Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Edaphic optimum niche for some pioneer rangeland plants in coal mine wastes in Karmozd mines, Mazandaran province, Iran

Nateq Lashkari Sanami [1], Jamshid Ghorbani*[2], Seyed Hassan Zali [3], Ghorban Vahabzadeh [4]

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

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 10.18.2020
Revised: 04.09.2021
Accepted: 05.06.2021

Keywords:
Ecological niche,
Mine reclamation,
HOF model,
Response curve

Abstract

Background and objectives: Mineral exploration is an important factor in rangeland ecosystem degradation in Iran. The first priority in mine site restoration is to use native plants as they can resist the stress caused by heavy metals and nutrients deficiency and also the harsh environmental situation. Vegetation restoration in polluted mining area depends on how plants can respond to phisycal and chemical properties of mine waste. This study aimed to assess the responses of five pioneer species (*Glaucium fimbrilligerum*, *Melica persica*, *Hordeum vulgare*, *Polygonum aviculare* and *Silybum marianum*) in secondary succession to the phisyco-chemical properties of coal mine waste in Karmozd coal mine, Mazandaran, Iran.

Methodology: The waste generated from the coal mining was heaped into different dumps in Karmozd coal mine site in Savadkoh county, Mazandaran province, Iran. This mine is one of the oldest and major coal mining site in central Alborz coal zone. Three dumps of coal waste were selected which were abandoned for more than three decades. All dumps had similar elevation above sea level and geographical aspect. During underground mining large volumes of coal wastes were heaped in one of the waste dump but in the other two dumps waste materials were deposited outside of tunnels. Plant species were sampled in 138, 1 m^2 plots using random-systematic methods along transects. In each plot the cover percentage of each plant species were estimated visually. A soil samples were taken from the center of each plot at depth of maximum 20 cm. Then soil samples were kept in the plastic bags until chemical analysis time. The soil samples were air-dried at room temperature. Then Soil texture, pH, EC, OC, N, P, Cu, Zn, Ni, and Pb were measured in the laboratory. Plant species responses and the ecological niches were determined using eHOF model in R 3.5.3. The best model was selected using AIC index.

Results: Results of this study showed that plant species responded to coal wastes properties in a variety of models. Among them the sysmetrical unimodal and bimodal with unequal two optima were more common. In response to the amount of sand in the soil all plant species except *H. vulgare* had an optimum in 49-88%. *S. marianum* showed an optimum in the lowest amount of clay while *P. aviculare* and *H. vulgare* had a broad ecological niche along the gradient of clay. *G. fimbrilligerum* and *H. vulgare* had a broad ecological niche than other plant species in response to the soil pH even with an optima in low soil pH. For soil

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

minerals the dominant response was bimodal with unequal two optima. The upper optima for soil total nitrogen was found for *P. aviculare* and the upper optima for soil available P was detected for *P. aviculare* and *H. vulgare*. Two plant species (*S. marianum* and *M. persica*) responded to all heavy metals with symmetrical unimodal while the other species showed a verity of responses. *S. marianum* showed optimum in greater amount of heavy metal levels and its optima was 255.24, 53.74, 180.59, and 151.87 for Cu, Pb, Zn, and Ni, respectively.

Conclusion: In this study the three forb species showed more divers responses to the measured coal waste properties than that in two grass species. The studied plant species had different life spans and life forms. According to their responses and the ecological niches it can be concluded that all of these plant species have the potential for establishment and growth on coal waste dumps. Therefore, they can be used for mine site restoration with a priority to *S. marianum* and *M. persica*. Further studies are needed to assess the facilitation of these plant species growth and establishment under different remediation treatments.

Cite this article: Lashkari Sanami, N., J. Ghorbani, S.H. Zali, Gh. Vahabzadeh, 2022. Edaphic optimum niche for some pioneer rangeland plants in coal mine wastes in Karmozd mines, Mazandaran province, Iran. Journal of Rangeland, 16(1): 1-16.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

آشیان بهینه خاک برای برخی از گیاهان مرتعی پیشگام در باطله‌های زغال سنگ در معادن کارمزد سوادکوه، استان مازندران

ناطق لشکری صنمی[۱]، جمشید قربانی*[۲]، سید حسن زالی[۳] و قربان وهاب‌زاده[۴]

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، 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. رایان‌نامه: J.ghorbani@sanru.ac.ir

۳. مربی گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۶

واژه‌های کلیدی:
آشیان اکولوژیکی،
احیاء معدن،
مدل HOF،
منحنی پاسخ

چکیده

سابقه و هدف: استخراج مواد معدنی از جمله عوامل مهم در تخریب بوم‌سازگان مرتعی در کشور است. گیاهان بومی در احیای مناطق معدن‌کاری شده در اولویت هستند به ویژه گیاهانی که به تنش ناشی از فلزات سنگین و کمبود مواد غذایی و شرایط سخت این مناطق سازگارتر باشند. در احیای پوشش گیاهی در محیط‌های آلوده معدنی لازم است به چگونگی پاسخ گونه‌های گیاهی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله‌ها توجه شود. در این تحقیق به پاسخ چند گونه گیاهی پیشگام شامل *Glaucium fimbrilligerum*، *Melica persica*، *Hordeum vulgare*، *Polygonum aviculare* و *Silybum marianum* در توالی ثانویه در محیط معدنی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله‌های زغال‌سنگ پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در انباشت متعددی از باطله زغال‌سنگ در محدوده معادن کارمزد در شهرستان سوادکوه در استان مازندران انجام شد. این معادن از بزرگترین و قدیمی‌ترین نواحی تولیدکننده زغال‌سنگ در حوضه زغالی البرز مرکزی هستند. باطله‌هایی که در ارتفاع از سطح دریا و جهت جغرافیایی مشابه قرار داشته و سه دهه از متروک ماندن آنها گذشته بوده، شناسایی و انتخاب شدند. یک باطله که در طول زمان باطله‌ها روی هم انباشت و تسطیح شده و دو باطله دیگر در خروجی دهانه تونل‌ها قرار داشته و عملیات مکانیکی خاصی روی آنها انجام نشده بود. نمونه‌گیری پوشش گیاهی در ۱۳۸ پلات‌های یک مترمربعی و به صورت تصادفی-منظم در امتداد ترانسکت انجام شد. در هر پلات درصد تاج پوشش هر گونه گیاهی تخمین زده شد. نمونه‌گیری خاک در مرکز هر پلات و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. نمونه ها به آزمایشگاه منتقل و بافت، اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و فلزات سنگین (مس، روی، نیکل و سرب) اندازه‌گیری شدند. به منظور برازش هر یک از مدل‌های هفتگانه HOF، تعیین مقدار بهینه و دامنه بوم‌شناختی گونه‌ها از بسته eHOF نسخه 1.8 در نرم افزار R نسخه 3.5.3 استفاده شد. مبنای انتخاب بهترین مدل، شاخص آکائیک بوده است.

نتایج: نتایج این تحقیق نشان داد که تنوعی از پاسخ گونه‌های گیاهی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله زغال سنگ وجود داشته که پاسخ متقارن تک نمایی و پاسخ دونمایی با دو بهینه نابرابر متداول‌تر از بقیه مدل‌ها بودند. همه گونه‌های گیاهی به جزء *H. vulgare* در محدوده ۴۹ تا ۸۸ درصد شن دارای وضعیت بهینه حضور بودند. گونه *S. marianum* در مقدار کم رس و *P. aviculare* و *H. vulgare* در دامنه وسیع‌تری از گرادیان رس حضور داشتند. گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* در پاسخ به اسیدیته باطله زغال سنگ پهنای آشیان گسترده‌تری را نسبت به سایر گونه‌های گیاهی داشتند. پاسخ گیاهان به عناصر غذایی باطله زغال سنگ بیشتر به صورت دونمایی با دو بهینه نابرابر بوده است. بالاترین بهینه نیتروژن کل برای گونه *P. aviculare* و بالاترین بهینه فسفر قابل جذب برای گونه *P. aviculare*

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

و *H. vulgare* مشاهده شد. گونه *S. marianum* و *M. persica* نسبت به تمام فلزات سنگین موجود در باطله زغال سنگ رفتار تک‌نمایی متقارن داشتند و سایر گونه‌ها دارای تنوعی از مدل بهینه بودند. *S. marianum* با افزایش سطوح فلزات سنگین بهینه بالاتری نسبت به سایر گونه‌ها داشت که بهینه آن در مس، سرب، روی و نیکل به‌ترتیب ۲۵۵/۲۴، ۵۳/۷۴، ۱۸۰/۵۹ و ۱۵۱/۸۷ پی‌پی‌ام بوده است.

نتیجه‌گیری: در این تحقیق سه گونه گیاهی از پهن برگ علفی نسبت به دو گونه گندمیان در پاسخ به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله زغال سنگ از مدل‌های متنوع‌تری پیروی کردند. این پنج گونه گیاهی دارای طول عمر و فرم رویشی متفاوت بوده و پاسخ آنها نشان داد که از پتانسیل خوبی جهت استقرار بر روی باطله‌های متروک زغال سنگ و احیاء پوشش گیاهی بر روی آنها برخوردار هستند. از بین آنها *S. marianum* و *M. persica* می‌توانند در اولویت قرار گیرند. انجام مطالعات بعدی در استفاده از تیمارهای مختلف به منظور تسریع در رشد و استقرار این گیاهان توصیه می‌شود.

استناد: لشکری صنمی، ن.، ج. قربانی، س.ح. زالی و ق. وهاب‌زاده، ۱۴۰۱. آشیان بهینه خاک برای برخی از گیاهان مرتعی پیشگام در باطله‌های زغال سنگ در معادن کارمزد سوادکوه، استان مازندران. مرتع، ۱۶(۱): ۱-۱۶.

DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

مقدمه

تقاضای رو به رشد برای استخراج مواد معدنی تهدید جدی برای مراتع است چون فعالیت‌های معدنکاری با آلودگی خاک، آب و هوا و تخریب پوشش گیاهی همراه بوده و موجب برهم خوردن چشم‌اندازهای طبیعی می‌شوند (۳۹). باطله‌های معدنی انباشته از استخراج معادن به علت خصوصیات فیزیکی نامناسب، غلظت‌های مختلف فلزات، شوری، کمبود عناصر غذایی و ظرفیت محدود فعالیت‌های میکروبی رشد و استقرار گیاهان را بسیار دشوار می‌سازند (۳۶). مناطق پوشیده از باطله‌های معدنی یا فاقد هر گونه گیاه و یا دارای پوشش گیاهی تنک هستند (۲۳).

در توالی ثانویه در محیط‌های معدنی، گیاهان با قابلیت تحمل به فلزات سنگین و کمبود مواد غذایی که به طور خود به خودی یا طبیعی در این مناطق مستقر می‌شوند از درجه اهمیت بالایی برخوردار هستند (۱ و ۳۶). حضور این گونه‌های گیاهی در ارتباط با نحوه پاسخ آنها به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله است (۱۷). در بررسی روابط گونه و محیط، منحنی پاسخ یک مفهوم مهم بوده و رفتار گونه را نسبت به تغییر عوامل محیطی نشان می‌دهد. بوم‌شناسان معتقدند که عوامل محیطی می‌توانند پراکنش و ترکیب گونه‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار دهند (۱۹). ارتباط خاک و پوشش گیاهی و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مرتبط با آنها برای درک نقش عوامل زنده و غیرزنده در کارکرد اکوسیستم‌های تخریب شده مهم است (۳۸). روش‌های مختلفی برای مدلسازی ارتباطات بین گونه و عوامل محیطی وجود دارد. این مدل‌ها سازگاری محیطی را برای گونه‌های گیاهی پیش‌بینی می‌کنند (۳۴). بنابراین با استفاده از مدل، می‌توان مناسب‌ترین گونه برای رویشگاه خاص پیش‌بینی شود. در میان انواع مدل‌ها، مدل HOF (Huisman-Olff-Fresco) نسبت به دیگر روش‌ها عملکرد بهتری دارد چون تنوعی از پاسخ خطی و غیر خطی متقارن و نامتقارن را می‌سنجد (۲۸). با استفاده از این مدل، تفسیر بوم شناختی بهتری برای مدل‌های پاسخ گونه‌ای فراهم است (۵، ۱۶ و ۲۷).

زغال‌سنگ یک سوخت فسیلی مهم بوده که در تولید انرژی در سراسر جهان دخیل است. در اکوسیستم‌هایی که استخراج معادن زغال‌سنگ صورت می‌گیرد، پوشش گیاهی و خاک دچار آشفتگی می‌شوند (۸). یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که باید در تجزیه و تحلیل و ارزیابی محیط‌های معدنی مورد توجه قرار گیرد، پوشش گیاهی است (۱۸). در مقیاس‌های مختلف، پوشش گیاهی و عوامل خاکی رابطه تنگاتنگی باهم دارند. درک اثر متغیرهای خاک بر گونه‌های گیاهی برای احیای اکولوژیکی مناطق معدن‌کاری شده زغال‌سنگ اهمیت دارد (۲۴). ویژگی‌های سخت موجود در باطله‌ها موجب حضور برخی از گونه‌های گیاهی خاص شده که سازگاری بالایی دارند (۲۳). حضور این گیاهان نشان می‌دهد که باطله‌های زغال‌سنگ عمدتاً به وسیله گونه‌هایی با خصوصیات اکولوژیکی ویژه که قادر به تحمل شرایط نامطلوب بستر بوده اشغال می‌شوند.

در احیای باطله‌های معدنی، گونه‌های بومی اهمیت زیادی داشته و درنتیجه شناخت ویژگی‌های بوم‌شناسی این گیاهان در پاسخ به شرایط محیطی نامناسب در این مناطق ضروری است. برحسب این ویژگی‌ها، می‌توان گونه یا گونه‌هایی را برای استقرار در روی باطله‌ها کاندید کرد. مطالعات قبلی در کمربند زغال‌خیز البرز مرکزی در استان مازندران نشان داده که پتانسیلی از وقوع توالی ثانویه در پوشش گیاهی روی باطله‌های زغال‌سنگ وجود دارد (۲۶). در این تحقیق پاسخ چند گیاه علفی یکساله و چندساله مستقر شده در باطله‌های زغال‌سنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. تعیین دامنه تحمل هر گونه به برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین موجود در باطله و مقایسه گونه‌ها با یکدیگر از اهداف این تحقیق بوده است. اطلاعات به‌دست آمده می‌تواند توانایی و میزان سازگاری گونه‌های مورد مطالعه را نسبت به وضعیت موجود در باطله‌ها در اختیار قرار داده و نقش مهمی را در تصمیمات مدیریتی و بوم‌شناختی مربوط به احیای پوشش گیاهی مناطق معدنی داشته باشد.

مواد و روش‌ها

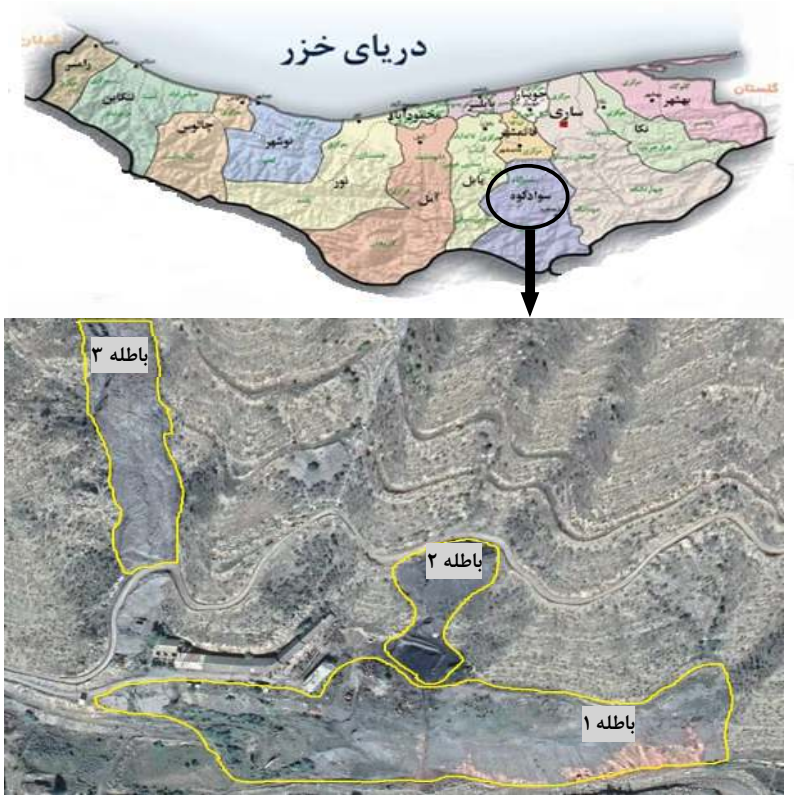
منطقه مورد مطالعه

انباشت متعددی از باطله زغال‌سنگ در محدوده معادن کارمزد شهرستان سوادکوه در استان مازندران وجود دارد. این معادن در ۴۸ کیلومتری جنوب شهرستان قائم‌شهر و در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر آلاشت (طول جغرافیایی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

″۳۸ ′۵۷ °۵۲ تا ″۱۲ ′۵۸ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۷ ′۰۵ °۳۶ تا ″۵۳ ′۰۶ °۳۶ شمالی) قرار داشته (شکل ۱) و از بزرگترین و قدیمی‌ترین نواحی تولیدکننده زغال‌سنگ در حوضه زغالی البرز مرکزی هستند (۲۵). شروع عملیات استخراج زغال‌سنگ در این منطقه مربوط به سال ۱۳۵۰ و نحوه استخراج به صورت زیرزمینی بوده است. منطقه دارای شرایط کوهستانی بوده و حداقل و حداکثر ارتفاع تونل‌های استخراج زغال ۷۰۰ تا ۹۰۰ متر از سطح دریا است. بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی آلاشت، میانگین بارش سالانه آن ۵۳۶/۵ میلی‌متر است. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه، اقلیم منطقه مرطوب سرد است (۲۵). از نظر زمین‌شناسی این مناطق در سری میانی کارمزد با سن لیاس قرار دارند که شامل تناوبی از ماسه‌سنگ‌های درشت دانه، کنگلومرای ریزدانه، ماسه‌سنگ‌های ریزدانه خاکستری همراه با لایه‌های شیل و آرژیلیت است (۱۴).



شکل ۱: محدوده و موقعیت جغرافیایی باطله‌های معدنی زغال‌سنگ معدن کارمزد سوادکوه، استان مازندران (۲۵)

نمونه‌گیری پوشش گیاهی و خاک

باطله‌هایی که در ارتفاع از سطح دریا و جهت جغرافیایی مشابه قرار داشته و سه دهه از متروک ماندن آنها گذشته بوده انتخاب شدند (شکل ۱). باطله ۱ از انباشت‌های مهم باطله در منطقه بوده که در طول زمان باطله‌ها روی هم انباشت و تسطیح شده و دو باطله دیگر در خروجی دهانه تونل‌ها قرار داشته و عملیات مکانیکی خاصی روی آنها انجام نشده است (شکل ۱). نمونه‌گیری پوشش گیاهی در ۱۳۸ پلات‌های یک مترمربعی و به صورت تصادفی-منظم در امتداد ترانسکت انجام شد. طول و تعداد ترانسکت با توجه به مساحت باطله‌ها متغیر بوده است. در باطله بزرگتر به مساحت حدود ۵ هکتار تعداد چهار ترانسکت ۱۰۰ متری و در باطله‌های کوچکتر به مساحت ۳ و ۰/۵ هکتار تعداد دو ترانسکت ۱۰۰ و ۲۰ متری در نظر گرفته شد. در هر پلات درصد تاج پوشش هر گونه گیاهی تخمین زده شد. از بین گیاهان مستقر شده بر روی باطله‌ها گونه‌های *Glaucium*

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

Hordeum vulgare، *Melica persica*، *fimbrilligerum* *Polygonum aviculare* و *Silybum marianum* که بیشترین میزان حضور در پلات‌ها را داشتند، انتخاب شدند چون گیاهان بومی که توانایی رشد و استقرار طبیعی در باطله‌های معدنی را دارند در احیاء پوشش گیاهی در اولویت هستند (۳۱ و ۴۱). نمونه‌گیری خاک با کمک آگر در مرکز هر پلات و از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. نمونه ها به آزمایشگاه منتقل شده و پس از هوا خشک شدن برای اندازه‌گیری‌های بعدی آماده شدند. برای بررسی بافت از روش هیدرومتری استفاده شد. اسیدیته (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به‌ترتیب با دستگاه pH متر و هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شدند. کربن آلی (OC) با روش والکی بلاک، نیتروژن کل با روش کجلدال و فسفر قابل جذب به روش اولسن (اسپکتوفتومتر) اندازه‌گیری شدند (۲۶). فلزات سنگین (مس، روی، نیکل و سرب) با روش پرتو ایکس فلوئورسانس (XRF) فیلیپس مدل PW 1480 در شرکت کانساران بینالود تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از داده‌های درصد تاج پوشش گونه‌ها و متغیرهای خاک برای تعیین شکل منحنی پاسخ گونه‌های گیاهی استفاده شد. به منظور برازش هر یک از مدل‌های HOF، تعیین مقدار بهینه و دامنه بوم‌شناختی گونه‌ها از بسته eHOF نسخه 1.8 در نرم افزار R نسخه 3.5.3 استفاده شد. مبنای انتخاب بهترین مدل، شاخص آکائیک (Akaike information criterion =AIC) بوده است. بهترین عملکرد گیاه در مقدار بهینه است یعنی مقداری از گرادیان که یک گونه گیاهی در آن بیشترین احتمال حضور و فراوانی را داشته باشد. مدل‌های هفتگانه HOF شامل پاسخ ثابت (مدل I)، یکنواخت (مدل II)، مسطح (مدل III)، تک‌نمایی متقارن و نامتقارن (مدل IV و V) و دونمایی متقارن و نامتقارن (مدل VI و VII) است (۲۰). پاسخ گونه‌ها به هر خصوصیت خاک جداگانه رسم شده تا دامنه بوم شناختی و همپوشانی پاسخ گونه‌ها قابل مقایسه باشد.

نتایج

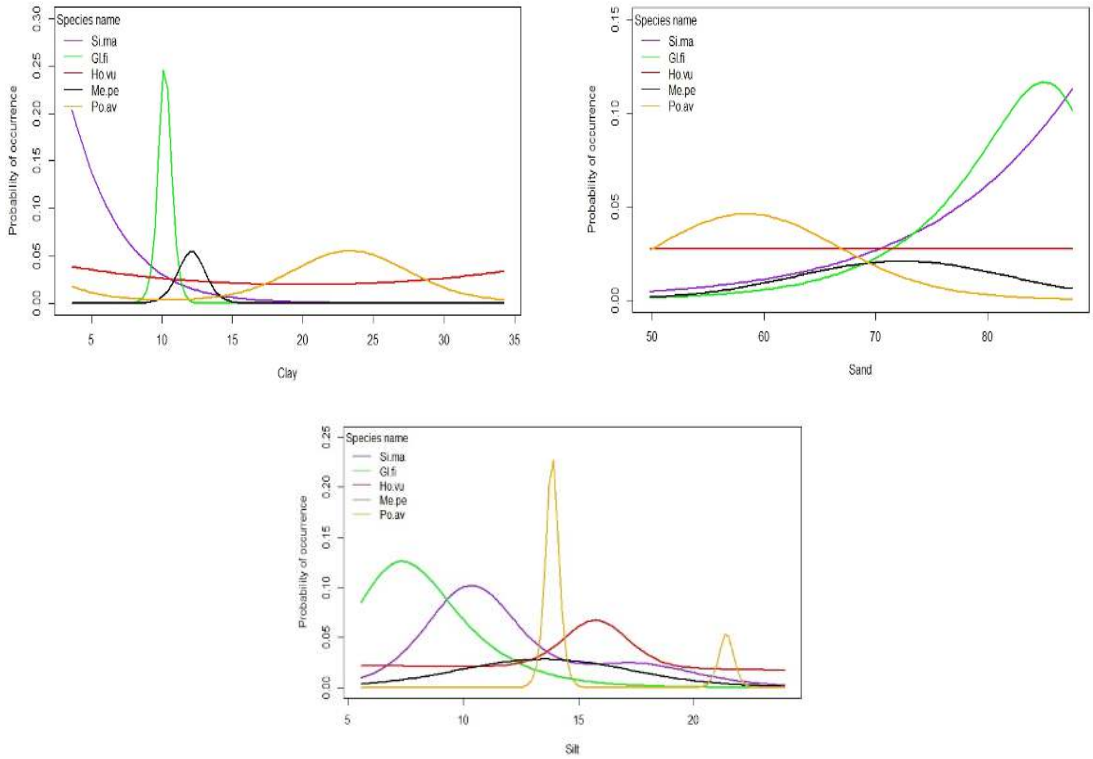
نتایج نشان داد که مدل مناسب برای گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *M. persica* نسبت به درصد رس، مدل IV با مقدار بهینه به‌ترتیب ۱۰/۱۷ و ۱۲/۱۰ درصد و برای گونه *S. marianum* مدل II با مقدار بهینه ۳/۶۲ درصد است (شکل ۲). در حالی که برازش منحنی پاسخ گونه های *P. aviculare* و *H. vulgare* نسبت به این متغیر حاکی از مناسب بودن مدل VII با دو مقدار بهینه به‌ترتیب ۲۲/۶۱، ۳/۶۲ و ۲۹/۵۴، ۳/۶۲ درصد برای آنها است. همه گونه‌ها نسبت به درصد رس دامنه اکولوژیک برابر با مقادیر بهینه دارند (جدول ۱).

با توجه به مقادیر AIC، گونه‌های *M. persica* و *P. aviculare* در پاسخ به درصد شن رفتار تک‌نمایی با مقدار بهینه به‌ترتیب ۷۲/۳۳ و ۵۸/۰۶ درصد را نشان دادند (شکل ۲). بهترین مدل برای گونه *G. fimbrilligerum* مدل VII با دو مقدار بهینه ۸۳/۷۵، ۴۹/۷۶ می‌باشد. گونه *S. marianum* رفتار یکنواخت افزایشی با مقدار بهینه ۸۷/۵۸ درصد را نشان داد. در پراکنش گونه *H. vulgare* متغیر شن بی تأثیر بوده و این گونه از مدل I پیروی نمود. پهنای آشیان همه گونه‌ها مشابه با مقدار بهینه آنها است (جدول ۱).

برازش منحنی پاسخ گونه‌های *P. aviculare* و *S. marianum* نسبت به درصد سیلت نشان داد که مدل VII به عنوان بهترین مدل است. این گونه‌ها نسبت به این متغیر رفتار دونمایی با دو مقدار بهینه شامل به‌ترتیب ۲۱/۳۹، ۱۳/۸۶ و ۲۳/۹۴، ۱۰/۳۶ درصد دارند (شکل ۲). گونه‌های *G. fimbrilligerum*، *H. vulgare* و *M. persica* در پاسخ به درصد سیلت رفتار تک‌نمایی با مقدار بهینه به‌ترتیب ۷/۳۷، ۱۵/۵۲ و ۱۳/۵۱ درصد را نشان دادند. برای گونه *P. aviculare* دامنه اکولوژیک برابر ۲۳/۳۹، ۱۳/۸۶ درصد بوده و برای سایر گونه‌ها همان مقدار بهینه آنها است (جدول ۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]



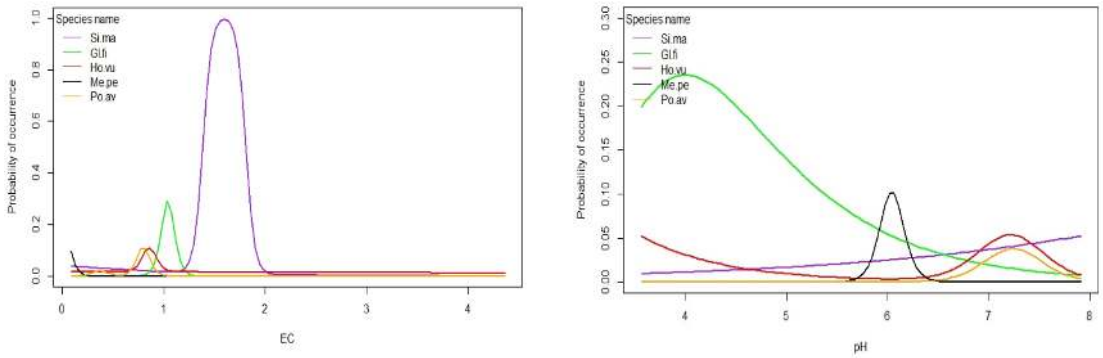
شکل ۲: پاسخ پنج گیاه علفی به بافت خاک در باطله زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران. گونه‌ها شامل Gl fi (*Glaucium fimbrilligerum*)، Me pe (*Melica persica*)، Ho vu (*Hordeum vulgare*)، Po av (*Polygonum aviculare*)، و Si ma (*Silybum marianum*) است.

مدل مناسب برای برازش منحنی پاسخ گونه *G. fimbrilligerum* نسبت به هدایت الکتریکی مدل IV و مقدار بهینه برای این گونه برابر با ۱/۰۴ دسی زیمنس بر متر است (جدول ۱). رفتار گونه‌های *S. marianum*، *P. aviculare* و *H. vulgare* نسبت به این متغیر به صورت دونمایی بوده و مقدار بهینه آنها به‌ترتیب ۱/۵۹، ۰/۰۸ و ۰/۷۹، ۰/۳۶ و ۰/۸۶، ۰/۰۸ دسی زیمنس بر متر است (شکل ۳). گونه *M. persica* در پاسخ به هدایت الکتریکی رفتار یکنواخت (مدل II) با مقدار بهینه ۰/۰۸ دسی زیمنس بر متر را نشان داد. پهنای آشیان همه گونه‌ها شبیه به مقدار بهینه است.

رفتار گونه‌های *P. aviculare* و *M. persica* نسبت به اسیدیته به صورت تک نمایی (مدل IV) و دارای مقدار بهینه ۷/۲۶ و ۶/۰۴ هستند (شکل ۳). گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* با دو مقدار بهینه به‌ترتیب ۷/۹۰، ۴/۲۰ و ۷/۲۳، ۳/۵۶ رفتار دونمایی دارند. مدل مناسب برای برازش گونه *S. marianum* مدل II با مقدار بهینه ۷/۹۰ می‌باشد. دامنه اکولوژیک مربوط به اسیدیته برای همه گونه‌ها برابر با مقدار بهینه آنها است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

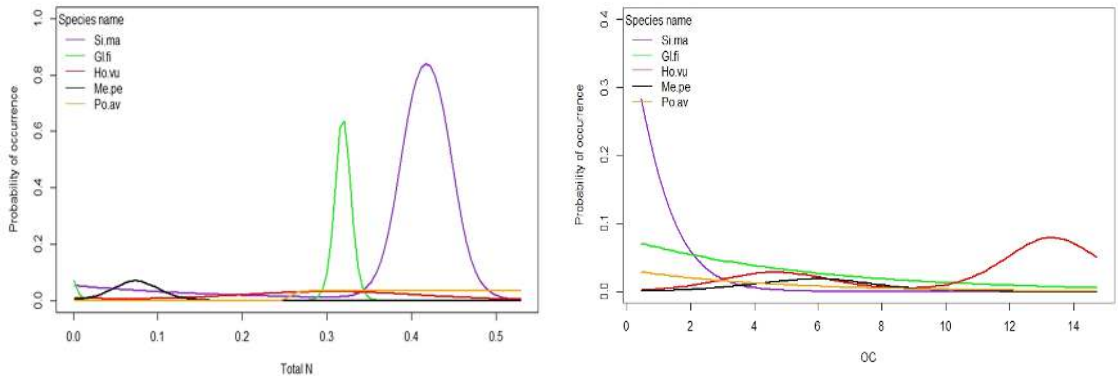


شکل ۳: پاسخ پنج گیاه علفی به اسیدیته و هدایت الکتریکی در باطله زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران

رفتار یکنواخت (مدل II) نسبت به درصد کربن آلی برای گونه‌های *G. fimbrilligerum*، *S. marianum* و *P. aviculare* با مقدار بهینه ۰/۴۵درصد مشاهده شد (شکل ۴). مدل مناسب برای گونه *H. vulgare* مدل VII با دو مقدار بهینه ۱۳/۳۲، ۴/۶۴ درصد و برای گونه *M. persica* مدل V با مقدار بهینه ۵/۹۸ درصد نسبت به کربن آلی است (شکل ۴، جدول ۱). همه گونه‌ها از پهنای آشیان برابر با مقدار بهینه خود برخوردار هستند.

گونه‌های *S. marianum*، *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* رفتار دونمایی را نسبت به درصد نیتروژن نشان دادند (شکل ۴). برای هر یک از گونه‌ها دو مقدار بهینه به‌ترتیب ۰/۴۲، ۰/۰۰۱، ۰/۳۲، ۰/۰۰۱و ۰/۳۰، ۰/۰۰۱ درصد وجود دارد (جدول ۱). گونه *P. aviculare* با مقدار بهینه ۰/۵۲۹، ۰/۲۷ درصد رفتار آستانه‌ای (مدل III) نسبت به این متغیر داشت. مدل مناسب برای گونه *M. persica* مدل IV با مقدار بهینه ۰/۰۷ درصد بود. دامنه اکولوژیک گونه *G. fimbrilligerum* برابر با ۰/۵۳-۰/۰۰۱ درصد و گونه *P. aviculare* برابر با ۰/۵۲۹-۰/۴۴ درصد بوده و برای سایر گونه‌ها مشابه با مقدار بهینه آنها است (جدول ۱).

در پاسخ به فسفر قابل جذب گونه‌های *S. marianum*، *G. fimbrilligerum*، *P. aviculare* و *H. vulgare* به صورت دونمایی (مدل VII) پاسخ دادند (شکل ۴). برای این گونه‌ها دو مقدار بهینه به‌ترتیب ۱۹/۲۱، ۲/۶۹، ۱۸/۶۱، ۵/۴۱، ۲۵/۲، ۰/۰۰۰۱ و ۲۵/۲، ۱۲/۰۰ پی‌پی‌ام وجود دارد. گونه *M. persica* با مقدار بهینه ۴/۰۲ پی‌پی‌ام رفتار تک‌نمایی نشان داد. گونه *G. fimbrilligerum* دارای دامنه اکولوژیک برابر با ۲۵/۲-۵/۴۱ پی‌پی‌ام و گونه *P. aviculare* برابر با ۰/۲-۲۵ پی‌پی‌ام بوده و سایر گونه‌ها دامنه اکولوژیک مشابه با مقدار بهینه دارند (جدول ۱).



شکل ۴: پاسخ پنج گیاه علفی به کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در باطله زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

پاسخ گونه‌های *S. marianum*، *P. aviculare* و *M. persica* به میزان مس به صورت تک‌نمایی (مدل IV) است (شکل ۵). مقادیر بهینه برای این گونه‌ها به‌ترتیب ۲۵۵/۲۴، ۷۹/۱۱ و ۱۳۴/۸۵ پی‌پی‌ام است. مدل مناسب برای گونه *G. fimbrilligerum* نسبت به این متغیر مدل VI با دو مقدار بهینه ۹۸/۶۳، ۶۵ پی‌پی‌ام بوده و گونه *H. vulgare* با مقدار بهینه ۶۵ پی‌پی‌ام رفتار یکنواخت را نشان داد. دامنه اکولوژیک گونه *G. fimbrilligerum* و *P. aviculare* نسبت به مس به‌ترتیب ۱۶۱/۵۳-۶۵ و ۵۸۱/۹۹-۶۵ پی‌پی‌ام بوده و برای سایر گونه‌ها برابر با مقدار بهینه آنها است.

برای گونه‌های *S. marianum*، *G. fimbrilligerum* و *M. persica* مدل IV برازش بهتری نسبت به میزان روی داشت (شکل ۵). رفتار این گونه‌ها به صورت تک‌نمایی بوده و مقدار بهینه آنها به‌ترتیب ۱۸۰/۵۹، ۱۴۲/۸۸ و ۱۳۲/۶۰ پی‌پی‌ام است (جدول ۱). گونه‌های *P. aviculare* و *H. vulgare* پاسخ دونمایی را با دو مقدار بهینه به‌ترتیب ۱۸۵/۸۸، ۱۲۰ و ۱۷۱/۰۱، ۱۰۹ پی‌پی‌ام نسبت به این متغیر نشان دادند. گونه *P. aviculare* نسبت به روی دارای دامنه اکولوژیک برابر با ۲۰۱-۱۲۰ پی‌پی‌ام بوده و گونه‌های دیگر پهنای آشیان مشابه با مقادیر بهینه خود دارند.

در پاسخ به سرب، گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* به‌ترتیب رفتار دونمایی (مدل VII) و آستانه‌ای (مدل III) را نشان دادند (شکل ۵). مقادیر بهینه برای این گونه‌ها به‌ترتیب شامل ۴۷/۱۷، ۲۸/۴۰ و ۶۹، ۳۳/۷۲ پی‌پی‌ام است. برای گونه‌های *S. marianum*، *P. aviculare* و *M. persica* مدل IV بهترین مدل با مقادیر بهینه ۵۳/۷۴، ۴۱/۱۹ و ۳۸/۵۲ پی‌پی‌ام بوده است. از بین گونه‌ها تنها دامنه اکولوژیک گونه *H. vulgare* برابر با ۶۹-۵۲/۶۲ پی‌پی‌ام و متفاوت از مقدار بهینه بود (جدول ۱).

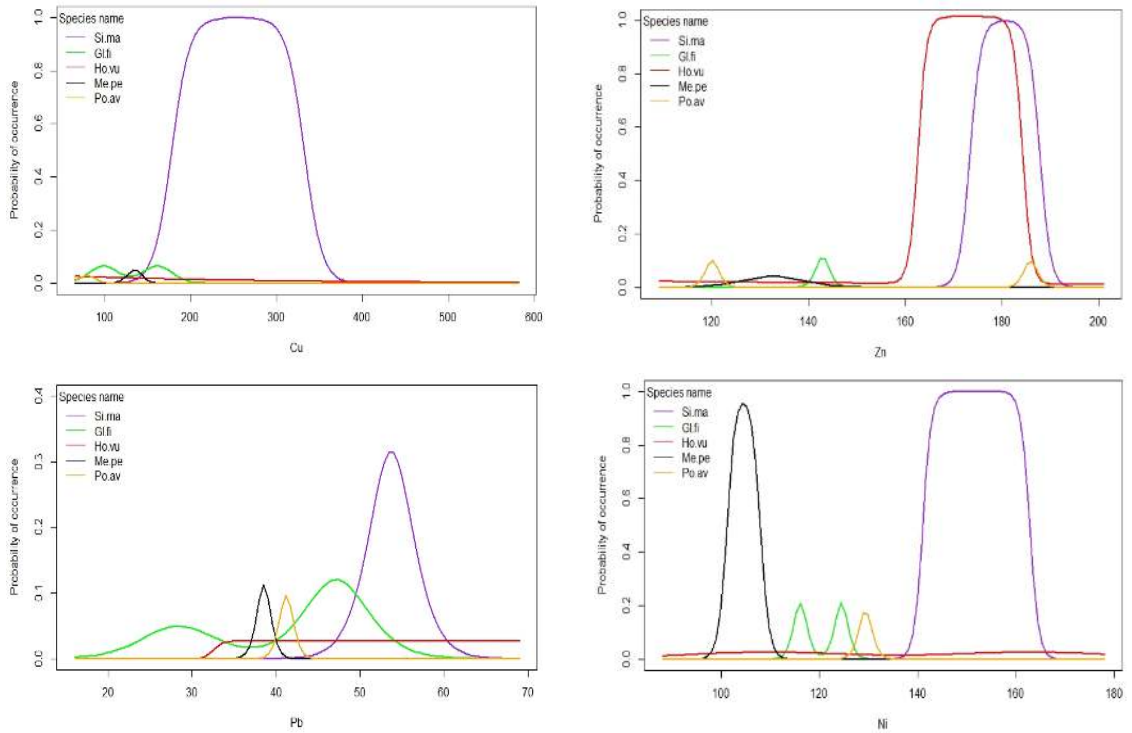
برازش مدل HOF نسبت به میزان نیکل خاک نشان داد که پاسخ گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* به صورت دونمایی و با دو مقدار بهینه به‌ترتیب شامل ۱۲۴/۴۲، ۱۱۶/۰۹ و ۱۶۲/۹۴، ۱۰۹/۴۳ پی‌پی‌ام است (شکل ۵). مدل مناسب برای گونه‌های *S. marianum*، *P. aviculare* و *M. persica* با مقادیر بهینه ۱۵۱/۸۷، ۱۲۹/۳۱ و ۱۰۴/۵۵ پی‌پی‌ام، مدل IV بوده و این گونه‌ها رفتار تک‌نمایی را نشان دادند. دامنه اکولوژیک همه گونه‌ها مشابه با مقادیر بهینه آنها است.

جدول ۱: مقدار دامنه خصوصیات باطله و مدل مناسب و مقدار بهینه برای پنج گیاه علفی در باطله زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران. مدل پاسخ گونه‌ها شامل ثابت (مدل I)، یکنواخت (مدل II)، مسطح (مدل III)، تک‌نمایی متقارن و نامتقارن (مدل IV و V) و دونمایی متقارن و نامتقارن (مدل VI و VII) است

خصوصیات باطله	دامنه		مقدار بهینه				
	کمترین	بیشترین	*S. marianum*	*G. fimbriligerum*	*P. aviculare*	*H. vulgare*	*M. persica*
رس (درصد)	۳/۶۲	۳۴/۲۴	۳/۶۲ (II)	۱۰/۱۷ (IV)	۳/۶۲، ۲۲/۶۱ (VII)	۳/۶۲، ۲۹/۵۴ (VII)	۱۲/۱۰ (IV)
سیلت (درصد)	۵/۵۶	۲۳/۹۴	۱۰/۳۶، ۲۳/۹۴ (VII)	۷/۳۷ (V)	۱۳/۸۶، ۲۱/۳۹ (VII)	۱۵/۵۲ (V)	۱۳/۵۱ (IV)
شن (درصد)	۴۹/۷۶	۸۷/۵۸	۸۷/۵۸ (II)	۴۹/۷۶، ۸۳/۷۵ (VII)	۵۸/۰۶ (V)	-(I)	۷۲/۳۳ (IV)
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۰۸	۴/۳۶	۰/۰۸، ۱/۵۹ (VII)	۱/۰۴ (IV)	۰/۳۶، ۰/۷۹ (VII)	۰/۰۸، ۰/۸۶ (VII)	۰/۰۸ (II)
اسیدیته	۳/۵۶	۷/۹۱	۷/۹۰ (II)	۴/۲۰، ۷/۹۰ (VI)	۷/۲۶ (IV)	۳/۵۶، ۷/۲۳ (VII)	۶/۰۴ (IV)
کربن آلی (درصد)	۰/۴۵	۱۴/۷۲	۰/۴۵ (II)	۰/۴۵ (II)	۰/۴۵ (II)	۴/۶۴، ۱۳/۳۲ (VII)	۵/۹۸ (V)
ازت کل (درصد)	۰/۰۰۱	۰/۵۳	۰/۰۰۱، ۰/۴۲ (VII)	۰/۰۰۱، ۰/۳۲ (VII)	۰/۵۳، ۰/۲۷ (III)	۰/۰۰۱، ۰/۳۰ (VII)	۰/۰۷ (IV)
فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	۰	۲۵/۲	۱۹/۲۱، ۲/۶۹ (VII)	۱۸/۶۱، ۵/۴۱ (VII)	۲۵/۲، ۰/۰۰۰۱ (VII)	۱۲، ۲۵/۲ (VII)	۴/۰۲ (IV)
مس (پی‌پی‌ام)	۶۵	۵۸۲	۲۵۵/۲۴ (IV)	۹۸/۶۳، ۶۵ (VI)	۷۹/۱۱ (IV)	۶۵ (II)	۱۳۴/۸۵ (IV)
روی (پی‌پی‌ام)	۱۰۹	۲۰۱	۱۸۰/۵۹ (IV)	۱۴۲/۸۸ (IV)	۱۸۵/۸۸، ۱۲۰ (VI)	۱۷۱/۰۱، ۱۰۹ (VII)	۱۳۲/۶۰ (IV)
سرب (پی‌پی‌ام)	۱۶	۶۹	۵۳/۷۴ (IV)	۴۷/۱۷، ۲۸/۴۰ (VII)	۴۱/۱۹ (IV)	۶۹، ۳۳/۷۲ (III)	۳۸/۵۲ (IV)
نیکل (پی‌پی‌ام)	۸۸	۱۷۸	۱۵۱/۸۷ (IV)	۱۲۴/۴۲، ۱۱۶/۰۹ (VI)	۱۲۹/۳۱ (IV)	۱۶۲/۹۴، ۱۰۹/۴۳ (VI)	۱۰۴/۵۵ (IV)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]



شکل ۵: پاسخ پنج گیاه علفی به فلزات سنگین در باطله زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران

بحث و نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی طبیعی در بسترهای معدنی و باطله‌ها فرصت با ارزشی را برای شناخت گیاهانی که قادر به رشد در چنین محیط‌های پرتنشی هستند فراهم می‌کند (۳۳). در این مطالعه پاسخ چند گونه علفی در باطله‌های معدنی زغال‌سنگ به برخی عوامل خاک مورد بررسی قرار گرفت. *S. marianum* گیاهی یک یا دوساله است که غالبا در زیستگاه‌های دستخوش تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی ظاهر می‌شود (۱۱). در مناطق با محدوده ارتفاعی ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ متر، جمعیت‌های این گونه رویش دارند (۲۸). بذرهای این گیاه به آسانی به وسیله باد منتقل شده و جوانه‌زنی خوبی دارند. *P. aviculare* گیاهی یکساله که سازگار با رویشگاه‌های متنوع است (۳۲). *H. vulgare* گیاهی یکساله است و از خصوصیات فیزیولوژیکی ویژه‌ای نسبت به تنش‌ها برخوردار است (۳۰). *M. persica* گیاهی چندساله و از خانواده گندمیان است. دارای دامنه سازگاری خوب و مناسب برای حفاظت خاک است. این گیاه توانایی رشد تا ارتفاع ۲۹۰۰ متر و شیب ۹۰ درصد را دارد (۴۴).

گونه‌های فوق همراه با گونه *G. fimbrilligerum* بیشترین حضور را در باطله‌های معدنی مورد مطالعه داشتند.

در روابط خاک و پوشش گیاهی خصوصیات ذرات خاک از شاخص های اصلی هستند. گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در گرادیان بافت خاک همپوشانی آشیان اکولوژیک متفاوتی را نشان دادند. گیاه *S. marianum* با بهینه ۳/۶۲ درصد و وفور ۱۴/۵ درصد نسبت به مقادیر پایین رس سازگاری بهتری نشان داد. همچنین گونه‌های *P. aviculare* و *H. vulgare* دامنه اکولوژیک وسیعی نسبت به این متغیر داشته و در مقادیر حداقل و حداکثر رس دارای مقدار بهینه بودند. نتایج سالینیترو و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که گونه *P. aviculare* در انواعی از خاک‌ها از نظر بافت رشد می‌کند. آنالیز فیزیکی باطله حاکی از وجود میزان بالاتر شن در باطله بوده (۲۶) که در مطالعه بیگ (۱۹۹۲) نیز برای باطله زغال‌سنگ گزارش شده است. گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *S. marianum* با حد بهینه ۸۳/۷۵ و ۸۷/۵۸ درصد، پاسخ مثبت و روند صعودی را نسبت به افزایش درصد شن باطله نشان داده که حاکی از شن‌دوست

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

بودن آنها است. گونه *H. vulgare* نسبت به شن از مدل I پیروی کرده و پاسخ مشخصی به این متغیر نداشته است. سیستم ریشه‌ای قوی گونه *S. marianum* موجب می‌شود تا در بسترهایی با بافت سبک و خاک شنی به راحتی رشد کند (۲). در بررسی اسکات (۱۹۶۳) روی یک گونه از *Glaucium* مشخص شد که منحصر به زیستگاه‌های با زهکش خوب مثل شن و ماسه و همچنین مناطق پوشیده از باطله است. ظریف کتابی و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند که گونه *M. persica* خاک‌های با بافت سبک را ترجیح می‌دهد که در این مطالعه هم این طور بوده است. گونه *G. fimbrilligerum* در پاسخ به مقادیر پایین سیلت بردباری بیشتری داشته و گونه *S. marianum* با دو مقدار بهینه دارای آشیان وسیعی نسبت به مقادیر کمتر و حداکثر سیلت بود.

در مورد اسیدیته باطله، گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* با دو مقدار بهینه آشیان اکولوژیک وسیعی نسبت به این متغیر داشتند. به طوری که در اسیدیته کمتر از ۶ آشیان این گونه‌ها از سایر گونه‌ها مجزا بوده و به‌ترتیب با مقدار بهینه ۴/۲۰ و ۳/۵۶ تحمل بالایی به شرایط اسیدی باطله داشتند. همسو با این نتایج، وو و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که گونه *H. vulgare* به شرایط اسیدی خاک مقاوم است. سه گونه *S. marianum*، *P. aviculare* و *M. persica* در اسیدیته بین ۶ تا ۸ دارای بهینه بودند. اگرچه مقدار بهینه اسیدیته برای گونه *P. aviculare* برابر با ۷/۲۶ بوده اما طبق نظر سالینیترو و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر متفاوت اسیدیته برای آن قابل تحمل است. مطابق با نتایج ما، یافته‌های زارع‌کیا و امیدبیگی (۲۰۰۶) نشان داد که گونه *S. marianum* خاک با اسیدیته خنثی را ترجیح می‌دهد اما بر اساس نظر آندرژوسکا و همکاران (۲۰۱۱) این گونه حد وسیعی از اسیدیته را تحمل کرده و رشد بهتری در خاک-های با اسیدیته ۷/۶-۵/۵ دارد. با توجه به اینکه باطله‌های زغال‌سنگ دارای شرایط متفاوتی از نظر اسیدیته بوده، عکس‌العمل گونه‌های مورد مطالعه نشان داد که آنها بیشتر شرایط اسیدی باطله را می‌پسندند.

مقادیر هدایت الکتریکی در باطله‌های مورد مطالعه از ۰/۰۸ تا ۴/۳۶ دسی زیمنس بر متر متغیر بود (۲۶). طبق گفته وانگ و همکاران (۲۰۰۷) هدایت الکتریکی در باطله‌های زغال‌سنگ نسبتا بالا می‌باشد که می‌تواند برای گونه‌های گیاهی اثرات منفی را به همراه داشته باشد. چن و همکاران (۲۰۰۹) نتایج مشابهی را در مورد شوری برای باطله‌های زغال‌سنگ معدن پانی گزارش کردند. در بررسی منحنی پاسخ گونه‌ها به هدایت الکتریکی، گونه *S. marianum* در مقدار بهینه ۱/۵۹ دسی زیمنس بر متر بیشترین بردباری را نسبت به سایر گونه‌ها داشت. نتایج قوامی و رامین (۲۰۰۸) نشان داد رشد این گونه در خاک‌های با هدایت الکتریکی تا ۱۵ دسی زیمنس بر متر می‌تواند از نظر حفاظت خاک مهم باشد. به طور کلی گونه‌های مورد مطالعه در مقادیر کم شوری باطله دارای بهینه بودند. هرچند مطالعات قبلی نشان داد که باطله جوان‌تر با شوری بیشتر توسط گونه کوخیا (*Kochia prostrate*) غالب شده بود.

در رابطه با نیتروژن خاک، به جز گونه *P. aviculare* سایر گونه‌ها در مقدار حداقل این متغیر دارای بهینه بودند که گیاه *M. persica* وفور بیشتری در مقادیر کم نیتروژن نشان داد. همچنین گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *S. marianum* وفور بالایی در مقادیر زیادتر درصد ازت خاک داشتند. به طوری که برای گونه *S. marianum* در مقدار بهینه ۰/۴۲ درصد نیتروژن وفور این گونه به بیشترین مقدار (۸۳/۹۶ درصد) رسید و گونه *G. fimbrilligerum* در مقدار بهینه ۰/۳۲ درصد نیتروژن دارای وفور ۶۵/۱۵ درصد بود. طبق نتایج بیوندی و همکاران (۲۰۱۲) گونه *S. marianum* جز گیاهان نیتروفیلوس (Nitrophilous) است. یعنی گیاهانی که قابلیت بالایی در جذب نیتروژن داشته و به عبارتی نیتروژن‌پسند هستند.

گونه‌های *G. fimbrilligerum*، *S. marianum* و *P. aviculare* در حداقل درصد کربن آلی دارای همپوشانی بودند. این موضوع نشان‌دهنده تحمل این گونه‌ها به کمبود کربن آلی بوده و گونه *S. marianum* با وفور ۲۸/۲۹ درصد بیشترین بردباری را به آن نشان داد. از طرفی گونه *H. vulgare* در بهینه ۱۳/۳۲ درصد کربن آلی پاسخ مثبتی را به مقادیر بالاتر این متغیر نشان داد. کارکانیس و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی‌های خود اظهار داشتند که گونه *S. marianum* دارای نیاز تغذیه‌ای کم تا متوسط بوده و خاک‌های با حاصلخیزی کم را تحمل می‌کند. در باطله‌های

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

معدنی فسفر قابل جذب نقش مهمی در رشد گیاهان دارد (۳۶). گونه *G. fimbrilligerum* بیشترین وفور را در مقادیر کم و زیاد فسفر نشان داد. گونه *P. aviculare* وسیع‌ترین دامنه اکولوژیک را داشت. به غیر از گونه *M. persica*، آشیان سایر گونه‌ها دارای هم‌پوشانی بود.

در بررسی پاسخ گونه‌ها نسبت به مس موجود در باطله‌ها، گونه *S. marianum* بیشترین درصد وفور را در مقدار بهینه ۲۵۵/۲۴ پی‌پی‌ام داشت، در حالی که سایر گونه‌ها دارای مقدار بهینه کمتر از ۲۰۰ پی‌پی‌ام بودند. اگرچه گونه *P. aviculare* از آشیان اکولوژیکی وسیعی برخوردار بوده اما نتایج نشان داد که گونه *S. marianum* تحمل بیشتری نسبت به مقادیر بالاتر مس دارد. گونه‌های *P. aviculare*، *S. marianum* و *H. vulgare* در مقادیر زیاد فلز روی دارای هم‌پوشانی بودند. نسبت به مقادیر نیکل، تنها گونه‌های *S. marianum* و *H. vulgare* در مقادیر بالاتر از ۱۳۰ پی‌پی‌ام دارای مقدار بهینه بوده و وفور زیادتر گونه *S. marianum* نشان‌دهنده سازگاری بیشتر آن است. با افزایش میزان سرب حضور گونه‌های *S. marianum*، *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* بیشتر مشاهده شد و بیشترین وفور (۳۱/۵۱ درصد) مربوط به گونه *S. marianum* در مقدار بهینه ۵۳/۷۴ پی‌پی‌ام بود. هم‌سو با این نتایج، مطالعات متعددی بردباری گونه‌های مذکور را نسبت به فلزات سنگین تأیید می‌کنند. در مطالعه برونتی و همکاران (۲۰۰۸)، زهرا و همکاران (۲۰۰۹) و انجلووا و همکاران (۲۰۱۸) گونه *S. marianum* مقاومت بالایی را نسبت به خاک‌های آلوده به مس، نیکل و سرب نشان داده و تجمع مقادیر بالای این فلزات در این گیاه حاکی از پتانسیل جذب و انتقال آنها به اندام‌های گیاهی است. در بررسی پرینو و همکاران (۲۰۱۴) *S. marianum* گونه‌ای غالب در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بوده و حضور خودبه‌خودی در این مناطق، نشان‌دهنده پتانسیل آن برای احیای اراضی تخریب شده است. نتایج برخی مطالعات نشان داد گونه *P. aviculare* یک شاخص بیولوژیکی مهم غلظت‌های فلزات سنگین است، زیرا تقریبا در همه زیستگاه‌های آلوده به عنوان گسترده‌ترین گیاه ظاهر می‌شود (۶ و ۲۹). کازووسکا و همکاران (۲۰۱۸) بر پاسخ مثبت این گونه نسبت به مس، سرب، نیکل در باطله‌های معدنی مس تأکید داشتند. ابس و کوشن (۱۹۹۸) پیشنهاد دادند که گونه *H. vulgare* می‌تواند برای گیاه‌پالایی عنصر روی گزینه مناسبی باشد. در مقایسه با باطله‌های سرب و روی، باطله‌های زغال‌سنگ شامل غلظت‌های بالای فلزات سنگین نیستند اما با توجه به شرایط نامطلوب باطله‌های زغال‌سنگ، تشکیل کلنی‌های گیاهی روی آنها فرآیندی پیچیده بوده که هنوز اطلاعات کمی در رابطه با آن موجود است (۳۷). تعیین شرایط بهینه رشد گیاه و مدل‌سازی می‌تواند در درک فرآیندهای بین عوامل محیطی و سازگاری‌های گیاهی نقش مهمی داشته باشد (۱۰). گونه‌های گیاهی متنوعی که به طور طبیعی مناطق معدنی را اشغال می‌کنند از منابع ژنتیکی مهم مقاوم به تنش بوده و می‌توانند با هدف استفاده در روش‌های اصلاحی مبتنی بر گیاهان در زیستگاه‌های مختلف معدنی مورد مطالعه و آزمایش قرار گیرند (۱۵). با توجه به نتایج، هر گونه گیاهی به سبب نیازهای بوم‌شناختی و دامنه بردباری نسبت به عوامل محیطی واکنش نشان داد (۵، ۱۶ و ۲۷). سه گونه پهن برگ علفی نسبت به دو گونه گندمیان از پاسخ‌های متنوع‌تری برخوردار بودند. گونه *S. marianum* نسبت به گونه‌های دیگر به حداقل میزان رس بردبارتر بوده و در مقدار بالاتر هدایت الکتریکی حضور بیشتری داشت. همچنین در حداکثر میزان شن به بهینه خود رسید و روند صعودی را نشان داد. گونه‌های *G. fimbrilligerum* و *H. vulgare* پهن‌ترین آشیان اکولوژیک را نسبت به اسیدیته داشته و همراه با گونه *M. persica* به شرایط اسیدی باطله مقاوم بودند. بر اساس یافته‌ها، گونه‌ها نیازهای غذایی بالایی نداشتند. از بین گونه‌های مورد بررسی، گونه *S. marianum* و *Melica persica* نسبت به همه فلزات سنگین رفتار تک‌نمایی متقارن داشته و با بیشترین درصد فراوانی در مقادیر بالاتر فلزات، بردباری زیادی را نشان داد. هر پنج گونه می‌توانند در احیاء پوشش گیاهی در باطله‌های زغال سنگ کاربرد داشته باشند و از بین آنها *S. marianum* و *Melica persica* می‌توانند در برنامه احیاء در اولویت قرار گیرند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

References

1. Alizadeh, A., J. Ghorbani, J. Motamedi, G. Vahabzadeh, A. van der Ent & M. Edraki. 2019. Vegetation communities' distribution in Sungun Copper mine area, Varzaqan, East Azerbaijan. Journal of Rangeland, 13(4): 658-672. (In Persian)
2. Andrzejewska, J., K. Sadowska & S. Mielcarek, 2011. Effect of sowing date and rate on the yield and flavonolignan content of the fruits of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) grown on light soil in a moderate climate. Industrial Crops and Products, 33(2): 462-468.
3. Angelova, V.R., M.N. Perifanova-Nemska, L.K. Krustev & G.P. Uzunova, 2018. Potential of *silybum marianum* L. for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. Ecology and Safety, 12: 267-282.
4. Baig, M.N., 1992. Natural revegetation of coal mine spoils in the Rocky Mountains of Alberta and its significance for species selection in land restoration. Mountain Research and Development, 12(3): 285-300.
5. Bazyar, F., GH.A. Dianati Tilaki & S.J. Alavi, 2018. Comparison of the ecological amplitude of *Trifolium repens* and *Phlomis cancellata* to some environmental variables using HOF function (Case study: Glandrood watershed, Mazandaran province). Journal of Rangeland, 12(2): 124-137. (In Persian)
6. Biondi, E., S. Casavecchia & S. Pesaresi, 2012. Nitrophilous and ruderal species as indicators of climate change. Case study from the Italian Adriatic coast. Plant Biosystems, 146(1), pp.134-142.
7. Brunetti, G., P. Soler-Rovira, K. Farrag & N. Senesi, 2009. Tolerance and accumulation of heavy metals by wild plant species grown in contaminated soils in Apulia region, Southern Italy. Plant and Soil, 318(1-2): 285-298.
8. Cairns, J., 1995. Restoration Ecology: Protecting our national and global life support systems. In: J. Cairns (eds), Rehabilitating Damaged Ecosystems, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 425 p.
9. Chen, J., P. Chen & W.Z. Liu, 2009. The occurrences and environmental effects of 12 kinds of trace elements in Huainan coal-mining area. Coal Geology and Exploration, 37: 47-52.
10. Conesa, H.M., B.H. Robinson, R. Schulin & B. Nowack, 2007. Growth of *Lygeum spartum* in acid mine tailings: response of plants developed from seedlings, rhizomes and at field conditions. Environmental Pollution, 145(3): 700-707.
11. Danin, A. & Y. Yom-Tov, 1990. Ant nests as primary habitats of *Silybum marianum* (Compositae). Plant Systematics and Evolution, 169(3-4): 209-217.
12. Ebbs, S.D. & L.V. Kochian, 1998. Phytoextraction of zinc by oat (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgare*), and Indian mustard (*Brassica juncea*). Environmental Science and Technology, 32(6): 802-806.
13. Ghavami, N. & A.A. Ramin, 2008. Grain yield and active substances of milk thistle as affected by soil salinity. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39 (17-18): 2608-2618.
14. Gholipour, M., A. Mazaheri, M. Raghimi & G. Shamanian, 2010. Study of geochemistry and mineralogy in Karmozd coal Basin Central Alborz, Mazandran Province. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 17(4): 655-670. (In Persian)
15. Ginocchio, R. & A.J.M. Baker, 2004. Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. Revista Chilena de Historia Natural, 77(1): 185-194.
16. Heydari, F., GH.A. Dianati Tilaki & S.J. Alavi, 2017. Investigating the response of *Bromus tomentellus* Boiss. to environmental gradinets using HOF function in Galandrood watershed rangelands. Journal of Rangeland, 11(1): 1-15. (In Persian)
17. Horackova, M., K. Rehounkova, & K. Prach, 2016. Are seed and dispersal characteristics of plants capable of predicting colonization of post-mining sites?. Environmental Science and Pollution Research, 23(14): 13617-13625.
18. Huang, Y., F. Tian, Y. Wang, M. Wang & Z. Hu, 2015. Effect of coal mining on vegetation disturbance and associated carbon loss. Environmental Earth Sciences, 73(5): 2329-2342.
19. Jafari, M., M.A. Zare Chahouki, A. Tavili, H. Azarnivand, Gh. Zahedi Amiri, 2004. Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). Journal of Arid Environments, 56(4): 627-641.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

20. Jansen, F. & J. Oksanen, 2013. How to model species responses along ecological gradients–Huisman–Olff–Fresco models revisited. Journal of Vegetation Science, 24(6): 1108-1117.
21. Karkanis, A., D. Bilalis & A. Efthimiadou, 2011. Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.), a medicinal weed. Industrial Crops and Products, 34(1): 825-830.
22. Kasowska, D., K. Gediga & Z. Spiak, 2018. Heavy metal and nutrient uptake in plants colonizing post-flotation copper tailings. Environmental Science and Pollution Research, 25: 824–835.
23. Kinzel, H. & I. Lechner, 1992. The specific mineral metabolism of selected plant species and its ecological implications. Botanica Acta, 105(5): 355-361.
24. Kirkpatrick, J.B., K. Green, K.L. Bridle & S.E. Venn, 2014. Patterns of variation in Australian alpine soils and their relationships to parent material, vegetation formation, climate and topography. Catena, 121: 186-194.
25. Lashgari, N., J. Ghorbani, S.H. Zali & GH. Vahabzadeh, 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. (In Persian)
26. Lashgari, N., J. Ghorbani, S.H. Zali & GH. Vahabzadeh, 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. (In Persian)
27. Mahmoodian Chooplu, A., GH.A. Dianati Tilaki & S.J. Alavi, 2017. Investigating *Aeluropus lagopoides* and *Salsola turcomanica* response curves to some environmental gradients using HOF function in Inchehboroun rangelands. Journal of Rangeland, 10(3): 268-281. (In Persian)
28. McKenna, D.J., K. Jones & K. Hughes, 2002. Botanical medicines: the desk reference for major herbal supplements. Haworth Press, Binghamton, New York, 1138 p.
29. Perrino, E.V., G. Brunetti & K. Farrag, 2014. Plant communities in multi-metal contaminated soils: a case study in the National Park of Alta Murgia (Apulia Region-Southern Italy). International Journal of Phytoremediation, 16(9): 871-888.
30. Rezvani, M., M.R. Ardakani, F. Rejali, F. Zaefarian, S. Teimouri, G. Noormohammadi & M. Miransari, 2015. Uptake of heavy metals by mycorrhizal barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Nutrition, 38(6): 904-919.
31. Roubickova, A., O. Mudrak & J. Frouz, 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.
32. Salinitro, M., A. Tassoni, S. Casolari, F. de Laurentiis, A. Zappi & D. Melucci, 2019. Heavy Metals Bioindication Potential of the Common Weeds *Senecio vulgaris* L., *Polygonum aviculare* L. and *Poa annua* L. Molecules, 24(15): 2813.
33. Salt, D.E., M. Blaylock, N.P. Kumar, V. Dushenkov, B.D. Ensley, I. Chet & I. Raskin, 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Biotechnology, 13(5): 468-474.
34. Santika, T. & M.F. Hutchinson, 2009. The effect of species response form on species distribution model prediction and inference. Ecological Modelling, 220(19): 2365-2379.
35. Scott, G.A.M., 1963. Biological Flora of the British Isles Glaucium flavum Crantz. Journal of Ecology. 51(3): 743–753.
36. Sheoran, V., A.S. Sheoran & P. Poonia, 2010. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. International Journal of Soil, Sediment and Water, 3(2): 1-21.
37. Tropek, R., O. Cizek, T. Kadlec & J. Klecka, 2017. Habitat use of Hipparchia semele (Lepidoptera) in its artificial stronghold: necessity of the resource-based habitat view in restoration of disturbed sites. Polish Journal of Ecology, 65(3): 385-399.
38. Upadhyay, N., S. Verma, A. Pratap Singh, S. Devi, K. Vishwakarma, N. Kumar, A. Pandey, K. Dubey, R. Mishra, D. Kumar Tripathi & R. Rani, 2016. Soil ecophysiological and microbiological indices of soil health: a study of coal mining site in Sonbhadra, Uttar Pradesh. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 16(3): 778-800.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]

39. Wang, J., H. Wang, Y. Cao, Z. Bai & Q. Qin, 2016. Effects of soil and topographic factors on vegetation restoration in opencast coal mine dumps located in a loess area. Scientific Reports, 6(1): 1-11.
40. Wang, X.C., T.J. Cai & J.F. Gu, 2007. Effects of soil properties on vegetation restoration in coal-gangue pile in Jixi area, China. Acta Ecologica Sinica, 27(9): 3744-3751.
41. Wozniak, G., A. Markowicz, S. Borymski, Z. Piotrowska-Seget, D. Chmura & L. Besenyei, 2015. The relationship between successional vascular plant assemblages and associated microbial communities on coal mine spoil heaps. Community Ecology, 16(1): 23-32.
42. Wu, D., L. Qiu, L. Xu, L. Ye, M. Chen, D. Sun, Z. Chen, H. Zhang, X. Jin, F. Dai & G. Zhang, 2011. Genetic variation of HvCBF genes and their association with salinity tolerance in Tibetan annual wild barley. PLoS one, 6(7): e22938.
43. Zarekia, S. & R. Omidbaigi, 2006. Autecology of milk thistle (Silybum marianum) in Behdasht Region of Noor. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22(2): 135-139.
44. Zarif Ketabi, H., A.A. Shahmoradi, M. Dashti, A. Paryab, Hosseini Bamrood GH & S. Zarekia, 2010. Autecology of Melica persica Kunth. in Khorasan Region. Iranian Journal of Range and Desert Research, 17(3): 421-430. (In Persian)
45. Zehra, S.S., M. Arshad, T. Mahmood & A. Waheed, 2009. Assessment of heavy metal accumulation and their translocation in plant species. African Journal of Biotechnology, 8(12): 2802-2810.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-02]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1401.16.1.14.6]