروتیپ‌های پوشش گیاهی منطقه نیز به روش فیزیونومیک-فلورستیک تعیین گردیدند.

روش اندازه‌گیری مهم‌ترین فاکتورهای پوشش گیاهی عبارت بودند از:

- **شناسایی گونه‌های گیاهی:** با استفاده از فلور ایرانیکا، فلور دکتر قهرمان (۱۳۷۴) و کتاب راهنمای صحرایی فتاحی (۲۰۲۳)، **فرم رویشی:** به روش رانکایر و روش فتاحی (فتاحی، ۲۰۱۷؛ رانکایر، ۱۸۶۴)، **طول عمر:** با استفاده از منابع شناسایی گونه‌ها (فلور قهرمان، ۱۳۷۴)، **درصد پوشش گیاهی:** به روش شبکه‌ای و روش فتاحی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

(فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶)، **تراکم هر گونه:** به روش شمارش تعداد هر گونه در پلات (مقدم، ۱۳۷۶)، **شاخص پارامتریک تنوع:** به روش مدل عصای شکسته مک‌آرتور (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶) در نرم‌افزار CANOCO محاسبه شد (هیل، ۱۹۷۳)،

- **شاخص غیر یکنواختی تنوع:** به روش سیمپسون (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶) با استفاده از رابطه (۱) برآورد گردید (Hill، ۱۹۷۳):

رابطه (۱):

$$1-D=1-\sum_{i=1}^{s}(Pi)^2=1-\sum_{i=1}^{s}\left[\frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}\right]$$

که در آن:

1-D: شاخص سیمپسون؛ S: تعداد کل گونه‌ها؛ ni: تعداد افراد گونه iام؛ N: تعداد کل افراد؛ Pi: نسبت افراد گونه iام به کل افراد جامعه.

- **شاخص تئوری اطلاعات تنوع:** به روش شانون- وینر (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (شانون و ویور، ۱۹۴۹):

رابطه (۲):

$$H' = -\sum_{i=1}^{R} p_i \ln p_i$$

که در آن:

H : شاخص تنوع شانون- واینر؛ ni : میانگین درصد پوشش تاجی گونه (در نمونه یا جامعه)؛ N : جمع کل مقادیر میانگین درصد پوشش تاجی گونه‌ها؛ Ln : لگاریتم نپرین (که به‌طور معمول در پایه ۱۰ است).

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

p_i: نسبت افراد یک گونه به کل فراوانی جامعه را نشان می‌دهد که به‌صورت روبرو می‌باشد:

- **شاخص یکنواختی تنوع:** به روش تشابه تاکزونی پیلو (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (پیت، ۱۹۷۴):

رابطه (۳):

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{LnS}$$

که در آن:

J: شاخص تشابه تاکزونی پیلو؛ H: شاخص تنوع شانون-وینر؛ H_{max}: از رابطه (۴) محاسبه گردید (شانون و ویور، ۱۹۴۹):

$$H_{max} = -\sum_{i=1}^{S}\frac{1}{S}\ln\frac{1}{S} = \ln S$$

که در آن؛ S: تعداد کل تاکزون در نمونه مورد نظر است.

رابطه (۴):

- **غنای گونه‌ای:** با استفاده از روش شمارش تعداد گونه در واحد نمونه (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶) محاسبه شد.

- **ترکیب گونه‌ای:** با استفاده از روش خوشه‌بندی (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶) در نرم‌افزار CANOCO انجام گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

مقایسه جهت‌های جغرافیایی و کمربندهای فاصله‌ای به لحاظ تغییرات فاکتورهای فرم رویشی، تنوع و غنای گونه‌ای با توجه نرمال بودن داده‌ها به روش آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) انجام شد. بررسی و مقایسه تشابه ترکیب گونه‌ای جهت‌های جغرافیایی و کمربندهای فاصله‌ای با یکدیگر، با استفاده از روش رج‌بندی تحلیل قطبی قوس-گیری شده (DCA) و تحلیل چند پاسخی روش جایگشت (MRPP) انجام شد.

نتایج

لیست فلوریستیک گونه‌های شناسایی شده منطقه مورد مطالعه

در مجموع پلات‌های مورد مطالعه، تعداد ۱۰۸ گونه از ۸۳ جنس و ۲۲ تیره گیاهی شناسایی شد (جدول ۱). گیاهان چندساله غالب شامل *Gundelia tournefortii*، *Astragalus parrowianus*، *Astragalus tragacantha*، *Euphorbia rigida*، *Verbascum songaricum* و *Lactuca orientalis* و گیاهان یک‌ساله غالب منطقه شامل *Aegilops triuncialis*، *Taeniatherum crinitum* و *Heteranthelium piliferum* بودند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

جدول ۱: لیست فلوریستیک گونه‌های شناسایی شده منطقه مورد مطالعه

ردیف	خانواده	تعداد جنس	تعداد گونه	ردیف	خانواده	تعداد جنس	تعداد گونه
۱	Asparagaceae	۲	۲	۱۲	Gramineae	۱۱	۱۳
۲	Berberidaceae	۱	۱	۱۳	Lamiaceae	۶	۶
۳	Boraginaceae	۱	۲	۱۴	Linaceae	۱	۱
۴	Caryophyllaceae	۱	۱۰	۱۵	Nyctaginaceae	۱	۱
۵	Chenopodiaceae	۸	۱	۱۶	Papaveraceae	۱	۱
۶	Asteraceae	۲۲	۲۲	۱۷	Plantaginaceae	۱	۱
۷	Convolvulaceae	۱	۱	۱۸	Polygonaceae	۱	۲
۸	Cruciferae	۴	۴	۱۹	Ranunculaceae	۱	۱
۹	Dipsacaceae	۲	۳	۲۰	Rubiaceae	۳	۶
۱۰	Euphorbiaceae	۱	۶	۲۱	Scrophulareaceae	۲	۲
۱۱	Fabaceae	۷	۱۶	۲۲	Umbelliferae	۵	۶
					مجموع	۸۳	۱۰۸

مقایسه میانگین پارامترهای پوشش گیاهی در جهت‌های مختلف اطراف معدن

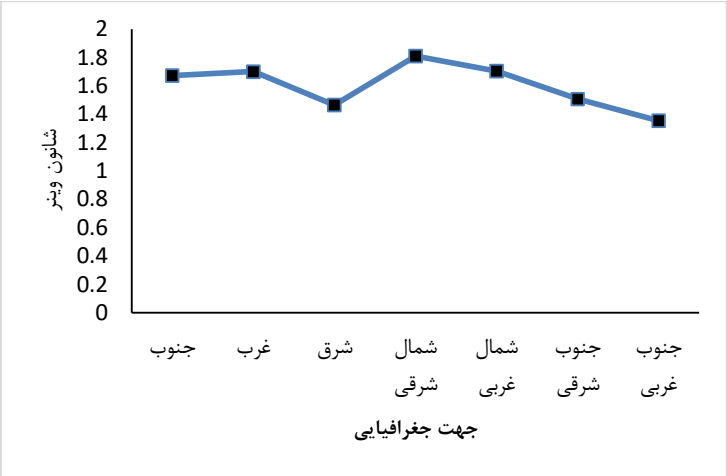
مقایسه میانگین پارامترهای پوشش گیاهی در جهت-های مختلف اطراف معدن نشان داد که بیشترین مقدار شاخص شانون وینر در دامنه شمال شرقی و کمترین آن در جنوب غربی معدن، بیشترین شاخص یکنواختی در شمال غربی و کمترین آن در موقعیت جنوب غربی معدن و همچنین بیشترین شاخص غیریکنواختی در شمال شرقی و کمترین آن در جنوب غربی معدن مشاهده شد. بیشترین غنا در شمال شرقی و کمترین در جنوب غربی معدن ملاحظه گردید (جدول ۳). بر اساس همین نتایج جهت‌های جغرافیایی به لحاظ تنوع اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۲ و شکل ۵).

جدول ۲: آماره‌های توصیفی میانگین پارامترهای پوشش گیاهی در جهت‌های مختلف اطراف معدن

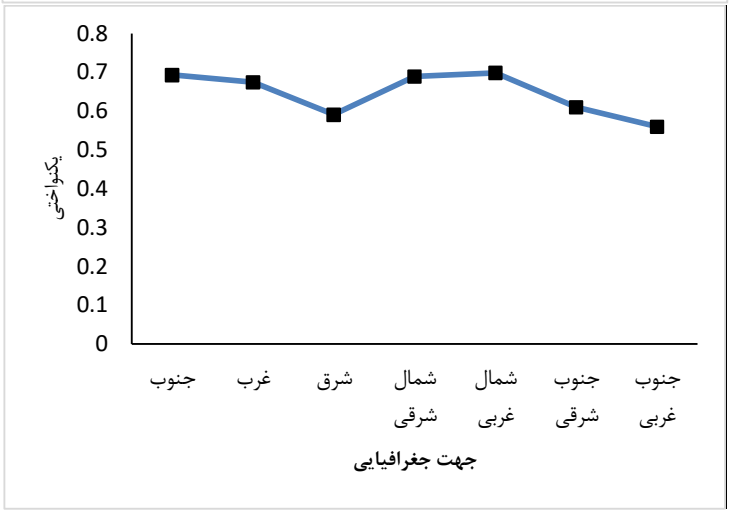
	پوشش گیاهی	سنگ و سنگریزه	لاشبرگ	خاک لخت	شاخص شانون وینر	شاخص غیریکنواختی	شاخص یکنواختی	غنای گونه‌ای
جنوب	۵۹/۴۱	۲۹/۶۳	۴/۰۶	۲۶/۴۴	۱/۶۷۳۱	۰/۷۲۳۶	۰/۶۹۲۷	۱۱/۳۵
غرب	۵۹/۸۶	۴۳/۳۶	۲/۵۵	۲۵/۳۶	۱/۷۰۱۵	۰/۷۰۴۳	۰/۶۷۴۴	۱۲/۸۲
شرق	۷۴/۴	۲۳/۸	۳/۵	۱۲/۲	۱/۴۶۴۹	۰/۵۶۹۶	۰/۵۹۱۰	۱۱/۲
شمال شرقی	۵۲/۷	۵۵/۲	۳/۶	۱۴/۶	۱/۸۱۰۹	۰/۷۲۹۵	۰/۶۸۸۹	۱۴
شمال غربی	۴۹/۸۵	۴۸/۳	۴/۹	۲۳/۷	۰/۷۰۴۱	۰/۷۲۵۹	۰/۶۹۸۴	۱۲/۱
جنوب شرقی	۷۲/۴	۳۴/۶	۷/۴	۱۷/۲	۱/۵۰۷۵	۰/۵۹۶۲	۰/۶۱۰۱	۱۱/۴
جنوب غربی	۶۷/۹۵	۱۵/۷	۱/۹	۲۵/۹	۱/۳۵۵۳	۰/۵۶۳۱	۰/۵۵۹۵	۱۱/۲

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

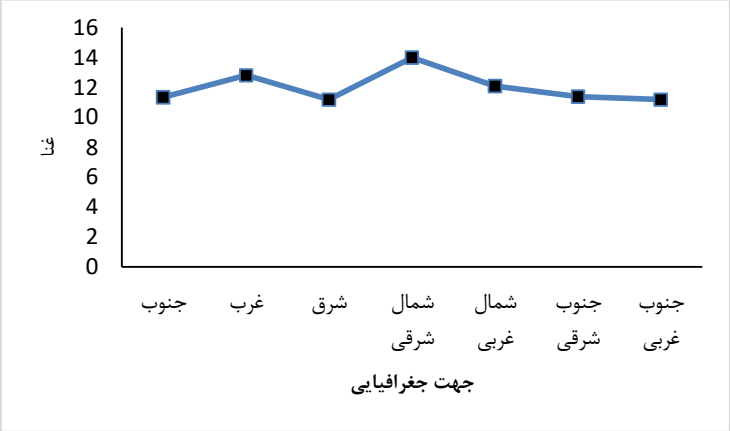






[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]



شکل ۵: مقایسه میانگین شاخص شانون وینر، غیریکنواختی، یکنواختی و غنا در جهت‌های مختلف اطراف معدن

آماره‌های توصیفی شاخص‌های تنوع اطراف معدن

نتایج شاخص‌های مختلف تنوع نشان داد که میانگین شاخص تنوع شانون-وینر در منطقه مورد مطالعه ۱/۶۰۴۹، شاخص غیریکنواختی ۰/۶۶۱۴، شاخص یکنواختی ۰/۸۹۷۹ و غنای گونه‌ای ۱۸ می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳: آماره‌های توصیفی پوشش گیاهی اطراف معدن سرب و روی شاهین

ویژگی	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
شاخص شانون وینر	۰/۳۲۲۳	۲/۵۹۵۳	۱/۶۰۴۹	۰/۵۰۳۹	-۰/۹۳۲	۰/۳۳۴
شاخص غیریکنواختی	۰/۱۱۳۵	۰/۸۹۲۸	۰/۶۶۱۴	۰/۲۰۰۴	-۱/۳۳۲	۰/۸۱۳
شاخص یکنواختی	۰/۱۶۵۶	۰/۸۹۷۹	۰/۶۴۸۲	۰/۱۷۴۲	-۱/۱۷۶	۰/۶۴۰
غنای گونه‌ای	۵	۱۸	۱۱/۹۲	۳/۲۴۵	۰/۱۴۸	-۰/۳۶۴

یافته‌های حاصل از همبستگی بین شاخص‌های گیاهی

همبستگی بین پارامترهای مختلف با استفاده از نرم-افزار و آزمون پیرسون محاسبه و به‌منظور تفسیر روابط بین پارامترهای گیاهان اطراف معدن مورد استفاده واقع گردید. نتایج نشان داد که غیر از شاخص یکنواختی و غنا که با یکدیگر ارتباط معنی داری نداشتند، سایر شاخص‌ها در حالت‌های مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. همچنین نتایج بدست امده نشان داد که داده‌ها با اطمینان ٪۹۹ نرمال هستند. (جدول ۵).

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی

	شاخص شانون	شاخص غیریکنواختی	شاخص یکنواختی	غنا
شاخص شانون	۱			
شاخص غیریکنواختی	۰/۹۵**	۱		
شاخص یکنواختی	۰/۹۴**	۰/۹۸**	۱	
غنا	۰/۷۲**	۰/۵۵*	۰/۴۵	۱

** تفاوت معنی‌داری در سطح ٪۱ (P<0.01) و * تفاوت معنی‌داری در سطح ٪۵ (P<0.05)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

نتایج آنالیز واریانس

فاصله‌های مختلف از نظر شاخص‌های گیاهی مورد آنالیز واریانس قرار گرفت و نتایج آزمون ANOVA نشان داد که اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با استفاده از آزمون دانکن مشخص شد که این اختلاف معنی‌دار در فاصله‌های مختلف از معدن جهت شاخص‌های شاخص شانون وینر، غیریکنواختی، یکنواختی و غنا مشاهده گردید (جدول ۶ و شکل ۷).

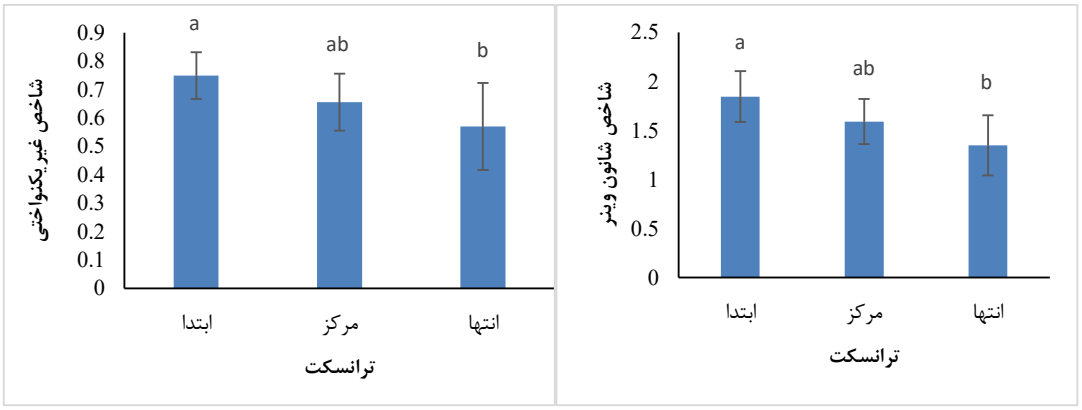
جدول ۶: آزمون ANOVA جهت شاخص‌های گیاهی در فاصله‌های مختلف از معدن سرب و روی

منابع متغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		شاخص شانون	شاخص غیریکنواختی	شاخص یکنواختی	شاخص غنا
تیمار	۲	۰/۴۳۳**	۰/۵۶**	۰/۴۳**	۹/۷۱۰*
خطا	۱۸	۰/۰۷۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۳/۱۲۸
کل	۲۰	-	-	-	-

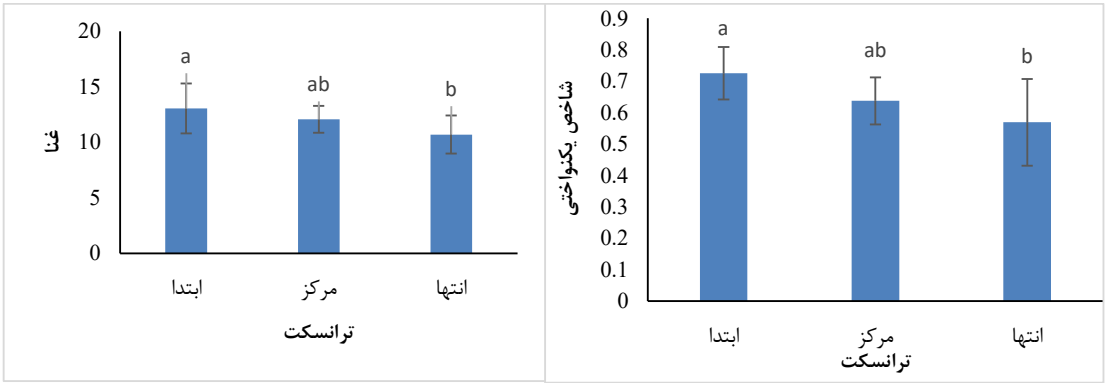
** تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ ($P<0.01$) و * تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ($P<0.05$)

مقایسه میانگین شاخص‌های مختلف گیاهی در فاصله‌های مختلف

بر اساس نتایج مربوط به تحلیل تغییرات تنوع در ارتباط با فاصله از معدن مشخص شد که فاصله گرفتن از معدن تأثیر معنی‌داری بر تنوع گونه‌ای دارد. همچنین معدن در حفظ تنوع زیستی نقش داشته است این امر بخاطر عدم دسترسی دام می‌باشد (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶: مقایسه میانگین شاخص شانون وینر و غیریکنواختی در فاصله‌های مختلف



شکل ۷: مقایسه میانگین شاخص شانون وینر، غیریکنواختی، یکنواختی و غنا در گیاهان در فاصله‌های مختلف

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

بررسی تشابه ترکیب گونه‌ای

مقایسه تشابه ترکیب گونه ای جهت‌های مختلف جغرافیایی به روش تحلیل DCA (بر مبنای نمره پلات‌ها) و آنالیز ناپارامتریک چند متغیره جدید مبتنی بر جایگشت (MRPA) انجام شد.

الف) تحلیل چند پاسخی روش جایگشت (MRPA: Multiple Response Permutation Analysis)

هدف از این آزمون بررسی اختلاف در ترکیب گیاهی جهت‌های جغرافیایی با لحاظ کردن تمامی گرادیانت‌های احتمالی در داده‌های جمع‌آوری‌شده است. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که ۷ جهت جغرافیایی از لحاظ ترکیب پوشش گیاهی با یکدیگر متفاوت هستند. بر طبق این آزمون معنی‌دار شدن P= ۰/۰۲۴ به این معناست که در ترکیب گیاهی جهت‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۸).

جدول ۷: نتایج تحلیل MRPA

شاخص‌ها	Test statistic (T)	Observed delta	Expected delta	Variance of delta	Skewness of delta	P
ضرایب	-۱۰۲/۵۱۶	۳۷/۶۰۵	۴۴/۹۱۲	۰/۰۰۱۵	-۰/۴۷۸	۰/۰۲۴

ب) تحلیل DCA

بررسی تشابه ترکیب گونه‌ای (بر مبنای گونه‌های با فراوانی بیش از ۵٪) ابتدا با استفاده از روش رج‌بندی تحلیل قطبی قوس‌گیری‌شده (DCA) بارهای گونه‌ها بر روی محورها مشخص شد و سپس با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون دانکن، مقایسه بارهای گروه‌گونه‌ها و معنی‌داری اختلاف/تشابه ترکیب گونه‌ای گروه‌گونه‌ها در جهت‌های مختلف انجام شد. نتایج تحلیل به دو روش رسم شکل برای پلات‌ها و دیگری رسم شکل برای گونه‌ها تعریف می‌شود که در این تحقیق از روش شکل پلات استفاده شد که در آن محور X تغییرات ترکیب گونه‌ای را نسبت به جهت و محور Y نیز تغییرات ترکیب گونه‌ای را نسبت به تنوع نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه در بررسی اختلاف در ترکیب گیاهی بر روی بارهای (Score) پلات‌ها در محور جهت‌ها (مؤلفه ۱) و تنوع (مؤلفه ۲) نشان داد که اختلاف از نظر هر دو مؤلفه در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

جدول ۸: آنالیز واریانس اختلاف ترکیب گونه‌ای گیاهی جهت‌های مورد مطالعه بر بارهای پلات‌ها در تحلیل DCA

محورهای DCA	جهت‌ها		میانگین اختلاف	P	F	P
مؤلفه ۱	شرق	شمال شرق	۴۰/۲۳۱	۰/۰۶۷	۳۹/۸۴۵	۰/۰۳۰
		جنوب شرق	۴۶/۲۱۸	۰/۰۵۲		
		جنوب	۵۹/۰۷۶	۰/۰۳۴		
		جنوب غرب	۷۶/۴۴۱	۰/۰۲۲		
		غرب	۱۰۵/۲۷۹	۰/۰۱۳		
		شمال غرب	۱۰۲/۳۶۰	۰/۰۲۰		
	جنوب شرق	شمال شرق	۶۰/۴۶۴	۰/۰۷۰		
		جنوب	۴۸/۳۷۵	۰/۰۲۸		
		جنوب غرب	۵۶/۰۹۲	۰/۰۴۵		
		غرب	۷۳/۵۱۰	۰/۰۴۰		
		شمال غرب	۸۷/۴۳۳	۰/۰۰۹		
	جنوب	شمال شرق	۸۹/۷۰۲	۰/۰۳۰		
		غرب	۷۷/۴۶۶	۰/۰۱۰		
		جنوب غرب	۴۶/۳۹۰	۰/۰۲۳		
		شمال غرب	۱۰۰/۲۴۹	۰/۰۷۷		
	جنوب غرب	شمال شرق	۱۱۱/۲۰۷	۰/۰۰۸		
		شمال غرب	۷۵/۰۸۸	۰/۰۲۶		
		غرب	۶۹/۴۳۳	۰/۰۷۴		
	غرب	شمال غرب	۴۲/۰۹۰	۰/۰۸۱		
		شمال شرق	۸۵/۹۱۱	۰/۰۳۱		
	شمال شرق	شمال غرب	۷۰/۴۳۰	۰/۰۲۵		

ادامه جدول ۸

محورهای DCA	جهت‌ها		میانگین اختلاف	P	F	P
مؤلفه ۲	شرق	شمال شرق	۴۸/۲۶۴	۰/۰۲۲	۶۱/۲۱۳	۰/۰۴۱
		جنوب شرق	۹۷/۳۰۳	۰/۰۸۰		
		جنوب	۷۷/۱۱۰	۰/۰۴۰		
		جنوب غرب	۱۱۳/۶۷۵	۰/۰۷۱		
		غرب	۹۰/۰۴۸	۰/۰۵۲		
		شمال غرب	۶۰/۵۹۱	۰/۰۳۳		
	جنوب شرق	شمال شرق	۵۷/۸۳۹	۰/۰۲۱		
		جنوب	۶۹/۷۱۰	۰/۰۳۷		
		جنوب غرب	۱۰۶/۲۰۲	۰/۱۰۶		
		غرب	۸۲/۰۴۴	۰/۰۴۲		
		شمال غرب	۹۵/۸۲۳	۰/۰۸۸		
	جنوب	شمال شرق	۹۱/۳۸۸	۰/۰۶۶		
		غرب	۱۲۷/۲۰۵	۰/۱۱۲		
		جنوب غرب	۷۷/۴۰۲	۰/۰۶۵		
		شمال غرب	۶۰/۰۵۵	۰/۰۲۹		
	جنوب غرب	شمال شرق	۶۴/۵۱۵	۰/۰۱۴		
		شمال غرب	۸۸/۳۹۰	۰/۰۳۲		
		غرب	۱۱۶/۴۰۷	۰/۰۵۸		
	غرب	شمال غرب	۱۲۳/۰۸۶	۰/۱۷۲		
		شمال شرق	۸۱/۷۵۷	۰/۰۶۳		
	شمال شرق	شمال غرب	۱۰۲/۰۹۴	۰/۰۷۱		

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

بحث و نتیجه‌گیری

شاخص‌های تنوع از جمله شاخص‌های عملکردی و ثانویه پوشش گیاهی به شمار می‌روند که تحت تأثیر فاکتورهای پیچیده زیستی و غیرزیستی محیط تغییر می‌کنند. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش فاصله از معدن، شاخص‌های غنا، تنوع و ترکیب گونه‌ای به‌طور معنی‌دار و متفاوتی از یکدیگر تغییر می‌کنند. به‌طور مشخص، نتایج حاکی از آن بود که تمامی شاخص‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه شامل شانون-وینر، یکنواختی، غیریکنواختی و غنای گونه‌ای با افزایش فاصله از معدن روندی کاهشی نشان می‌دهند. تحلیل مکانی داده‌ها مشخص ساخت که با نزدیک شدن به حریم معدن، طیف گسترده‌تری از فرم‌های رویشی مستقر شده‌اند؛ امری که منجر به افزایش غنای گونه‌ای و به تبع آن، توزیع متوازن‌تر فراوانی گونه‌ها و افزایش شاخص تنوع، یکنواختی و غیریکنواختی در مجاورت فعالیت‌های معدنی شده است. این پدیده از نظر اکولوژیک می‌تواند با «فرضیه اختلال متوسط» (Intermediate Disturbance Hypothesis) توجیه شود؛ جایی که تخریب‌های فیزیکی در ابعاد محدود باعث باز شدن تاج پوشش، کاهش چیرگی گونه‌های غالب و فراهم شدن بستر برای استقرار گونه‌های پیشگام و فرصت‌طلب می‌شود (۶). همچنین، بیشترین مقدار شاخص شانون-وینر، غنای گونه‌ای و شاخص غیریکنواختی در موقعیت شمال شرقی معدن (به دلیل وجود مراتع وسیع با پوشش گیاهی پایدار) و کمترین میزان این شاخص‌ها در جبهه جنوب غربی (به دلیل کاربری اراضی کشاورزی و تخریب‌های مداوم ناشی از فعالیت‌های زراعی) ثبت گردید.

در نقطه مقابل، فخیمی (۱۳۹۲) در بررسی اثر معدن‌کاوی بر تغییرات پوشش گیاهی اطراف معدن مس دره زرشک و منعمی و همکاران (۱۳۹۶) در مراتع صدرآباد ندوشن یزد، اختلاف معنی‌داری بین شاخص‌های تنوع در گونه‌های پهن‌برگ علفی مشاهده نکردند. بررسی دلایل این عدم تطابق نشان می‌دهد که حضور گیاهان یک‌ساله و چندساله نقش کلیدی در این فرآیند دارد؛ به‌طوری‌که تا فاصله ۵۰۰ متری از معدن (مراتع میانی)، تولید و درصد پوشش گیاهی کاهش معنی‌داری یافته، در حالی که تراکم گونه‌های چندساله تغییر چندانی نداشته است. گیاهان بوته‌ای و گندمیان به دلیل ساختار فیزیولوژیک خود مقاومت کمتری نسبت به آلاینده‌های اتمسفری و خاک‌زاد معدن نشان داده و در مراتع نزدیک معدن دچار کاهش معنی‌دار شده‌اند. این حساسیت بالا احتمالاً ناشی از طول عمر بیشتر گونه‌های دائمی و پتانسیل بالای انباشت عناصر سنگین و سمی در بافت‌های آن‌هاست؛ پدیده‌ای که در مطالعات بین‌المللی اخیر نیز به عنوان عامل کلیدی در تغییر ساختار جوامع گیاهی اطراف معادن روباز معرفی شده است (۲۷ و ۲۸). اگرچه در برخی مطالعات مانند پژوهش‌های منعمی و همکاران (۱۳۹۶)، روند تغییرات تنوع با یافته‌های پژوهش حاضر در برخی فواصل متفاوت بود، اما این ناهمخوانی را می‌توان به تفاوت در شدت تخریب خاک و ظرفیت بازسازی طبیعی اکوسیستم نسبت داد.

نکته قابل توجه، همسویی یا تفاوت یافته‌های این تحقیق با جدیدترین مطالعات جهانی در زمینه توالی‌های جانشینی است. در حالی که یافته‌های پژوهش حاضر نشان‌دهنده تغییرات شدید در غنا و تنوع در نزدیکی معدن است، مطالعه اخیر لی و همکاران (۲۰۲۵) بر روی معادن زغال‌سنگ نشان داد که الگوهای جانشینی (Successional Patterns) به شدت به نوع مدیریت (بازسازی فعال در مقابل باززایی طبیعی) بستگی دارد. بر اساس نتایج Li et al. (۲۰۲۵)، در حالی که بازسازی فعال می‌تواند رشد ساختاری را سریع‌تر کند، اما باززایی طبیعی می‌تواند منجر به تنوع آلفای (غنا و شانون) بیشتری در لایه‌های گیاهی شود که با مشاهده افزایش موضعی غنا در نزدیکی معدن در پژوهش حاضر (ناشی از ایجاد فرصت‌های زیستگاهی جدید) همخوانی دارد. این نشان می‌دهد که تغییرات مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه، بخشی از یک فرآیند پیچیده جانشینی است که تحت تأثیر شدت اختلال معدنی قرار دارد.

طبق یافته‌های پژوهش حاضر، شاخص‌های گیاهی تنوع گونه‌ای، یکنواختی، عدم یکنواختی و غنای گونه‌ای همبستگی معنی‌داری (در سطح ۱٪) با یکدیگر نشان دادند. شاخص‌های یکنواختی و غیریکنواختی به دلیل ماهیت مکمل اکولوژیک خود، بالاترین میزان همبستگی منفی را ثبت کردند. شاخص تنوع شانون-وینر همبستگی قوی با یکنواختی داشت؛ چرا که توزیع فراوانی نسبی گونه‌ها یکی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

از دو رکن اصلی فرمول محاسباتی شانون است. از سوی دیگر، شاخص غنا همبستگی بسیار ضعیف و غیرمعنی‌داری با یکنواختی نشان داد، زیرا غنا صرفاً بیانگر تعداد گونه‌هاست و اطلاعاتی در خصوص نحوه پراکنش و فراوانی نسبی آن‌ها ارائه نمی‌دهد. با این حال، غنا همبستگی معنی‌دار ضعیفی با غیریکنواختی داشت که با توجه به شرایط توپوگرافی و جهت‌های شیب در منطقه، ناشی از تمایل گونه‌ها به تجمع کپه‌ای و توده‌ای در خردزیستگاه‌های مناسب است. در نهایت، شاخص غنا قوی‌ترین همبستگی را با شاخص تنوع شانون-وینر نشان داد که تأییدکننده نقش محوری تعداد گونه‌ها در تعیین سطح تنوع زیستی این مراتع است.

این همبستگی‌ها به شدت تحت تأثیر نوسانات درصد پوشش گیاهی، تعداد گونه‌ها و درصد پوشش کل قرار دارند. برای نمونه، در شرایطی که درصد پوشش دو پلات یکسان باشد اما تعداد گونه‌ها متفاوت گزارش شود، شاخص تنوع تغییرات معنی‌داری را نشان می‌دهد؛ زیرا توزیع یکنواخت پوشش بین تعداد بیشتری از گونه‌ها مستقیماً منجر به افزایش تنوع و غنا می‌شود. در مقابل، غلبه فرم‌های رویشی بوته‌ای بزرگ که بخش عمده پلات را اشغال می‌کنند، درصد پوشش را به ظاهر افزایش اما غنا و تنوع واقعی جامعه را کاهش می‌دهد. فخیمی (۱۳۹۹) و منعمی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند که افزایش شاخص یکنواختی در حریم معدن می‌تواند ناشی از حذف گونه‌های حساس، باز شدن فضای رشد و کاهش رقابت برای گونه‌های مقاومِ باقی‌مانده باشد؛ پدیده‌ای که ساختار جامعه گیاهی را ساده‌تر و یکدست‌تر می‌کند (۲۷).

تحلیل ترکیب گونه‌ای در جهت‌های جغرافیایی مختلف نشان داد که هر ۷ جهت جغرافیایی مورد بررسی تفاوت‌های معنی‌داری از نظر ترکیب پوشش گیاهی با یکدیگر دارند. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه بر روی بارهای (Score) پلات‌ها در محور جهت‌ها (مؤلفه اول) و تنوع (مؤلفه دوم) نشان داد که تفاوت‌ها در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است. مقایسه مقادیر عددی مؤلفه تنوع (۰/۰۴۱) در برابر مؤلفه جهت (۰/۰۳۰) نشان می‌دهد که اگرچه هر دو فاکتور مؤثرند، اما ترکیب گونه‌ای مستقر در منطقه به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های میکروکلیمایی و توپوگرافیک جهت‌های جغرافیایی قرار دارد.

به منظور تبیین دقیق مکانیسم اثرگذاری معدن بر پوشش گیاهی اطراف، فعالیت‌های معدنی را می‌توان در سه محور عملیاتی دسته‌بندی و تحلیل کرد:

۱. اثر قرق تلویحی: ایجاد حریم ایمنی و حفاظتی غیرمستقیم در اطراف معدن که از ورود دام و چرای مفرط جلوگیری کرده و به بهبود موضعی پوشش گیاهی کمک می‌کند.

۲. اثر آبشویی و انتشار آلاینده‌ها: شستشوی بارانی باطله‌ها و واریزه‌های معدنی و نفوذ عناصر سنگین و سمی به افق‌های خاک پایین‌دست.

۳. اثر فیزیکی گرد و غبار و تردد: نشست ذرات معلق بر روی اندام‌های هوایی گیاهان در امتداد جاده‌های دسترسی که فتوسنتز و رشد گونه‌ها را مختل می‌کند.

در این پژوهش، نقش معدن به‌صورت غیرمستقیم و از طریق ارزیابی تغییرات ترکیب و تنوع گونه‌ای در محدوده‌های تحت تأثیر «قرق تلویحی» و مناطق در معرض آبشویی ناشی از واریزه‌های معدنی لحاظ شده است. یافته‌های این بخش پاسخگوی چگونگی تغییر ترکیب، درصد پوشش و تولید مراتع تحت تأثیر معدن‌کاوی بوده و می‌تواند به عنوان یک ابزار کاربردی جهت تعیین خسارت‌های وارده به منابع طبیعی و تدوین پروتکل‌های مدیریت محیط‌زیستی و احیای اکولوژیک مراتع آسیب‌دیده مورد استفاده قرار گیرد.

پژوهش حاضر نشان داد که فعالیت‌های معدنی از طریق ایجاد اختلالات فیزیکی و شیمیایی (نظیر انتشار گرد و غبار، نفوذ آبشویی واریزه‌ها و ایجاد قرق تلویحی در حریم معدن)، ساختار اکولوژیک پوشش گیاهی اطراف را به طور معنی‌داری تغییر می‌دهند. اگرچه نزدیکی به معدن به دلیل ایجاد قرق نسبی و استقرار گونه‌های پیشگام، منجر به افزایش موضعی شاخص‌های غنا و تنوع شانون-وینر شده است، اما این تغییرات با دگرگونی در ترکیب گونه‌ای و حذف گونه‌های حساس همراه بوده است. همچنین مشخص گردید که فاکتورهای توپوگرافیک (جهت‌های جغرافیایی) در کنار گرادیان فاصله از معدن، نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع و همبستگی شاخص‌های تنوع و یکنواختی ایفا می‌کنند. نتایج این تحقیق، با تایید الگوهای جانشینی در محیط‌های معدنی، نه تنها ابزار مناسبی برای ارزیابی و محاسبه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

خسارت‌های اکولوژیک ناشی از معدن‌کاوی بر مراتع ارائه می‌دهد بلکه می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای تدوین پروتکل‌های مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی جهت بازسازی اکولوژیک عرصه‌های متأثر از فعالیت‌های معدنی به‌کار گرفته شود.

References

1. Ahmadian, A. & B. Motsharazadeh., 2014. Investigating changes in heavy metal concentration and ecological indicators of pollution in the lands around the Glenrod coal mine in Mazandaran province. Land Management, 3(2): 73-81. (In Persian)
2. Alizadeh, A., J. Ghorbani, J. Motamedi, Q. Vahabzadeh & A. Van Drant, 2018. Distribution of plant communities in the area of Songun copper mine, Varzeghan, East Azerbaijan. Journal of Rangeland, 13(4): 658-672. (In Persian)
3. Asare, D., Ansong, M. Kyereh, B. Damptey, F. G. & W.A. Asante, 2022. Mining methods exert differential effects on species recruitment at artisanal small-scale mining sites in Ghana. Heliyon, 8(9): e10355.
4. Błońska, B., K.B. Agnieszka, S. Edyta, B. Wojciech, M. Franco, B. Lynn, R. Karolina & W. Gabriela, 2019. Diversity of Vegetation Dominated by Selected Grass Species on Coal-Mine Spoil Heaps in Terms of Reclamation of Post-Industrial Areas. Journal of Ecological Engineering, 20(2): 209-217.
5. Dalvand, M., A.H. Hamidian, M.A. Zare Chahoki, B. Motsharazadeh, S.A.A. Mirjalili & A. Ismailzadeh, 2014. Investigation of Cu, Pb, Zn and Mn concentrations in the aerial parts of Artemisia (Artemisia sp.) in the Rangelands around the Darreh Zarshk copper mine, Taft County, Yazd Province. Journal of Rangeland, 8(3): 219-229. (In Persian)
6. Duan, T., J. Zhang & Z. Wang, 2021. Responses and indicators of composition, diversity, and productivity of plant communities at different levels of disturbance in a wetland ecosystem. Diversity, 13(6): 252.
7. Fakhimi, A., 2019. The effect of mining on changes in diversity, richness and vegetation structure of Rangelands (Case study: Copper Mine of Zarashk Valley, Yazd Province, Iran). Iranian Journal of Range and Desert Research, 27(4): 774-786. (In Persian)
8. Fatahi, B., 2017. Analysis of changes in diversity and species richness in relation to ecological factors and structural and functional features of vegetation in mountain Rangelands, doctoral dissertation in Rangeland science and engineering, 171 pages. (In Persian)
9. Fatahi, B., K. Arzani & M.K. Suri., 2018. The effect of cadmium and lead on morphophysiological traits and photosynthetic indices of basil plant. Iranian Horticultural Science, 5(4): 839-849. (In Persian)
10. Fattahi, B. & B.Gorgani, 2024. Determining the factors affecting the distribution of the species Ferulago armena (DC.) Bernardi in the mountainous Rangelands of Baneh -Kurdistan. Journal of Rangeland, 18(1): 85-101. (In Persian)
11. Fernandes, G.W., L. Ramos, W. de Souza Justino, W. Kenedy-Siqueira, J.C.G. Figueiredo, Y. Oki & D. Negreiros, 2025. Mining tailings severely impact plant communities in a rainforest watershed. Anthropocene, 49: 100462.
12. Gurbanpour Delivand, M., M.R. Tatian., R. Tamertash., J. Gozalzaldi. & S.J. Alavi., 2023. Changes in plant species richness and diversity indicators in relation to the sampling scale in the plains Rangelands of northern Iran (case study: Khammam-Gilan). Journal of Rangeland, 17(3): 398-410. (In Persian)
13. He, M. Z., J.G. Zheng, X.R. Li & Y.L. Qian, 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. Journal of Arid Environments, 69(3): 473-489.
14. Hernández, A. J. & J. Pastor, 2008. Relationship between plant biodiversity and heavy metal bioavailability in grasslands overlying an abandoned mine. Environmental Geochemistry and Health, 30: 127-133.
15. Hero, A., 1995. Flora of Iran, Publications of Forestry Research Institute, 23 volumes. (In Persian)
16. Hou, D., X. Jia, L. Wang, S.P. McGrath, Y.G. Zhu, G. Hu & J. Nriagu, 2025. Global soil pollution by toxic metals threatens agriculture and human health. Science, 388(6744): 316-321.
17. Jouri, M.H., B. Tamzad, M. Shukri & B.A. Bani Hashemi, 2017. Comparison of diversity and richness indicators in assessing the health of mountain Rangelands (case study: Safaroud Ramsar watershed Rangelands). Journal of Rangeland, 2(4): 344-356. (In Persian)
18. KompałaB, A., W. Bierza, A. Błońska, E. Sierka, F. Magurno, D. Chmura, L. Besenyei, L. Radosz & G. Woźniak., 2019 Vegetation diversity on coal mine spoil heaps – how important is the texture of the soil substrate?, Journal Biologia, 74: 416-436.
19. Kumari, K., S. Chakraborty & K. Bauddh, 2023 Assessment of plant ecological variability and heavy metal accumulation potential in naturally growing plant species of Pakhar bauxite mine site, Jharkhand, India, Chemosphere, 344:140316.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]

20. Laighi, N.A., S.A. Javadi, M. Jafari & H. Arzani, 2023 Investigating the effects of mining exploitation on the structure and function of vegetation and topsoil of Rangelands (case study: Bouin Zahra Rangelands). Journal of Rangeland, 17(3): 334-346. (In Persian)
21. Moghimi-Nejad, F., A. Taveli, M. Jafari, A. Shirvani & M.A. Zare-Chahoki, 2022. Studying the effect of heavy metals lead and cadmium on the absorption of essential nutrients in licorice plant. Journal of Rangeland, 16(1): 17-32. (In Persian)
22. Monemi, N., A. Rashtian, A.A. Karimian & H. Azimzadeh, 2016. Effects of bauxite mining on the structural parameters of Rangeland vegetation (case study: Sadr Abad Rangelands, Nadushan, Yazd). Journal of Rangeland, 1(11): 116-124. (In Persian)
23. Sadeghi-Rad, A., H. Arzani & H. Azarnivand, 2014. The response of richness and diversity indices of vegetation to different livestock exploitation treatments in Kalashk Rangelands (case study: Kermanshah province). Applied Ecology, 4(12): 1-11. (In Persian)
24. Torbati, S., S. Esmailbegi Kermani & A. Abedini, 2024. Remediation of heavy metals by native plant species grown in Iran's richest gold mine and study of plants' pollution tolerance strategies. Frontiers in Earth Science, 12: 1304497.
25. Vachova, P., M. Vach, M. Skalicky, A. Walmsley, M. Berka, K. Kraus, H. Hnilickova, O. Vinduskova & O. Mudrak, 2022. Reclaimed Mine Sites: Forests and Plant Diversity. Journal Diversity, 14(1):13.
26. Wang, X., Y. Li, X. Bai, L. Sheng, H. Zhang, F. Chen, Y. Xiao & W. Liu, 2024. Effects of gold and copper mining on the structure and diversity of the surrounding plant communities in Northeast Tiger and Leopard National Park. Frontiers in Plant Science, 15: 1419345.
27. Wei, S.G., L. Li, K.D. Bai, Z.F. Wen, J.D. Zhou & Q. Lin, 2024. Community structure and species diversity dynamics of a subtropical evergreen broad-leaved forest in China: 2005 to 2020. Plant Diversity, 46(1): 70–77.
28. Yang, J., H. Tang, C.Q. Duan, S.C. Wang, X.Q. Yuan, L. Huang & L.Y. Li, 2023. Nurse role and mechanism of *Coriaria nepalensis* in abandoned land of Pb-Zn mining area. Frontiers in Ecology and Evolution, 11: 1246822.
29. Zare Chahouki, M.A., L. Khalasi Ahvazi & H. Azarnivand., 2010. Environmental factors ribution of vegetation communities in Iranian Rangelands. Journal of Vegetos, 23(2): 1-15.
30. Zare Kia, S., M. Abul Qasimi, M.T. Zare, A. Mirhosseini, P. Ashuri & A. Jalili, 2019. Investigating the shape of the relationship between production and species richness of plants in the dense sycamore Rangelands of Yazd province. Plant Research (Iran Biology), 33(3): 622-631. (In Persian)
31. Zou, H. & B. Ren., 2023 Analyzing topsoil heavy metal pollution sources and ecological risks around antimony mine waste sites by a joint methodology, Ecological Indicators, 154: 110761.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.2.6]