

Vegetation Succession in Rangelands with Abandoned Coal-Waste Dumps Over a 10-Year Period

Jamshid Ghorbani* | Nateq Lashkari Sanami

Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
Email: j.ghorbani@sanru.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 09 Jun. 2023
Revised: 03 Jul. 2023
Accepted: 15 Jul. 2023
Published online: 19 Feb. 2024

Keywords:
Coal mine,
Ecological niche,
Mining,
Plant dynamics,
Restoration.

Abstract

Coal mining in rangelands accounts for a considerable amount of waste dumps that can be colonized by local plants over time. A thorough understanding of vegetation changes plays a key role in the management and restoration of such ecosystems. This study aimed to assess the rangeland plant changes during 10 years on coal-waste dumps. This study was carried out on three coal-waste dumps which were abandoned between 20 and 30 years in Karmozd mines in Savadkoh County, Mazandaran Province. Vegetation sampling was done in 2012 and 2022, estimating the cover percentage of all species in each 1 m² plot. Species composition, functional groups, and species richness and diversity were compared between the two years. Results showed changes in species composition and plant groups after 10 years. Some species were not found in 2022 while some new species were detected. The cover percentage of *Bromus briziformis* and *Melica persica* significantly increased but *Hordeum vulgare* was found to significantly decrease. The cover percentage of annuals and perennials significantly increased by 35.28% and 46.19%, respectively. Over the time, the cover percentage of grasses, forbs, and shrubs significantly increased. The results of ANOVA indicated a significant increase in species richness and diversity. Vegetation changes during this period have not been affected by age of each dump since abandonment. Restoration treatments and plant species with phytoremediation potential are recommended to accelerate vegetation dynamics and reduce the consequences of coal-waste dump on the surrounding environment.

Cite this article: Ghorbani, J., Lashkari Sanami, N. (2024). Vegetation Succession in Rangelands with Abandoned Coal-Waste Dumps During a 10-Year Period. *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (4), 389-404. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.360593.1711>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

توالی پوشش گیاهی در مراتع دارای باطله‌های متروک زغال‌سنگ در یک دوره زمانی ده ساله

جمشید قربانی* | ناطق لشکری صمنی

گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

رایانامه: j.ghorbani@sanru.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

در مراتعی که مورد برداشت زغال‌سنگ قرار دارند انباشتی از باطله‌ها وجود دارد که در طی زمان برخی گیاهان مرتعی بر روی آنها مستقر می‌شوند. مطالعه تغییرات گیاهی در چنین اکوسیستم‌هایی به منظور مدیریت و احیاء این باطله‌ها اهمیت دارد. در این تحقیق چگونگی تغییرات پوشش گیاهان مرتعی بر روی باطله‌های زغال‌سنگ پس از گذشت ۱۰ سال مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش سه باطله زغال‌سنگ که ۲۰ تا ۳۰ سال از رهاسازی آنها گذشته بود در بخشی از معادن منطقه کارمزد در شهرستان سوادکوه در استان مازندران مطالعه شدند. نمونه‌گیری پوشش گیاهی شامل برآورد درصد تاج‌پوشش گیاهی در پلات‌های یک مترمربعی بوده که در سال ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱ انجام شد. ترکیب پوشش گیاهی، گروه‌های کارکردی و شاخص‌های تنوع و غنا بین دو سال مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که با گذشت ۱۰ سال تغییراتی در ترکیب پوشش گیاهی و گروه‌های گیاهی اتفاق افتاد. برخی گونه‌های گیاهی حذف و گیاهان نوظهوری مشاهده شدند. با گذشت زمان، درصد تاج‌پوشش گونه‌های *Bromus briziformis* و *Melica persica* افزایش معنی‌دار و برای گونه *Hordeum vulgare* کاهش معنی‌دار مشاهده شد. تاج‌پوشش گیاهان یکساله و چندساله به ترتیب افزایش ۳۵/۲۸ و ۴۶/۱۹ درصد داشتند. میانگین درصد تاج‌پوشش گندمیان، پهن‌برگان علفی و گیاهان بوته‌ای با گذشت زمان روند افزایش معنی‌دار نشان دادند. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که با تغییرات پوشش گیاهی شاخص‌های تنوع و غنا به طور معنی‌داری بهبود یافتند. تغییرات پوشش گیاهی در این دوره ده ساله تحت تأثیر سن باطله‌ها قرار نگرفت. به منظور تسریع پویایی گیاهی و کاهش اثرات منفی باطله‌ها به محیط اطراف توصیه می‌شود تا از روش‌های احیاء و گیاهانی در منطقه که دارای قدرت گیاه‌پالایی هستند استفاده شود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:

آشپان بوم‌شناختی،

احیاء،

باطله معدنی،

پویایی گیاهی،

معدنکاری.

استناد: قربانی، جمشید؛ لشکری صمنی، ناطق (۱۴۰۲). توالی پوشش گیاهی در مراتع دارای باطله‌های متروک زغال‌سنگ در یک دوره زمانی ده ساله. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۴)، ۳۸۹-۴۰۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.360593.1711>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

مواد خام معدنی از جمله زغال‌سنگ، نه تنها محرکی برای توسعه صنایع و رشد اقتصادی بوده، بلکه مشکلات محیط‌زیستی و بوم‌شناختی جدی را در طول بهره‌برداری و بعد از آن ایجاد می‌کنند (ویکل-ریک^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). مناطق پوشیده از باطله‌های معدنی زغال‌سنگ شامل اراضی تخریب یافته‌ای هستند که در طول زمان ممکن است جانمایی پوشش گیاهی در آنها رخ دهد (کرزیستوفیک^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). شروع و تداوم جانمایی گیاهی در این مناطق تحت تأثیر عوامل زنده و غیر زنده بسیاری است (واکر و دل‌مورال^۳، ۲۰۰۳). پویایی یا احیای طبیعی پوشش گیاهی در باطله‌های زغال‌سنگ رها شده روند آهسته و کندی دارد که جهت و سرعت تغییرات پوشش گیاهی به خصوصیات بستر رشد گیاهان در این مناطق، توانایی بذر گیاهان مناطق اطراف برای دسترسی به باطله‌ها (آلدی^۴ و همکاران، ۲۰۱۱) و پتانسیل تشکیل بانک بذر خاک توسط گونه‌های پیشگام مستقر بر باطله‌ها بستگی دارد (پراچ^۵ و همکاران، ۲۰۰۷). طی روند تغییرات گونه‌ای، گیاهانی که وارد می‌شوند، شرایط بستر را برای گونه‌های دیگر اصلاح کرده و بهبود می‌بخشند (کندراتنکو^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). این می‌تواند از طریق اضافه شدن مقدار ماده آلی، تثبیت نیتروژن و بهبود بستر با گسترش ریشه باشد (نوویانتی^۷، ۲۰۱۳). مدت زمان پویایی گیاهی، به طور طبیعی متداول‌ترین متغیری است که روند جانمایی با آن مرتبط بوده و این عامل تقریباً همیشه تأثیر قابل توجهی بر الگوی پوشش گیاهی دارد (ونکووا و کووار^۸، ۲۰۰۴). شواهد نشان داده که جانمایی خودبخودی می‌تولند جوامع گیاهی هدف رضایت‌بخشی ایجاد کند (لی^۹ و همکاران، ۲۰۲۲ الف). هر چه مساحت رویشگاه کوچکتر باشد، امکان تشکیل کلنی‌های گیاهی از محیط اطراف آسان‌تر بوده و معمولاً پویایی سریع‌تر از رویشگاه‌های بزرگ‌تر رخ می‌دهد (دوچیاک^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۵). از آنجایی که با توجه به شرایط منطقه و زمان برگشت، گونه‌های مختلفی در هر یک از مقاطع زمانی حضور می‌یابند، با ارزیابی تغییرات زمانی می‌توان تغییرات طبیعی در نوسانات محیطی و مدیرتی را بر ویژگی‌های گیاهان بررسی کرد (بهارالی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱).

پایش طولانی مدت تغییرات جوامع گیاهی طی رویش مجدد گیاهان در مناطق معدنکاری شده با هدف تأثیرشان بر محیط، مدیریت پایدار مناطق معدنی، درک اثرات فعالیت‌های معدنی و کاهش و جلوگیری از ادامه روند عوامل مخرب ضروری است (آنتوی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۴). روش مستقیم و دقیق اندازه‌گیری تغییرات گیاهی، تکرار اندازه‌گیری در یک منطقه مشخص در طول زمان است. این اندازه‌گیری پوشش گیاهی را باید از ابتدا و سپس هر سال یا در مقاطع مختلف زمانی مانند هر ده سال یک بار و یا در زمان‌های طولانی‌تر انجام داد. باطله‌های زغال‌سنگ متروک ناشی از فرآیند استخراج به دلیل اثراتی که بر رشد، تنوع و فراوانی گیاهان در چشم‌اندازهای مرتعی دارند، فرصت مناسبی را برای مطالعه پویایی پوشش گیاهی فراهم می‌کنند (رحمانوو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به محدودیت‌های زیاد در بستر رشد گیاهان بر روی باطله‌ها، تشکیل کلنی یا استقرار گیاهان در چنین مناطقی بسیار کند است و مطالعه در مقاطع مختلف زمانی در واقع روند تغییرات از ابتدا تا کنون را نشان می‌دهد. مطالعات قبلی انجام شده در باطله‌های معادن زغال‌سنگ دامنه شمالی البرز نشان داد که امکان رویش طبیعی گیاهان بر روی باطله‌های متروک زغال‌سنگ وجود دارد (لشگری و همکاران، ۱۳۹۴؛ حسینی، ۱۳۹۵). در همین راستا این تحقیق مد نظر دارد تا روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه را پس از گذشت ۱۰ سال مورد بررسی قرار داده تا مشخص شود که

¹ Więckol-Ryk

² Krzysztolik

³ Walker & del Moral

⁴ Alday

⁵ Prach

⁶ Kondratenko

⁷ Novianti

⁸ Vaňková & Kovář

⁹ Li

¹⁰ Dovčiak

¹¹ Bharali

¹² Antwi

¹³ Rahmonov

ترکیب پوشش گیاهی و تنوع و غنای آن تا چه میزان و در چه جهتی تغییر کرده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مطالعاتی

انباشت‌های متروک باطله معادن زغال سنگ در منطقه کارمزد واقع در شهرستان سوادکوه، استان مازندران برای مطالعه حاضر انتخاب شدند. موقعیت جغرافیایی این معادن در ۴۸ کیلومتری جنوب شهرستان قائم‌شهر و در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر آلاشت (طول جغرافیایی $38^{\circ} 57' 52''$ تا $36^{\circ} 05' 57''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 06' 53''$ تا $36^{\circ} 06' 53''$ شمالی) است. شروع معدنکاری در این ناحیه زغال خیز از حوضه زغالی البرز مرکزی از سال ۱۳۵۰ و نحوه استخراج به صورت زیرزمینی بوده است. حداقل و حداکثر ارتفاع مناطق مورد بررسی پیرامون تونل‌های استخراج از ۷۰۰ تا ۹۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. میانگین بارش سالانه منطقه ۵۳۶/۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد، متوسط شیب ۲۴/۵ درجه و اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه، مرطوب سرد گزارش شده است (لشگری و همکاران، ۱۳۹۴).

۲-۲. روش نمونه‌برداری

سه انباشت باطله متروک زغال سنگ در مجاورت هم و بدون اختلافی از نظر شرایط فیزیوگرافی و جهت جغرافیایی در منطقه وجود دارند (لشگری و همکاران، ۱۳۹۴). تشکیل این انباشت‌ها از شروع فعالیت معدنکاری و با دیوی تدریجی باطله‌ها شکل گرفت. دو انباشت باطله که به باطله ۳۰ ساله بزرگ و کوچک نامگذاری شده‌اند و تفاوتشان در حجم مقادیر دورریز و مساحتی از منطقه بوده که به اشغال خود درآورده‌اند. باطله جوان‌تر دیگر که تقریباً ۲۰ سال از زمان رهاسازی آن گذشته و از نظر حجم مواد دورریز، بیشتر از باطله ۳۰ ساله کوچک و کمتر از باطله ۳۰ ساله بزرگ است. مراتع مجاور باطله‌ها نیز در نظر گرفته شدند تا مشخص شود تا چه اندازه گیاهان مراتع مجاور در ترکیب گیاهی روی باطله‌ها سهیم هستند. مطالعه پوشش گیاهی ابتدا در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت که نمونه‌برداری در چنین مناطقی به علت شرایط ناپایدار باطله‌ها، شیب تند و گرمای زیاد روی باطله بسیار سخت است (لشگری و همکاران، ۱۳۹۴). در سال ۱۴۰۱ نیز نمونه‌برداری پوشش گیاهی در دوره رویش گیاهان (اردیبهشت) در امتداد ترانسکت‌های مستقر در هر انباشت و منطقه مرتعی اطراف، با استفاده از روش تصادفی - سیستماتیک و به کمک پلات‌های یک متر مربعی با فواصل یکسان تکرار شد. برای فرم رویشی فانروفیت درصد تاج‌پوشش در پلات‌های ۴ متر مربعی و آن هم فقط در مراتع مجاور برآورد گردید. محل نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌ها در دو سال یکسان بوده است. در مجموع تعداد ۲۴ پلات در مناطق مرتعی و تعداد ۷۲، ۱۲ و ۱۸ پلات به ترتیب در باطله ۳۰ ساله بزرگ، باطله ۳۰ ساله کوچک و باطله ۲۰ ساله نمونه‌برداری شدند. اختلاف در تعداد نمونه‌ها به دلیل وسعت هر یک از مناطق مورد مطالعه است چون در غیر این صورت باطله‌های با وسعت کم با شدت زیاد نمونه‌گیری شده و باطله‌های بزرگ با شدت کم نمونه‌گیری می‌شدند. در هر پلات، درصد تاج‌پوشش مربوط به هر گونه گیاهی ثبت شد.

۲-۳. آنالیز داده‌ها

برای نرمال کردن داده‌های درصد تاج‌پوشش، تبدیل سینوس معکوس یعنی $ASIN(\sqrt{x/100})$ به کار گرفته شد. محاسبه شاخص‌های تنوع و غنای گونه‌ای در نرم‌افزار Past انجام شد. شاخص‌های مذکور، کمیت گونه‌های گیاهی و گروه‌های کارکردی پوشش گیاهی برای دو زمان مورد مطالعه در بین باطله‌ها مقایسه شدند. برای گیاهان حاضر در یک باطله در دو زمان متفاوت از آزمون t دو دامنه استفاده شد. با توجه به داده‌های دو سال مختلف، برای بررسی اثر زمان از آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری‌های مکرر^۱ در قالب آزمایش فاکتوریل (سن باطله و سال نمونه‌برداری به عنوان اثرات مستقل) استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد. تمامی

¹ Repeated Measures ANOVA

آنالیزها در محیط نرم افزار R (نسخه ۲-۲-۴) انجام شد. برای بررسی میزان تشابه یا عدم تشابه گیاهان طی پویایی گیاهی با گذشت زمان، از آزمون منتل^۱ در نرم‌افزار PC-ORD استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. بررسی ترکیب گیاهی و گروه‌های گیاهی

تعداد ۴۹ گونه گیاهی در سال ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱ در باطله‌ها مشاهده شدند که ۳۳ گونه گیاهی طی بازه زمانی ۱۰ ساله، همچنان در مناطق مطالعاتی حضور دارند اما ۱۶ گونه گیاهی تنها در یکی از سال‌ها حضور داشتند (جدول ۱ و ۲). به طور کلی در انباشت باطله‌های معدنی، تیره‌های گندمیان (Poaceae) و آفتابگردان (Asteraceae)، خانواده گیاهی غلب، تروفیت‌ها و همی‌کریپتوفیت‌ها فرم زیستی غلب و پهن‌برگان علفی بیشترین فرم رویشی را در بین گیاهان داشتند (جدول ۱ و ۲). گونه‌های *Artemisia scoparia* و *Stachys laxa* در منطقه مرتعی، گونه *Kochia prostrata* در باطله ۲۰ ساله، گونه *Melica persica* در باطله ۳۰ ساله کوچک و گونه‌های *Calamagrostis epigejos* و *Glaucium fimbriigerum* از گونه‌های غالب در باطله ۳۰ ساله بزرگ بودند.

در پلات‌های نمونه‌برداری شده، تعداد گونه‌های انحصاری از مجموع گیاهان ثبت شده در باطله ۳۰ ساله بزرگ از ۲۲ گونه در سال ۱۳۹۱ به ۱۷ گونه در سال ۱۴۰۱ کاهش داشته است (جدول ۳). تعداد ۱۳ گونه حاضر در ترکیب پوشش گیاهی مستقر در باطله زغال سنگ ۳۰ ساله کوچک در سال ۱۳۹۱ به ۱۰ گونه در سال ۱۴۰۱ کاهش یافت. در مقایسه سیر تغییرات پوشش گیاهی، بیشترین تعداد گونه‌های یکساله، دوساله و چندساله در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱ در باطله زغال سنگ ۳۰ ساله بزرگ و کمترین آنها در باطله زغال سنگ ۲۰ ساله شناسایی و ثبت شدند. تعداد گونه مشترک باطله ۳۰ ساله بزرگ با باطله‌های دیگر و مرتع با گذشت زمان روند افزایشی داشت (جدول ۳).

۳-۲. تغییرات زمانی در ترکیب گیاهی

نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری‌های مکرر برای ۱۱ گونه گیاهی که در هر دو سال و بیش از یک باطله حضور داشتند نشان داد که برای گونه‌های گندمی *Bromus briziformis* و *Hordeum vulgare* اثر مستقل معنی‌داری برای زمان و برای گونه *Melica persica* اثر متقابل معنی‌دار زمان در سایت مشاهده شد. با گذشت زمان، درصد تاج‌پوشش گونه‌های *Bromus briziformis* و *Melica persica* روند افزایشی و برای گونه *Hordeum vulgare* روند کاهشی مشاهده شد (شکل ۱).

۳-۳. تغییرات زمانی در گروه‌های گیاهی

نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری‌های مکرر حاکی از پاسخ معنی‌دار همه گروه‌های کارکردی به غیر از گیاهان دوساله بوده است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اثر زمان بر گیاهان یکساله و چندساله به طور معنی‌داری تأثیرگذار بوده و به ترتیب موجب افزایش ۳۵/۲۸ درصد و ۴۶/۱۹ درصد تاج‌پوشش آنها طی روند پویایی گیاهی شد (شکل ۲). میانگین درصد تاج‌پوشش گندمیان، پهن‌برگان علفی و گیاهان بوته‌ای با گذشت زمان روند افزایشی را به ترتیب با ۴۷/۵۰، ۵۷/۱۹ و ۲۷/۸۸ درصد به همراه داشته است (شکل ۳). از ۲۰ گونه گیاهی که در ترکیب پوشش گیاهی یک منطقه از انباشت‌های باطله بوده‌اند، مقدار *t* برای گونه‌های *Calamagrostis epigejos*، *Eryngium campestre*، *Kochia prostrata*، *Phalaris minor* و *Silybum marianum* معنی‌دار شد. درصد تاج‌پوشش گونه *Kochia prostrate* در باطله ۲۰ ساله و گونه‌های *Phalaris minor*، *Silybum marianum* و *Calamagrostis epigejos* و *Eryngium campestre* در باطله ۳۰ ساله بزرگ در طی تغییرات گیاهی به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴).

¹ Mantel test

جدول ۱. میانگین درصد فراوانی گونه‌های گیاهی در پلات‌های نمونه‌برداری از باطله‌های معدنی زغال سنگ و مراتع اطراف در شهرستان سوادکوه، استان مازندران. (اعداد حاصل از برگردان تبدیل سینوس معکوس بوده و گونه‌های با درصد تاج‌پوشش کمتر از ۰/۱ درصد با علامت + درج شده‌اند. علائم اختصاری عبارتند از: Th (تروفیت)، He (همی کریبتوفیت)، Ch (کامفیت)، Ph (فانروفیت)، Ge (ژتوفیت)، P (چندساله)، B (دوساله)، A (یکساله)، Grass (گندمیان)، Forb (پهن‌برگ)، Bush (بوت‌های)، Shrub (درختچه))

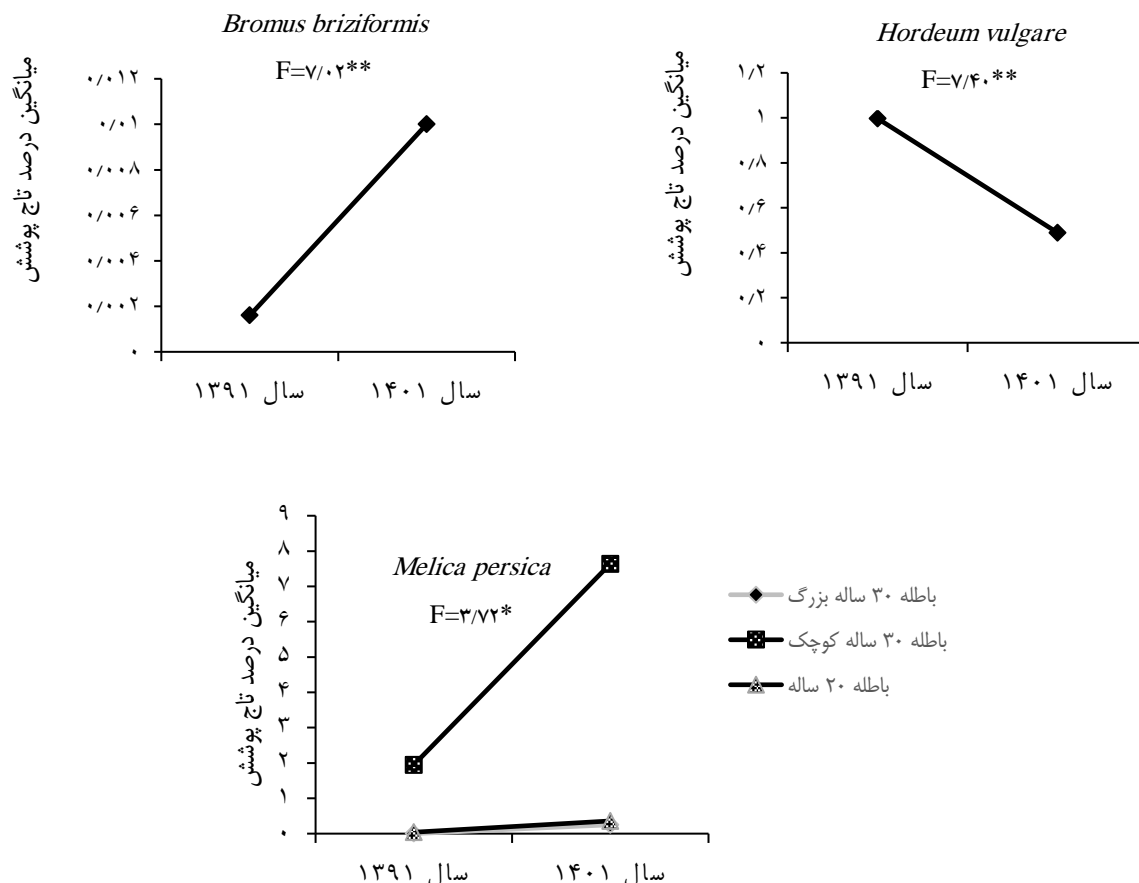
نام علمی گونه‌ها	فرم رویشی	طول عمر	فرم زیستی	سال ۱۳۹۱				سال ۱۴۰۱			
				باطله ۳۰ ساله بزرگ	باطله ۳۰ ساله کوچک	باطله ۲۰ ساله	مرتع	باطله ۳۰ ساله بزرگ	باطله ۳۰ ساله کوچک	باطله ۲۰ ساله	مرتع
<i>Aegilops crassa</i>	Grass	A	Th	۲/۷۷	-	-	۸/۳۳	۴/۱۶	-	-	۲۹/۱۶
<i>Alyssum linifolium</i>	Forb	A	Th	۵/۵۵	۲۰/۸۳	-	۲۵	۴/۱۶	۴۱/۶۶	-	۸/۳۳
<i>Anagallis arvensis</i>	Forb	A	Th	۱/۳۹	-	-	-	۱/۳۹	-	-	-
<i>Artemisia absinthium</i>	Bush	P	Ch	۱۵/۲۸	-	-	-	۱۸/۰۵	-	-	-
<i>Artemisia scoparia</i>	Bush	B	Ch	۲۷/۷۸	۳۳/۳۳	-	۹/۶۶	۱۸/۰۵	۵۰	-	۹/۶۶
<i>Berberis vulgaris</i>	Shrub	P	Ph	-	-	-	۲۵/۰۰	-	-	-	۲۵
<i>Bromus briziformis</i>	Grass	A	Th	۱/۳۹	۱۲/۵۰	-	۳۷/۵۰	۶/۹۴	۱۶/۶۶	-	۴۱/۶۶
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Grass	P	He	۱۸/۰۵	-	-	۸/۳۳	۳۰/۵۵	-	-	۲۰/۸۳
<i>Capparis spinosa</i>	Bush	P	Ch	۱۱/۱۱	۱۲/۵۰	-	-	۱۲/۵۰	۱۶/۶۶	-	-
<i>Centaurea sp.</i>	Forb	A	Th	-	۲۵	-	۲۹/۱۶	۴/۱۶	-	-	۲۵
<i>Epilobium hirsutum</i>	Forb	P	He	۲/۷۸	-	-	-	۱/۳۹	-	-	-
<i>Eremostachys macrophylla</i>	Forb	P	He	-	-	-	۸/۳۳	-	-	-	۲۰/۸۳
<i>Erigeron acer</i>	Forb	B	He	۱/۳۹	-	-	-	۱۱/۱۱	۵۰	-	-
<i>Eryngium campestre</i>	Forb	P	He	۲/۷۸	-	-	۸/۳۳	۱۱/۱۱	-	-	۱۲/۵۰
<i>Euphorbia Boissieriana</i>	Forb	P	Ch	۵/۵۵	-	-	-	۹/۷۲	-	-	-
<i>Galium verum</i>	Forb	P	He	۵/۵۵	-	-	-	۴/۱۶	-	-	۴/۱۶
<i>Glaucium fimbriigerum</i>	Forb	A	Th	۲۷/۷۸	۴۱/۶۶	-	-	۳۰/۵۵	۳۳/۳۳	-	-
<i>Hordeum vulgare</i>	Grass	A	Th	۴۸/۶۱	۱۲/۵۰	-	۳۷/۵۰	۳۱/۹۴	۳۳/۳۳	-	۲۹/۱۶
<i>Kochia prostrata</i>	Bush	P	Ch	-	-	۶۶/۶۶	-	-	-	۷۷/۷۷	-
<i>Lepidium draba</i>	Forb	P	He	۱/۳۹	-	-	-	۲/۷۷	-	-	-
<i>Lolium perenne</i>	Grass	P	He	۱۱/۱۱	-	-	-	۵/۵۵	-	-	-
<i>Marrubium vulgare</i>	Forb	P	He	۱/۳۹	-	-	-	۱/۳۹	-	-	-
<i>Melica persica</i>	Grass	P	He	-	۴۵/۸۳	۵/۵۵	۱۲/۵۰	۱۲/۵۰	۷۵	۲۲/۲۲	۲۵
<i>Phalaris minor</i>	Grass	A	Th	۲/۷۸	-	-	-	۱۱/۱۱	-	-	-
<i>Polygonum aviculare</i>	Forb	A	Th	۱۹/۴۴	-	۵/۵۵	۴/۱۶	۸/۳۳	-	۲۲/۲۲	۸/۳۳
<i>Pteridium aquilinum</i>	Forb	P	Ge	۱/۳۹	-	-	-	۱/۳۹	-	-	-
<i>Rapistrum rugosum</i>	Forb	A	Th	۱۵/۲۸	۴/۱۶	۲۷/۷۸	-	۲۷/۷۷	-	۳۸/۸۸	-
<i>Rumex acetosella</i>	Forb	P	He	۵/۵۵	۸/۳۳	-	۸/۳۳	۱۶/۶۶	-	-	۴/۱۶
<i>Silybum marianum</i>	Forb	B	He	۵/۵۵	-	-	-	۱۱/۱۱	-	-	-
<i>Stachys laxa</i>	Forb	P	Ch	-	۱۲/۵۰	۵/۵۵	۶۲/۵۰	-	۸/۳۳	-	۶۲/۵۰
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Bush	P	Ch	-	-	-	۴/۱۶	-	-	-	۲۰/۸۳
<i>Trachynia distachya</i>	Grass	A	Th	۱۱/۱۱	-	-	-	۹/۷۲	-	-	-
<i>Xanthium spinosum</i>	Forb	A	Th	۱/۳۹	-	-	-	۴/۱۶	-	-	-

جدول ۲. درصد فراوانی گونه‌های حذف شده یا نوظهور در ترکیب پوشش گیاهی مستقر بر انباشت‌های باطله زغال‌سنگ در دو سال نمونه‌برداری

نام علمی گونه‌ها	فرم رویشی	طول عمر	فرم زیستی	گونه‌های مشاهده شده در سال ۱۳۹۱	گونه‌های مشاهده شده در سال ۱۴۰۱
<i>Allium sp.</i>	Forb	P	Ge	۴/۱۶	-
<i>Amaranthus blitoides</i>	Forb	A	Th	-	۸/۳۳
<i>Artemisia annua</i>	Forb	A	Th	۲/۷۷	-
<i>Carthamus lanatus</i>	Forb	A	Th	-	۹/۷۲
<i>Chenopodium album</i>	Forb	A	Th	-	۸/۳۳
<i>Chenopodium botrys</i>	Forb	A	Th	-	۸/۳۳
<i>Chelidonium majus</i>	Forb	P	He	۱/۳۸	-
<i>Cirsium arvense</i>	Forb	A	Th	۱/۳۸	-
<i>Colutea persica</i>	Shrub	P	Ph	۴/۱۶	-
<i>Hypericum perforatum</i>	Forb	P	He	-	۵/۵۵
<i>Lythrum salicaria</i>	Forb	P	He	-	۱/۳۸
<i>Mentha longifolia</i>	Forb	P	He	۱/۳۸	-
<i>Phleum pratense</i>	Grass	P	He	۲/۷۷	-
<i>Reseda lutea</i>	Forb	P	He	۱/۳۸	-
<i>Rubus persicus</i>	Bush	P	Ph	۲/۷۷	-
<i>Tamarix ramosissima</i>	Shrub	P	Ph	۴/۱۶	-

جدول ۳. تعداد گونه‌های گیاهی ثبت شده در باطله‌های زغال‌سنگ و مراتع اطراف طی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱

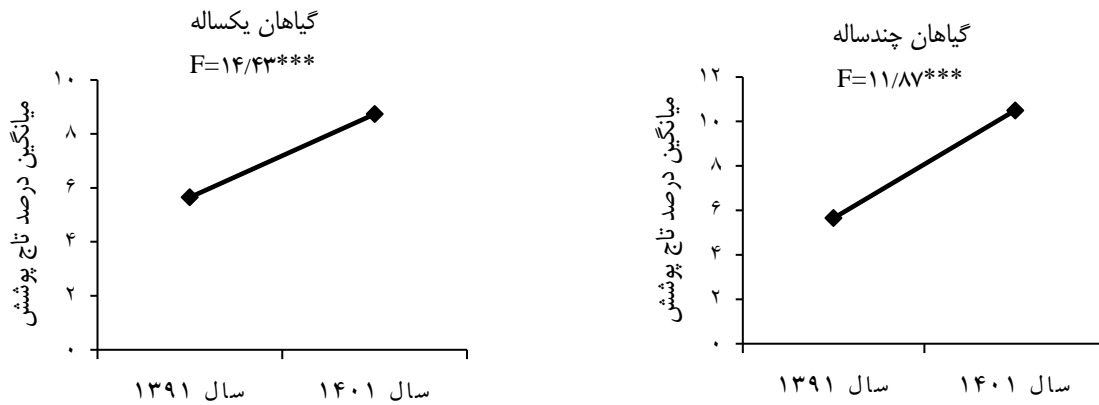
مرتع	باطله ۲۰ ساله		باطله ۳۰ ساله کوچک		باطله ۳۰ ساله بزرگ			
	سال ۱۴۰۱	سال ۱۳۹۱	سال ۱۴۰۱	سال ۱۳۹۱	سال ۱۴۰۱	سال ۱۳۹۱		
تعداد گونه	۱۷	۱۷	۴	۵	۱۰	۱۳	۳۴	۳۵
تعداد گونه خاص	۴	۳	۱	۱	-	-	۱۷	۲۲
تعداد گونه‌های یکساله	۶	۶	۲	۲	۵	۶	۱۶	۱۳
تعداد گونه‌های دو ساله	۱	۱	-	-	۲	۱	۳	۳
تعداد گونه‌های چندساله	۱۰	۱۰	۲	۳	۳	۶	۱۵	۱۹
تعداد گونه مشترک باطله‌ها با مرتع	-	-	۲	۳	۶	۱۰	۱۲	۱۰
تعداد گونه مشترک بین باطله‌ها	-	-	۲	۳	۹	۱۱	۱۱	۱۰



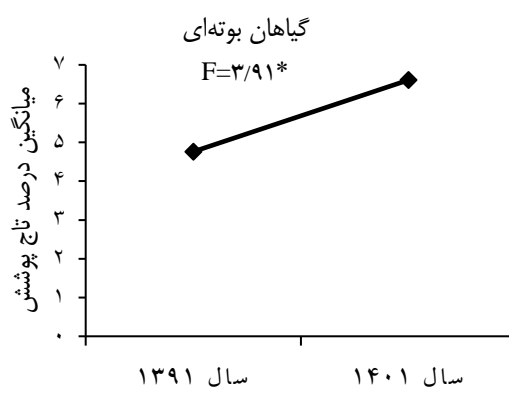
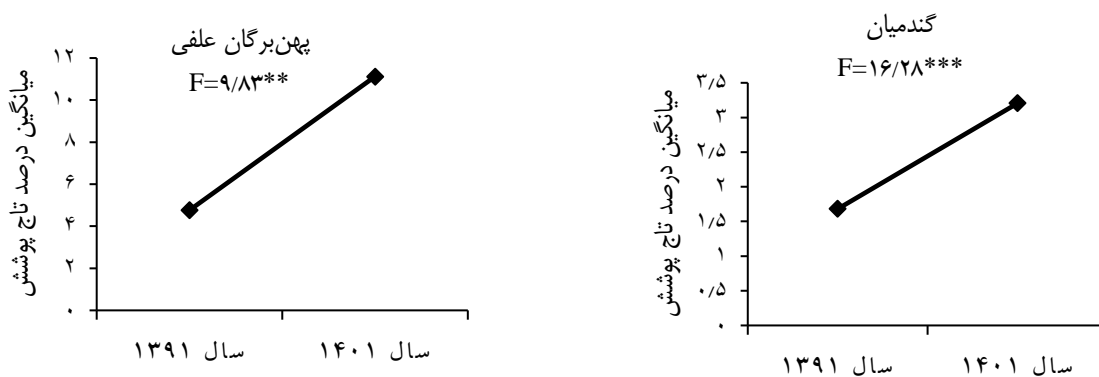
شکل ۱. مقایسه میانگین درصد تاج پوشش گونه‌های گیاهی طی روند تغییرات گیاهی در باطله‌های زغال سنگ کارمزد شهرستان سوادکوه، استان مازندران. (معنی‌داری F به صورت $p \leq 0.05$: *، $0.01 < p \leq 0.05$: **، $p \leq 0.001$: *** است)

جدول ۴. مقایسه درصد تاج پوشش گونه‌های گیاهی حاضر در یک باطله در طی روند تغییرات گیاهی

گونه‌های گیاهی	سال ۱۳۹۱			سال ۱۴۰۱			مقدار t	مقدار p
	باطله ۳۰ ساله بزرگ	باطله ۳۰ ساله کوچک	باطله ۲۰ ساله	باطله ۳۰ ساله بزرگ	باطله ۳۰ ساله کوچک	باطله ۲۰ ساله		
<i>Calamagrostis epigejos</i>	۰/۰۸	-	-	۰/۲۴	-	-	-۲/۱۳	۰/۰۳
<i>Eryngium campestre</i>	+	-	-	۰/۱	-	-	-۲/۰۷	۰/۰۴
<i>Kochia prostrata</i>	-	-	۳/۷۹	-	-	۱۳/۲۵	-۲/۹۹	۰/۰۰۸
<i>Phalaris minor</i>	+	-	-	۰/۰۴	-	-	-۲/۳۹	۰/۰۲
<i>Silybum marianum</i>	+	-	-	۰/۱۳	-	-	-۲/۲۱	۰/۰۳



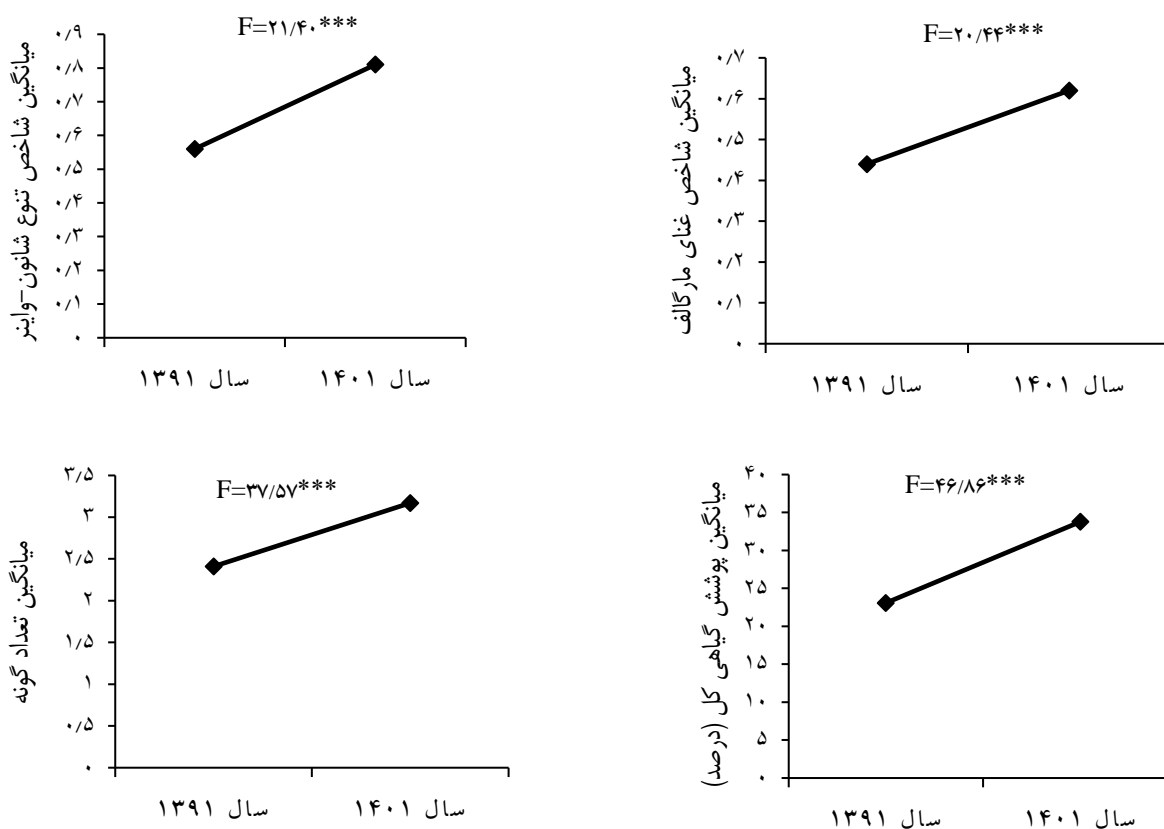
شکل ۲. مقایسه میانگین درصد تاج پوشش گیاهان یکساله و چندساله طی تغییرات گیاهی در باطله‌های زغال سنگ کارمزد شهرستان سوادکوه، استان مازندران. (معنی‌داری F به صورت **: $0/05 < p < 0/01$; ***: $0/001 < p < 0/001$ است)



شکل ۳. مقایسه میانگین درصد تاج پوشش فرم‌های رویشی طی تغییرات گیاهی در باطله‌های زغال سنگ کارمزد شهرستان سوادکوه، استان مازندران. (معنی‌داری F به صورت **: $0/05 < p < 0/01$; ***: $0/001 < p < 0/001$ است)

۳-۴. تغییرات زمانی در تنوع و غنای گیاهی

نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که اثر زمان (سال) بر شاخص‌های تنوع شانون- واینر، غنای مارگالف، تعداد گونه و پوشش گیاهی کل معنی‌دار شد (شکل ۴). با گذشت زمان این افزایش برای شاخص تنوع شانون $30/86$ درصد، شاخص غنای مارگالف $29/03$ درصد، تعداد گونه $20/48$ درصد و پوشش گیاهی کل $31/65$ درصد بود.



شکل ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع و غنای تنوع گونه و پوشش گیاهی کل طی تغییرات گیاهی در باطله‌های زغال سنگ کارمزد شهرستان سوادکوه، استان مازندران. (معنی‌داری F به صورت **: $0/05 < p < 0/01$ ، ***: $0/01 < p < 0/001$ و ****: $p < 0/001$ است)

۳-۵. شباهت پوشش گیاهی

نتایج آزمون منتل نشان داد که پوشش گیاهی در همه باطله‌های مورد بررسی بین سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱ به طور معنی‌داری دارای تشابه بوده‌اند (جدول ۵).

جدول ۵. شباهت پوشش گیاهی در باطله‌های زغال سنگ در طی توالی گیاهی

باطله ۲۰ ساله ۱۴۰۱		باطله ۳۰ ساله کوچک ۱۴۰۱		باطله ۳۰ ساله بزرگ ۱۴۰۱		باطله‌های زغال سنگ
آماره p	آماره r	آماره p	آماره r	آماره p	آماره r	
-	-	-	-	۰/۰۰۱	۰/۳۲	باطله ۳۰ ساله بزرگ ۱۳۹۱
-	-	۰/۰۴	۰/۳۲	-	-	باطله ۳۰ ساله کوچک ۱۳۹۱
۰/۰۱	۰/۳۹	-	-	-	-	باطله ۲۰ ساله ۱۳۹۱

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از داده‌های دو مقطع زمانی برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی در باطله‌های زغال سنگ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با گذشت ۱۰ سال تغییراتی در ترکیب پوشش گیاهی و گروه‌های گیاهی اتفاق افتاد. ترکیب پوشش گیاهی تفاوت اندکی را بین دو سال نشان داد و به نظر ترکیب گیاهی روند نسبتاً باثباتی داشته است. پوشش گیاهی دو سال مورد مطالعه دارای شباهت معنی‌داری بوده است. با توجه به این که تغییرات پوشش گیاهی در باطله‌های زغال سنگ با محدودیت‌های بسیاری همراه است (واکر و دل‌مورال، ۲۰۰۳؛ آلدی و همکاران، ۲۰۱۱)، وجود چنین شباهتی در بازه زمانی ده ساله اهمیت دارد. معمولاً جانشینی طبیعی در چنین شرایطی می‌تواند در جهات نامشخص سیر نماید (تیلمان^۱، ۲۰۰۴؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲ ب) که خوشبختانه در این منطقه جهت تغییرات تغییر نکرده و به عبارتی همچنان گونه‌های غالب در دو سال یکسان هستند. از بین انباشت‌های باطله، همچنان در باطله ۳۰ ساله بزرگ بیشترین تعداد گونه گیاهی مستقر شده‌اند که معمولاً سایت‌های معدنکاری شده بزرگ مقیاس امکان دریافت بذور طی پراکنش بذر از چشم‌انداز اطراف را دارند (کریمر^۲ و همکاران، ۲۰۰۸) و تعداد زیادی آشیان برای کلنیزاسیون گونه‌های سازگارتر فراهم می‌کنند (تیسچو و کریمر^۳، ۲۰۰۷؛ کریمر و همکاران، ۲۰۰۸). تعداد گونه گیاهی در باطله ۳۰ ساله حتی از مراتع اطراف هم بیشتر است که ناشی از حضور بالای گونه‌های انحصاری است که در بخش مرتعی مشاهده نشده‌اند. این گیاهان معمولاً گونه‌های گیاهی پیشگام هستند که توانسته‌اند خود را از مناطق دوردست‌تر با پراکنش بذر به باطله‌ها رسانده و رشد نمایند. بخش مرتعی اطراف باطله‌ها شامل یک لایه خاک کم عمق بر روی رگه‌های زغال است که با توجه به مجاورت به معدن تحت تاثیر گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های استخراج زغال سنگ بوده که وضعیت پوشش گیاهی خوبی ندارد.

در بین گونه‌های مورد مطالعه، گونه *M. persica* از گندمیان چندساله و گونه *K. prostrata* از بوته‌ای‌های چندساله طی روند تغییرات گیاهی با افزایش درصد فراوانی ۳۸/۸۹ و ۱۴/۲۸ درصدی در باطله‌های ۳۰ ساله کوچک و ۲۰ ساله همراه بودند. از گیاهان غالب یکساله پهن‌برگ و چندساله گندمی، گونه‌های *G. fimbriigerum* و *C. epigejos* بوده که به ترتیب افزایش ۹/۰۶ و ۴۰/۹۱ درصدی فراوانی را در باطله ۳۰ ساله بزرگ نشان داد. حضور برخی گیاهان در باطله‌های معدنی مورد بررسی، نشان‌دهنده سازگاری‌های مربوط هر یک از آنها است و تحقیقات مشابه در کشورهای دیگر قابلیت انطباق این گونه‌ها با این رویشگاه‌ها را تایید کردند (هداکووا و پراچ^۴، ۲۰۰۳؛ مورنو دلاس‌هراس^۵ و همکاران، ۲۰۰۸؛ کمپالا-بابا^۶ و همکاران، ۲۰۱۹). در همین راستا، گونه *C. epigejos* به واسطه قابلیت تشکیل کلنی و تحمل شرایط سخت (روبیکووا^۷ و همکاران، ۲۰۱۲)، گونه *E. campestre* به دلیل سازگاری با انواع خاک‌ها (کالوینو^۸ و همکاران، ۲۰۰۸) و گونه *K. prostrata* با قابلیت رشد در خاک‌های شور (اورلوسکی^۹ و همکاران، ۲۰۱۱) قادر به استقرار، رشد و بقا در باطله‌های معدنی هستند.

با گذشت زمان برخی گونه‌ها از ترکیب گیاهی مستقر در باطله‌های منطقه معدنکاری شده حذف و جای خود را به برخی گونه‌های گیاهی دیگر داده‌اند. این موضوع به طور ویژه در انباشت باطله ۳۰ ساله بزرگ مشهود بوده است. همه این گونه‌ها حضور اندکی در ترکیب گیاهی سال ۱۳۹۱ داشته و بعلت فراوانی کم و شرایط سخت محیطی تشکیل کلنی ندادند. شش گونه گیاهی با مکانیسم انتشار بذر از محیط اطراف به ترکیب گیاهی باطله‌ها در سال ۱۴۰۱ اضافه شدند. بین باطله‌ها تبادل گونه‌ای اندکی بوده است و فقط سه گونه

¹ Tilman

² Kirmer

³ Tischew & Kirmer

⁴ Hodacova & Prach

⁵ Moreno-de las Heras

⁶ Kompała-Bąba

⁷ Roubickova

⁸ Calvino

⁹ Orlovsky

E. acer، *Centaurea sp.* و *M. persica* موفق به این کار شدند. علاوه بر پراکنش بذر وجود بانک بذر نیز در پویایی پوشش گیاهی در محیط معدنی تاثیرگذار است (پراچ و همکاران، ۲۰۰۷). بر اساس مطالعه انجام شده قبلی بر روی بانک بذر این منطقه تنها دو گونه غالب *A. absinthium* و *K. prostrata* دارای بانک بذر بوده‌اند (نامجویان و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین می‌توان استنتاج کرد که فعلا تاثیرگذاری بانک بذر در شکل‌گیری پوشش گیاهی منطقه کم است و با گذشت زمان و تشکیل بانک بذر توسط گیاهان این نقش می‌تواند پررنگ‌تر شود.

تغییرات پوشش گیاهی بر روی باطله می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی چون بارندگی، ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی بستر و میزان سازگاری گونه‌های گیاهی باشد. مشاهده داده‌های میانگین بارندگی این مدت نشان داده که روند خاص افزایشی یا کاهش‌ی نداشته تا با قطعیت در مورد اثر آن بحث کرد. از جمله عوامل دیگر که موجب تغییر ترکیب گیاهی در باطله شده می‌توان به فرسایش اشاره داشت (فینکلمن^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). درجات متفاوتی از انواع فرسایش شیاری و خندقی به واسطه پوشش گیاهی ضعیف، سطح بی‌ثبات و خودسوزی باطله در منطقه اتفاق افتاده است. در شروع روند تغییرات پوشش گیاهی و با گذشت زمان، وجود فرورفتگی‌های سطح باطله و به خصوص در مناطق با شیب کم‌تر که مواد معدنی به آن انتقال یافته و همراه با آب باران به پایین جریان می‌یابند، نقش مهمی در شکل‌گیری پوشش گیاهی داشتند. همان‌طور که در انباشت باطله ۳۰ ساله بزرگ هم این موضوع به وضوح قابل تشخیص بود و سطوح با شیب ملایم، پوشش گیاهی بیشتری را تشکیل دادند. زیرا پس از ته‌نشینی در کف فرورفتگی‌ها، بستر مرطوب، بذری که با باد به آنجا انتقال یافته را به دام انداخته و حفظ می‌کنند و در اوایل و با گذشت روند تغییرات، شرایط مساعدتری را از نظر تشکیل کلنی توسط گیاهان مقاوم و پیشگام ایجاد می‌کنند. چنین نتایجی در فرآیندهای پویایی گیاهی و احیای اکوسیستم‌های تخریب شده یافت شده است (رحمانو و همکاران، ۲۰۲۰). پوشش گیاهی که خود را به این بسترهای مرده، خشک و سخت تحمیل می‌کند، معمولاً گونه‌هایی با نیازهای غذایی کم و با سیستم ریشه‌ای قوی و منشعب هستند که مشابه این شرایط برای حضور گونه‌هایی همچون *A. scoparia*، *M. persica*، *C. spinosa* و *S. marianum* مشاهده شد. با سازگاری این گیاهان به منظور رشد در سطح خاک لخت، آنها بر شرایط تأثیر گذاشته و سایر گونه‌های با صفات مشابه را قادر ساخته تا به این منطقه ورود کنند. این گونه‌ها احتمالاً دارای دامنه وسیعی از بردباری اکولوژیکی (رحمانو و همکاران، ۲۰۲۲) هستند. در این راستا، در مطالعات قبلی ما گزارش شده که از گیاهان بوته‌ای، گیاهان *C. spinosa* و *K. prostrata* دارای آشیان بوم‌شناختی گسترده‌تری نسبت به مقادیر بالای شن و شرایط اسیدی در باطله و گونه *A. scoparia* تحمل مناسبی را به کمبودهای غذایی و فلزات سنگین داشتند (لشکری‌صنمی و همکاران، ۱۴۰۰ ج). از گیاهان علفی بررسی شده نیز گونه *S. marianum* بردباری خوبی در پاسخ به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد (لشکری‌صنمی و همکاران، ۱۴۰۰ ب).

در انباشت باطله‌های زغال‌سنگ بدون عملیات اصلاحی و تحت فرآیند بازرویش خودبخودی، استقرار گیاهان درختی و درختچه‌ای ممکن است چندین دهه طول بکشد (ووزنیاک^۲، ۲۰۱۰). در تحقیق حاضر گونه *B. vulgaris* که گیاه غالب اطراف باطله بوده هنوز در باطله‌ها مشاهده نشده است. گیاه *T. ramosissima* در سال ۱۳۹۱ در پای دامنه باطله ۳۰ ساله بزرگ بوده که به نظر با فرسایش پای دامنه و خودسوزی باطله حذف شده است. در پژوهشی انجام شده در باطله‌های زغال‌سنگ، هیچ گونه چوبی جدیدی ثبت نشد که پس از دوره ۱۰ ساله به طور طبیعی در عرصه‌های معدنی مستقر شده باشد (هوانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). توزیع زمانی و مکانی نفوذ، ظرفیت نگهداری آب و مهار بارندگی در سطح باطله‌ها تحت تأثیر پوسته‌های زیستی خاک (لی^۴ و همکاران، ۲۰۰۳؛ آلدی و همکاران، ۲۰۱۱)، منجر به محدودیت حضور درختچه‌های با ریشه عمیق می‌شود.

در نتیجه بهره‌برداری از معدن و اراضی آسیب دیده ناشی از معدنکاری، پوشش گیاهی به طور گسترده‌ای آسیب دیده و تنوع و غنای

¹ Finkelman

² Woźniak

³ Huang

⁴ Li

گونه‌ای کاهش می‌یابد (فخیمی، ۱۳۹۹). با توجه به نتایج این تحقیق، تنوع و غنای گونه‌ای با گذشت زمان افزایش یافت که این افزایش می‌تواند ثبات پویایی را بهبود بخشد (فخیمی، ۱۳۹۹؛ نوویاتی و همکاران، ۲۰۱۸). معمولاً باطله‌های مسن‌تر افزایش تنوع و غنا را تسریع کرده (نوویاتی و همکاران، ۲۰۱۸؛ رحمانوو و همکاران، ۲۰۲۲) اما در این تحقیق افزایش شاخص تنوع و غنا در ارتباط با سن باطله‌ها نبوده است. به نظر بهبود بستر پویایی به زمان بیشتری نیاز دارد. در شکل‌گیری طبیعی پوشش گیاهی در باطله‌های معدنی، نیتروژن نقش مهمی را ایفا می‌کند و یکی از دلایلی که باعث شده با گذشت زمان همچنان بخش زیادی از باطله‌ها به صورت لکه‌های بزرگ عاری از پوشش باشند، احتمالاً به دلیل سهم نسبتاً کم گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در پوشش گیاهی است (مارس و برادشو، ۱۹۹۳). سطوح نیتروژن در اکوسیستم‌ها یکی از متغیرهای اصلی تعیین‌کننده نرخ پویایی است. اگر مدت زمان رهاسازی سایت بیشتر از ۲۰ سال باشد، مشاهده تأثیر نیتروژن خاک دشوار است (سگورا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). از طرفی بخش عمده کاتیون‌های تبادل‌ی ضروری برای رشد گیاه (پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم) گاهی از طریق آبشویی از دسترس خارج می‌شوند (جاکولشویچ^۲ و همکاران، ۲۰۰۳). مطالعات قبلی انجام شده در باطله‌های معدنی زغال‌سنگ در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه به محدودیت‌های فیزیکی و شیمیایی بستر از جمله تغییرات اسیدیته و کمبود مواد غذایی به ویژه درصد نیتروژن پایین اشاره داشته‌اند (لشگری و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به استخراج زغال‌سنگ در منطقه مورد مطالعه، نواحی زیادی به اراضی تخریب شده تغییر یافته و شرایط رویشگاهی نامناسبی را برای گیاهان ایجاد کرده است. این محیط‌ها که تحت تأثیر فعالیت‌های شدید معدنکاری قرار دارند، به زمان قابل توجهی نیاز داشته تا فرآیندهای احیاء طبیعی کامل شود. اگرچه تعداد و درصد تاج‌پوشش گیاهی و همچنین شاخص تنوع و غنا با گذشت زمان در طی تغییرات گیاهی بهبود یافته اما به نظر برای تسریع پویایی گیاهی و کاهش اثرات منفی این باطله‌ها در منطقه نیاز است تا از روش‌های احیاء استفاده کرد. بدین منظور انتقال خاک سطحی به منطقه و استفاده از آهک و سایر تیمارهای ترجیحاً بر پایه مواد اولیه طبیعی مثل قطعات خرد شده گیاهان به عنوان کود سبز، کمپوست و بیوجار در کاهش اثرات فلزات سنگین به همراه انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب توصیه می‌شود. مطالعات قبلی در این منطقه نشان داده که پتانسیلی از گیاهان دارای قدرت گیاه پالایی در منطقه وجود دارند (لشگری‌صنمی، ۱۴۰۰ الف) که می‌توانند در احیاء این باطله‌ها استفاده شوند.

۵. سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای تامین مالی انجام تحقیق و شرکت پیشرو معادن ذوب آهن سوادکوه جهت اجازه دسترسی به منطقه سپاس‌گزاری می‌شود.

References

- Alday, J. G., Marrs, R. H., & Martínez-Ruiz, C. (2011). Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. *Applied Vegetation Science*, 14(1), 84-94. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01104.x>.
- Antwi, E. K., Boakye-Danquah, J., Asabere, S. B., Takeuchi, K., & Wiegleb, G. (2014). Land cover transformation in two post-mining landscapes subjected to different ages of reclamation since dumping of spoils. *SpringerPlus*, 3(1), 1-22. DOI: 10.1186/2193-1801-3-702.
- Bharali, S., Paul, A., Khan, M. L., & Singha, L.B. (2011). Species diversity and community structure of a temperate mixed *Rhododendron* forest along an altitudinal gradient in West Siang District of Arunachal Pradesh, India. *Nature and Science*, 9(12), 125-140.

¹ Segura

² Jakovljević

- Calvino, C. I., Martinez, S. G., & Downie, S. R. (2008). The evolutionary history of *Eryngium*: rapid radiations, long distance dispersals and hybridizations. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 46(3), 1129-1150. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.10.021>
- del Moral, R., & Wood, D. M. (1993). Early primary succession on the volcano Mount St. Helens. *Journal of Vegetation Science*, 4(2), 223-234. <https://doi.org/10.2307/3236108>.
- Dovčiak, M., Frelich, L. E., & Reich, P. B. (2005). Pathways in old-field succession to white pine: seed rain, shade, and climate effects. *Ecological Monographs*, 75(3), 363-378. <https://doi.org/10.1890/03-0802>.
- Fakhimi, E. (2020). Impact of mining on variation of species diversity, richness and structure of vegetation cover (Case study: Copper mine in Dareh Zereshk, Yazd province, Iran). *Journal of Range and Desert Research*, 27(4), 772-781. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089996.2020.10.3.7.6>. (In Persian).
- 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>.
- Hodacova, D., & Prach, K. (2003). Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation versus spontaneous revegetation. *Restoration Ecology*, 11(3), 1-7. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00202.x>.
- Hosseini, S. M. (2016). *Natural succession of vegetation in old coal waste of rangelands of Kiasar in Mazandaran province* (M.Sc. Thesis of rangeland management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran). (In Persian).
- 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(5), 2329-2342. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3584-z>.
- Jakovljević, M. D., Kostić, N. M., & Antić-Mladenović, S. (2003). The availability of base elements (Ca, Mg, Na, K) in some important soil types in Serbia. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, 104, 11-21. <https://doi.org/10.2298/ZMSPN0304011J>.
- Kirmer, A., Tischew, S., Ozinga, W. A., Von Lampe, M., Baasch, A., & Van Groenendael, J. M. (2008). Importance of regional species pools and functional traits in colonization processes: predicting re-colonization after large-scale destruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 45(5), 1523-1530. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01529.x>.
- Kompała-Bąba, A., Bierza, W., Błońska, A., Sierka, E., Magurno, F., Chmura, D., Besenyeyi, L., Radosz, Ł., & Woźniak, G. (2019). Vegetation diversity on coal mine spoil heaps—how important is the texture of the soil substrate?. *Biologia*, 74, 419-436. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00218-x>.
- Kondratenko, L., Gura, D., Shaidullina, V., Rogulin, R., & Kondrashev, S. (2022). Restoration of vegetation around mining enterprises. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1881-1886. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.034>.
- Krzysztofik, R., Dulias, R., Kantor-Pietraga, I., Spórna, T., & Dragan, W. (2020). Paths of urban planning in a post-mining area. A case study of a former sandpit in southern Poland. *Land Use Policy*, 99, p.104801. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104801>.
- Lashgari, N., Ghorbani, J., Zali, S. H., & Vahabzadeh, G. (2016). Assessing the vegetation restoration potential on coal mine waste (Case study: Karmozd Savadkoh mines, Mazandaran province). *Journal of Environmental Studies*, 41(4), 757-770. <https://doi.org/10.22059/jes.2016.57130>. (In Persian).
- Lashgari, N., Ghorbani, J., Zali, S. H., & Vahabzadeh, G. (2017). Soil properties and level of heavy metals in coal wastes and their association with plant establishment (Case study: coal mine of Karmozd Svadkoh, Mazandaran province). *Journal of Natural Environment*, 69(4), 1091-1108. <https://doi.org/10.22059/jne.2017.127994.954>. (In Persian).
- Lashkari Sanami, N. (2022 a). *Heavy metals uptake and tolerance capability in plants and biochar application for coal mine wastes reclamation* (Doctoral dissertation in Rangeland Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran) (In Persian).

- Lashkari Sanami, N., Ghorbani, J., Zali, S. H., & Vahabzadeh, G. (2022 b). Edaphic optimum niche for some pioneer rangeland plants in coal mine wastes in Karmozd mines, Mazandaran province. *Journal of Rangeland*, 16(1), 1-16. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6>. (In Persian).
- Lashkari Sanami, N., Ghorbani, J., Zali, S.H., & Vahabzadeh, G. (2022 c). Modelling the response of plants to physical and chemical properties of coal wastes in Karmozd coal mine, Mazandaran province. *Journal of Plant Research*, 35(4), 848-865. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1>. (In Persian).
- Li, T., Wu, M., Duan, C. & Li, S. (2022a). The effect of different restoration approaches on vegetation development in metal mines. *Science of the Total Environment*, 806, p.150626. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150626>.
- Li, T., Yang, H., Yang, X., Guo, Z., Fu, D., Liu, C. E., Li, S., Pan, Y., Zhao, Y., Xu, F., & Gao, Y. (2022b). Community assembly during vegetation succession after metal mining is driven by multiple processes with temporal variation. *Ecology and Evolution*, 12(5), p.e8882. <https://doi.org/10.1002/ece3.8882>.
- Li, X. R., Zhou, H. Y., Wang, X. P., Zhu, Y. G., & O'conner, P.J. (2003). The effects of sand stabilization and revegetation on cryptogam species diversity and soil fertility in the Tengger Desert, Northern China. *Plant and Soil*, 251, 237-245. <https://doi.org/10.1023/A:1023023702248>.
- Moreno-de las Heras, M., Nicolau, J. M., & Espigares, T. (2008). Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological Engineering*, 34(2), 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.07.017>.
- Namjooyan, R., Ghorbani, J., Heydari, G., & Vahab Zade, G. (2019). Presence of rangeland plant species in the seed bank of coal waste and surrounding rangelands in Karmozd-Savad kouh and Kiasar-Sari coal mines in Mazandaran province. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(2), 587-596. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.286711.1406>. (In Persian).
- Novianti, V. (2013). *Process of primary succession and its application on previously mined coal areas* (Doctoral dissertation, Bandung (ID), Institut Teknologi Bandung).
- Novianti, V., Marrs, R. H., Choessin, D. N., Iskandar, D. T., & Suprayogo, D. (2018). Natural regeneration on land degraded by coal mining in a tropical climate: Lessons for ecological restoration from Indonesia. *Land Degradation and Development*, 29(11), 4050-4060. <https://doi.org/10.1002/ldr.3162>.
- Orlovsky, N. S., Japakova, U. N., Shulgina, I., & Volis, S. (2011). Comparative study of seed germination and growth of *Kochia prostrata* and *Kochia scoparia* under salinity. *Journal of Arid Environments*, 75(6), 532-537. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.01.014>.
- Prach, K., Pysek, P., & Jarosik, V. (2007). Climate and pH as determinants of vegetation succession in Central European man-made habitats. *Journal of Vegetation Science*, 18(5), 701-710. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02584.x>.
- Rahmonov, O., Czajka, A., Nádudvari, Á., Fajer, M., Spórna, T., & Szypuła, B. (2022). Soil and vegetation development on coal-waste dump in Southern Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), p.9167. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159167>.
- Rahmonov, O., Krzysztofik, R., Śródek, D., & Smolarek-Lach, J. (2020). Vegetation-and environmental changes on non-reclaimed spoil heaps in Southern Poland. *Biology*, 9(7), p.164. <https://doi.org/10.3390/biology9070164>.
- Roubickova, A., Mudrak, O., & Frouz, J. (2012). The effect of belowground herbivory by wireworms (Coleoptera: Elateridae) on performance of *Calamagrostis epigejos* (L) Roth in post-mining sites. *European Journal of Soil Biology*, 50, 51-55. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.12.004>.
- Segura, C., Navarro, F. B., Jiménez, M. N., & Fernandez-Ondono, E. (2020). Implications of afforestation vs. secondary succession for soil properties under a semiarid climate. *Science of the Total Environment*, 704, p.135393. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135393>
- Tilman, D. (2004). Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: a stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(30), 10854-10861. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403458101>.

- Tischew, S., & Kirmer, A. (2007). Implementation of basic studies in the ecological restoration of surface-mined land. *Restoration Ecology*, 15(2), 321-325. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00217.x>.
- Vaňková, J., & Kovář, P. (2004). Plant species diversity in the biotopes of unreclaimed industrial deposits as artificial islands in the landscape. In *Natural Recovery of Human-made Deposits in Landscape*. Edited by Kovář, P. Academia, Praha. 30–45.
- Walker, L. R., & del Moral, R. (2003). *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Więckol-Ryk, A., Pierzchała, Ł., Bauerek, A., & Krzemień, A. (2023). Minimising Coal Mining's Impact on Biodiversity: Artificial Soils for Post-Mining Land Reclamation. *Sustainability*, 15(12), p 9707. <https://doi.org/10.3390/su15129707>.
- Woźniak, G. (2010). *Diversity of Vegetation on Coal-Mine Heaps of the Upper Silesia (Poland)*. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.