مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

مدل‌سازی پاسخ گیاهان به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله معدنی در معدن زغال سنگ کارمزد سوادکوه، استان مازندران

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

[۱] ایران، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتعداری

[۲] ایران، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری دانشکده منابع طبیعی، گروه آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴

چکیده

رویش گیاهان در محیط‌های معدنکاری تحت تاثیر محدودیت‌های ناشی از خصوصیات باطله‌ها است. شناسایی دامنه پاسخ گونه-های گیاهی به این خصوصیات در احیاء پوشش گیاهی این مناطق اهمیت دارد. در این تحقیق، دامنه بوم‌شناختی گونه‌های *Artemisia scoparia*، *Artemisia absinthium*، *Capparis spinosa* و *Bassia prostrata* به خصوصیات باطله مورد ارزیابی قرار گرفت. این گیاهان به طور طبیعی روی باطله‌های زغال‌سنگ در معادن کارمزد شهرستان سوادکوه در استان مازندران مستقر شده‌اند. داده‌های مربوط به فراوانی این گیاهان و خصوصیات باطله (تا عمق ۲۰ سانتی‌متر) از ۱۳۸ پلات جمع‌آوری شد. از مدل HOF برای تعیین پاسخ گیاهان استفاده شد. نتایج نشان داد برای بافت باطله گونه‌های *A. scoparia* و *A. absinthium* در مقادیر زیادتر رس و سیلت دارای بهینه بودند اما *C. spinosa* و *B. prostrata* پهنای آشیان بوم‌شناختی گسترده‌تری با افزایش میزان شن داشتند. همه گونه‌ها در مقادیر کم رطوبت موجود در باطله دارای بهینه بودند. در گرادیان هدایت الکتریکی گونه *B. prostrata* دارای آشیان اکولوژیک متمایزی از سایر گونه‌ها بوده است. گونه‌های *A. scoparia*، *C. spinosa* و *B. prostrata* در شرایط اسیدی باطله همپوشانی آشیان بوم‌شناختی بیشتری داشتند، هرچند *C. spinosa* بردبارترین گونه به این شرایط بود. گونه *A. scoparia* در دامنه گسترده‌ای از مقادیر ازت، فسفر و ماده آلی دارای بهینه بوده است. پاسخ مثبت به فلزات سنگین برای گونه *A. scoparia* مشاهده شد که برای مس و نیکل از مدل مسطح (III) و برای سرب و روی از مدل دو نمایی (VII) پیروی داشت. پاسخ گونه‌ها به خصوصیات باطله از مدل‌های مختلفی پیروی کرده که مدل تک نمایی IV و دو نمایی VII بیشتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: منحنی پاسخ، مدل HOF، آشیان بوم‌شناختی، باطله معدنی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۱۵۶۸۳۷۲ ، پست الکترونیکی: j.ghorbani@sanru.ac.ir

مقدمه

فرآیند صنعتی شدن، افزایش استخراج و بهره‌برداری مواد معدنی از ذخایر طبیعی موجود در سراسر دنیا را موجب شده است (۳۳). به جا ماندن حجم زیاد باطله‌های معدنی از مهمترین اثرات منفی معدنکاری بر محیط زیست است (۳۷). باطله‌های معدنی به دلیل طیف وسیعی از محدودیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مثل تغییر بافت، کمبود رطوبت، ظرفیت پایین تبادل کاتیونی، کمبود مواد غذایی و تجمع زیاد فلزات سنگین، مانع از جوانه‌زنی بذر، استقرار گیاهچه و رشد گیاهان می‌شوند (۴۲). تعدادی از گونه‌های گیاهی با دامنه بوم‌شناختی خاص، توانایی استقرار در محیط‌های معدنی را دارند (۱۹). این گیاهان پاسخ‌های متفاوتی را برای بقا در این مناطق نشان می‌دهند.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

برخی گیاهان با داشتن ویژگی‌هایی مثل قابلیت استقرار آسان، سیستم ریشه‌ای عمیق، ظرفیت تثبیت نیتروژن، تحمل شرایط فیزیکی و شیمیایی نامطلوب و توانایی رقابت خود را با محیط معدنی سازگار می‌کنند (۳۲). واکنش گیاهان به حضور فلزات در خاک را می‌توان به سه رفتار کاملا متفاوت نسبت داد. در گونه‌های شاخص (Indicator) تجمع فلز در گیاه با افزایش غلظت فلز در باطله یا خاک افزایش می‌یابد. گونه‌های گیاهی انباشت‌گر (Accumulator) از نظر فیزیولوژیکی قادر به جذب فعال فلزات هستند اما گونه‌های اجتناب‌کننده (Excluder) فرآیند جذب و انتقال فلزات را از ریشه به ساقه محدود می‌کنند (۴۱).

از نظر مدیریتی و بوم‌شناختی، مطالعه عکس‌العمل گونه-های گیاهی در طول گرادیان‌های محیطی حائز اهمیت است. بنابراین شناخت گیاهانی که به‌طور خودبه‌خودی در محیط‌های تخریب یافته معدنی حضور می‌یابند، در درک سازگاری آنها با چنین محیط‌هایی بسیار ارزشمند است (۱۶). آگاهی از این روابط می‌تواند برای انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب در احیای پوشش گیاهی در اراضی معدنی مورد استفاده قرار گیرد (۲۴). برای درک و پیش‌بینی ارتباطات بین گونه و عوامل محیطی آنها، مدل‌های ریاضی در بوم‌شناسی استفاده می‌شوند (۱۸). قابلیت پاسخگویی گونه‌ها به پارامترهای محیطی می‌تواند به وسیله مدل‌های آماری منطبق با حضور گونه‌ها در طول گرادیان‌های محیطی توصیف شود (۳۹). روش‌های مختلفی برای مدلسازی انواع مختلف منحنی‌های پاسخ گونه‌ای وجود دارد. مدل‌های HOF (Huisman-Olff-Fresco) امکان مجموعه محدودی از شکل‌های پاسخ شامل همنوا، ثابت، متقارن و منحنی‌های پاسخ با چولگی را فراهم می‌آورد (۲۷). با این مدل می‌توان به تفسیر بوم‌شناختی پاسخ گونه-های گیاهی پرداخت (۳۵).

زغال‌سنگ از منابع تجدیدناپذیر است که در بیشتر قاره‌های دنیا وجود دارد. آمریکا، روسیه، چین، هند و استرالیا بیشترین مقدار زغال‌سنگ را تولید می‌کنند (۲۰). هر چند که زغال‌سنگ نقش مهمی در اقتصاد انرژی دنیا دارد اما آلودگی فراوانی ایجاد می‌کند (۱۴). ایران از نظر میزان ذخایر زغال‌سنگ در رتبه ۳۰ جهان قرار دارد و رسوبات زغال‌دار ایران در دو حوضه زغالی البرز و ایران مرکزی گسترش دارند (۱۱). استخراج و آماده‌سازی زغال‌سنگ تولید حجم زیادی از باطله می‌کند که هم منبع مهم آلودگی است و هم از زیبایی طبیعت می‌کاهد (۴۲). بنابراین احیاء پوشش گیاهی در این محیط‌های معدنی اهمیت دارد. با توجه به شرایط آب و هوایی ممکن است بخشی از احیاء پوشش گیاهی به طور طبیعی صورت گیرد که شواهدی از این احیاء خودبخودی در باطله‌های زغال‌سنگ رها شده در استان مازندران مشاهده شد (۱، ۸ و ۱۳). برای استفاده از گیاهان بومی در احیاء باطله‌های معدنی نیاز است تا بوم-شناسی این گیاهان در پاسخ به شرایط سخت محیطی در این مناطق مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق به پاسخ چند گیاه بوته‌ای به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله زغال‌سنگ پرداخته شده است. این گیاهان در باطله‌های معدنی زغال‌سنگ در منطقه البرز مرکزی در استان مازندران استقرار و رشد خوبی داشته‌اند (۹). در این تحقیق هدف این است تا مدل پاسخ هر گونه به خصوصیات مختلف باطله و بهینه بوم‌شناختی آنها تعیین شود. همچنین برای هر خصوصیت باطله، رفتار گونه‌های گیاهی مورد مقایسه قرار گیرد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: معادن زغال‌سنگ منطقه کارمزد واقع در شهرستان سوادکوه استان مازندران از قدیمی‌ترین مناطق تولید کننده زغال‌سنگ در حوضه زغالی البرز مرکزی به حساب می‌آید. شروع فعالیت معادن زغال‌سنگ در این منطقه از سال ۱۳۵۰ و به صورت زیرزمینی بوده است. از نظر جغرافیایی، این معادن در ۴۸ کیلومتری جنوب

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

شهرستان قائم‌شهر و در فاصله‌ی ۲۵ کیلومتری آلاشت و بین طول‌های جغرافیایی ″۳۸ ′۵۷ °۵۲ تا ″۱۲ ′۵۸ °۵۲ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۵۷ ′۰۵ °۳۶ تا ″۵۳ ′۰۶ °۳۶ شمالی واقع شده است (۸). ارتفاع منطقه مورد مطالعه حدود ۷۰۰ تا ۹۰۰ متر از سطح دریا بوده و میانگین دمای سالانه در منطقه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۵۳۶/۵ میلی‌متر است (داده‌های ایستگاه هواشناسی آلاشت). گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ماه های مرداد و دی اختصاص داشته و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، منطقه در اقلیم مرطوب سرد قرار می‌گیرد (۸). 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 (۷).

روش نمونه‌گیری: تعداد سه انباشت باطله زغال‌سنگ به مساحت حدود ۶ هکتار که در مجاورت هم بوده و نسبت به یکدیگر اختلافی از نظر ارتفاع و جهت جغرافیایی نداشتند انتخاب شدند. سن رهاسازی این باطله‌ها در منطقه متفاوت است. برای نمونه‌گیری پوشش گیاهی با توجه به وسعت هر انباشت، ترانسکت‌هایی مستقر شدند. به این ترتیب که در باطله بزرگتر تعداد چهار و در باطله‌های کوچکتر تعداد دو ترانسکت در نظر گرفته شدند. بر روی هر ترانسکت با فاصله منظم پلات‌های ۱ متر مربعی مستقر شدند. در مجموع تعداد ۱۳۸ پلات در امتداد ترانسکت‌ها به صورت تصادفی – منظم برداشت شد. در هر یک از پلات‌ها حضور و عدم حضور گونه گیاهی بهمراه درصد تاج پوشش ثبت شد. از بین آنها گونه‌های بوته‌ای شامل (Ar ab) *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit (Ar sc) *Capparis* L. (Ca sp) *Artemisia absinthium* L. *spinosa* و *Bassia prostrata (L.)* (L.) Schrad. (Ba pr) *A.J.Scott* که فراوانی بیشتری داشتند انتخاب شدند. نمونه‌های باطله نیز با استفاده از آگر از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر در پلات‌ها برداشت شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه، نمونه‌ها در هوا خشک شده و پس از کوبیده شدن در هاون، در نهایت از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. انتخاب پارامترهای مورد اندازه‌گیری با توجه به اهمیت آنها در شکل‌گیری و استقرار گیاهان در مناطق معدنی بوده است (۹، ۲۰، ۴۰ و ۴۲). در بررسی خصوصیات باطله، بافت به روش هیدرومتری، اسیدیته (pH) با دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) با هدایت‌سنج الکتریکی بر حسب دسی زیمنس بر متر، کربن آلی (OC) با روش والکی بلاک، نیتروژن کل با روش کجلدال و فسفر قابل جذب به روش اولسن (اسپکتوفتومتر) اندازه‌گیری شدند. فلزات سنگین 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 گیاهان و داده‌های پارامترهای باطله، برای بدست آوردن شکل منحنی پاسخ گونه‌های گیاهی استفاده شد. بمنظور برازش هر یک از مدل‌های HOF و تعیین مقدار بهینه و دامنه بوم‌شناختی گونه از بسته eHOF نسخه 1.8 در نرم افزار R نسخه 3.5.3 استفاده شد (۲۸). تابع HOF دارای ۷ مدل بوده و انواع متفاوت منحنی پاسخ گونه‌ای 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) را نشان می‌دهد (۲۸). برای انتخاب بهترین مدل در برازش منحنی پاسخ گونه‌های مورد مطالعه، به کمترین مقدار معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) استناد شد.

نتایج

بافت و رطوبت: با توجه به مقادیر آکائیک، گونه *A. absinthium* و *A. scoparia* نسبت به متغیر درصد رس رفتار دونمایی مدل VII داشتند (جدول ۱ و شکل ۱). مقادیر بهینه ۲۳/۷۳ و ۳/۶۲ درصد برای *A. absinthium* و ۳۴/۲۴ و ۳/۶۲ درصد برای *A. scoparia* است (شکل ۱).

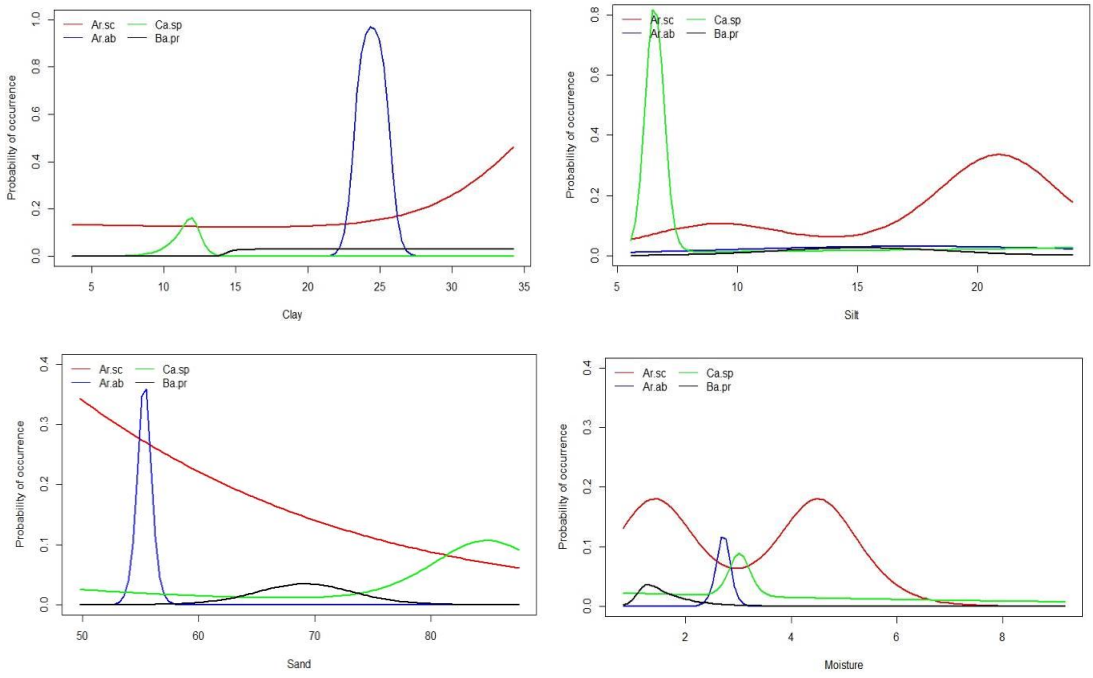
DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

گونه‌های *C. spinosa* با مقدار بهینه ۱۱/۹۰ درصد و *B. prostrata* با مقدار بهینه ۹۸/۲۴–۱۴/۳۴ درصد در پاسخ به درصد رس بترتیب رفتار تک نمایی نامتقارن و آستانه‌ای را نشان دادند. دامنه اکولوژیک گونه‌های *A. absinthium* و *A. scoparia* نسبت به رس مشابه مقادیر بهینه آنها است. برای گونه *C. spinosa* دامنه اکولوژیک برابر با ۱۱/۹۰۶–۱۱/۹۰۵ درصد و برای *B. prostrata* این مقدار ۳۴/۲۴–۲۴/۷۷ درصد است.

برازش منحنی پاسخ گونه *A. scoparia* نسبت به درصد سیلت نشان داد که مدل VII به عنوان بهترین مدل است (شکل ۱). این گونه نسبت به این متغیر رفتار دونمایی با دو مقدار بهینه شامل ۲۰/۸۸ و ۹/۲۸ درصد دارد (جدول ۱). رفتار گونه‌های *A. absinthium*، *B. prostrata* و *C. spinosa* نسبت به سیلت به صورت تک‌نمایی متقارن با مقدار بهینه ۱۷/۲۸، ۱۵/۱۵و ۶/۵۷ درصد است. تمام گونه-ها نسبت به سیلت دامنه اکولوژیک برابر با مقادیر بهینه دارند.

برازش مدل HOF نسبت به درصد شن نشان داد که رفتار گونه‌های *A. absinthium* و *C. spinosa* نسبت به این متغیر به صورت دونمایی (مدل VII) با دو مقدار بهینه بترتیب ۵۴/۸۳، ۴۹/۷۶ و ۸۴/۷۹، ۴۹/۷۶ درصد است. مدل مناسب برای برازش گونه *A. scoparia*، مدل VI با مقدار بهینه ۸۷/۵۸، ۴۹/۷۶ درصد است (شکل ۱). عکس‌العمل گونه *B. prostrata* با مقدار بهینه ۶۹/۱۴ درصد به این متغیر به صورت تک‌نمایی متقارن است. برای گونه‌های *A. absinthium* و *A. scoparia* پهنای آشیان نسبت به درصد شن برابر ۸۷/۵۸–۴۹/۷۶ درصد می‌باشد و در مورد گونه-های *C. spinosa* و *B. prostrata* مشابه مقادیر بهینه آنها است.

نتایج نشان داد که گونه‌های *A. absinthium* و *B. prostrate* رفتار تک‌نمایی (بترتیب مدل IV و V) و گونه-های *A. scoparia* و *C. spinosa* رفتار دونمایی (بترتیب مدل VI و VII) را نسبت به درصد رطوبت نشان دادند (شکل ۱). بیشترین مقدار بهینه به میزان ۴/۵ درصد در گونه *A. scoparia* و کمترین مقدار برابر با ۰/۸۲ درصد در گونه *C. spinos* مشاهده شد.

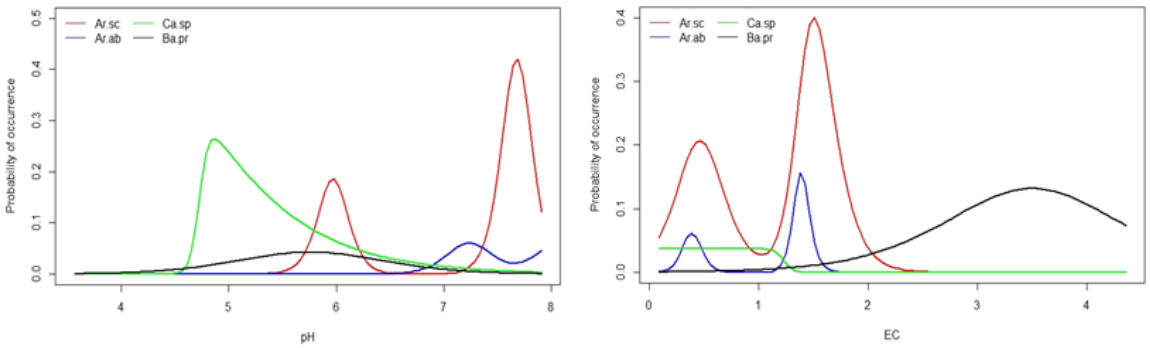


شکل ۱– مدل‌سازی پاسخ چهار گیاه بوته‌ای به بافت و رطوبت باطله زغال‌سنگ در معدن کارمزد سوادکوه، استان مازندران

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

اسیدیته: با توجه به مقادیر AIC، بهترین مدل برای گونه *A. scoparia* مدل VII با دو مقدار بهینه ۷/۶۸ و ۵/۹۷ و برای گونه *A. absinthium* مدل VI با مقادیر بهینه ۷/۹۰ و ۷/۲۳ می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۲). گونه‌های *C. spinosa* و *B. prostrata* نسبت به این متغیر رفتار تک‌نمایی نامتقارن نشان داده و مقادیر بهینه برای آنها بترتیب ۴/۸۶ و ۵/۷۱ است (شکل ۲). حدود پهنای اکولوژیک همه گونه‌ها نسبت به اسیدیته تقریبا مشابه با مقادیر بهینه آنها می‌باشد.

هدایت الکتریکی: مدل مناسب برای گونه *C. spinosa* نسبت به این متغیر، مدل III با مقدار بهینه ۱/۱۴ و ۰/۰۸ دسی زیمنس بر متر و برای گونه *B. prostrata* مدل IV با مقدار بهینه ۳/۵ دسی زیمنس بر متر است (جدول ۱ و شکل ۲). برازش منحنی پاسخ گونه‌های *A. scoparia* و *A. absinthium* نسبت به هدایت الکتریکی حاکی از مناسب بودن مدل VII با مقادیر بهینه بترتیب ۱/۵۱، ۰/۴۶ و ۱/۳۹، ۰/۳۹است (شکل ۲). دامنه اکولوژیک گونه *C. spinosa* نسبت به هدایت الکتریکی برابر با ۰/۰۸ بوده و گونه‌های *A. absinthium*، *A. scoparia* و *B. prostrata* پهنای آشیان برابر با مقادیر بهینه دارند.



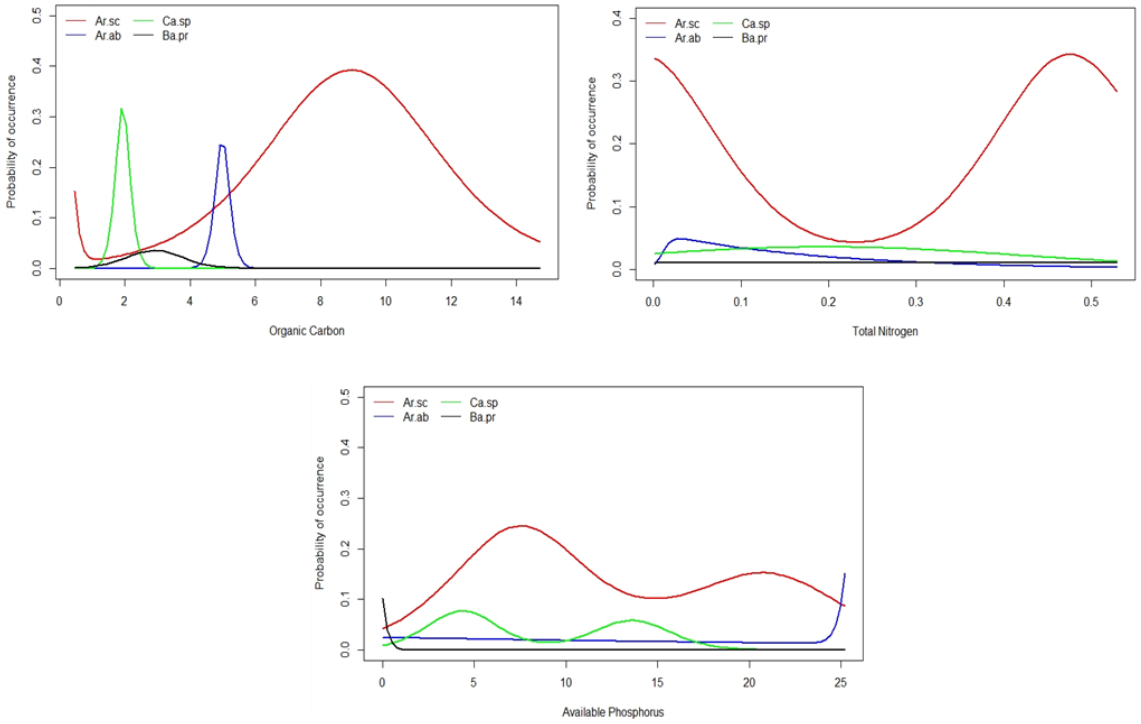
شکل ۲- مدل‌سازی پاسخ چهار گیاه بوته‌ای به اسیدیته و هدایت الکتریکی باطله زغال‌سنگ در معدن کارمزد سوادکوه، استان مازندران

کربن آلی: کمترین مقدار AIC برای گونه *A. scoparia* مربوط به مدل VII بوده و این گونه با مقادیر بهینه ۸/۹۳، ۰/۴۵ درصد نسبت به این متغیر پاسخ دونمایی نامتقارن نشان داد (جدول ۱ و شکل ۳). گونه‌های *A. absinthium*، *C. spinosa* و *B. prostrata* با مقدار بهینه ۴/۹۸، ۱/۹۳ و ۲/۹۱ درصد، نسبت به کربن آلی به صورت تک‌نمایی متقارن پاسخ دادند. دامنه اکولوژیک تمام گونه‌ها نسبت به کربن آلی برابر با مقدار بهینه آنها است.

درصد نیتروژن کل: پاسخ تک‌نمایی نامتقارن و متقارن بترتیب با مقدار بهینه ۰/۰۲۹ و ۰/۱۹ درصد برای *A. absinthium* و *C. spinosa* مشاهده شد (شکل ۳). برای گونه *A. scoparia* مدل VI مقدار بهینه ۰/۴۷ و ۰/۰۰۱ درصد بهترین مدل بود. درصد نیتروژن خاک در پراکنش گونه *B. prostrata* تأثیر معنی‌داری نداشت و این گونه از مدل I پیروی نمود (جدول ۱). برای گونه‌های *A. absinthium*، *C. spinosa* و *A. scoparia* پهنای آشیان برابر با مقادیر بهینه آنها می‌باشد.

فسفر قابل جذب: پاسخ *A. absinthium*، *A. scoparia* و *C. spinosa* به این متغیر به صورت مدل VII با مقادیر بهینه بترتیب برابر ۲۵/۲، ۰/۰۰۰۰۵۲۱ و ۲۰/۴۵، ۷/۵۴ و ۲۵/۲، ۰/۰۰۰۰۵۲۱ پی‌پی‌ام بوده است (جدول ۱). گونه *B. prostrata* مدل II و مقدار بهینه ۰/۰۰۰۰۵۲۱ پی‌پی‌ام را نشان داد (شکل ۳). دامنه اکولوژیک گونه *A. absinthium* برابر با ۲۵/۲-۰ پی‌پی‌ام و گونه *B. prostrata* برابر با ۰/۰۰۰۰۵۲۱/۲-۰/۲۵ پی‌پی‌ام است. اما در مورد *A. scoparia* و *C. spinosa* پهنای آشیان مشابه با مقدار بهینه آنها است.

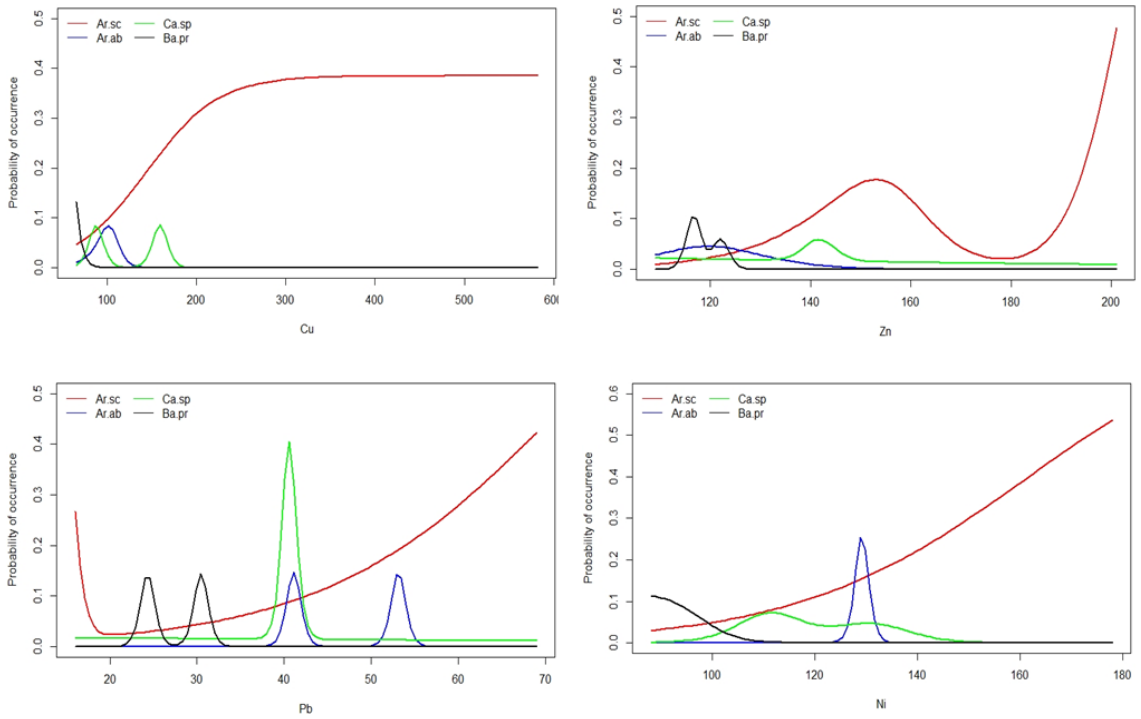
DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1



شکل ۳- مدل‌سازی پاسخ چهار گیاه بوته‌ای به کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب باطله زغال‌سنگ در معدن کارمزد سوادکوه، استان مازندران

فلزات سنگین: بهترین مدل برای برازش گونه *A. scoparia* نسبت به میزان مس خاک مدل III است. رفتار این گونه به صورت آستانه‌ای افزایشی بوده و مقدار بهینه آن در حداقل ۲۳۱/۴۰ تا حداکثر ۵۸۲ پی‌پی‌ام است (جدول ۱). مدل مناسب برای برازش منحنی پاسخ گونه‌های *A. absinthium* با مقدار بهینه ۱۰۱/۶۳ و *C. spinosa* با مقدار بهینه ۱۵۸/۸۸ و ۸۷/۳۶ پی‌پی‌ام بترتیب مدل V و VI می‌باشد. عکس‌العمل گونه *B. prostrata* نسبت به این متغیر به صورت یکنواخت کاهشی (مدل II) با مقدار بهینه ۶۵ پی‌پی‌ام است (شکل ۴). پهنای آشیان گونه‌های *A. scoparia*، *A. absinthium*، *C. spinosa* و *B. prostrata* بترتیب شامل ۵۸۲-۵۸۱/۹۹، ۵۸۲-۱۷۵/۹۸، ۵۸۲-۱۵۸/۸۸ و ۵۸۱/۹۹-۶۵ پی‌پی‌ام است. برازش تابع HOF نسبت به میزان روی نشان داد که در مورد *A. scoparia*، *C. spinosa* و *B. prostrata* کمترین AIC در مدل VII مشاهده شد (شکل ۴). مقادیر بهینه این گونه‌ها بترتیب شامل ۲۰۰/۹۹ و ۱۵۳/۳۵، ۱۴۱/۷۳ و ۱۰۹ و ۲۰۰/۹۹ و ۱۱۶/۷۰ پی‌پی‌ام است. مدل مناسب برای گونه *A. absinthium* با مقدار بهینه ۱۱۹/۵۹ پی‌پی‌ام، مدل V بود. همه گونه‌ها دامنه اکولوژیک برابر با مقدار بهینه خود داشتند. برازش منحنی پاسخ همه گونه‌ها نسبت به میزان سرب دونمایی (مدل VII) بوده است (شکل ۴). دامنه اکولوژیک همه گونه ها نسبت به سرب خاک برابر با ۶۹-۱۶ پی‌پی‌ام است. برای میزان نیکل خاک *A. scoparia* و *B. prostrata* بترتیب رفتار آستانه‌ای افزایشی و کاهشی را نشان دادند (جدول ۱ شکل ۴). گونه *A. absinthium* با مقدار بهینه ۱۲۹/۱۴ پی‌پی‌ام، پاسخ تک‌نمایی متقارن به این متغیر داشته و عکس‌العمل گونه *C. spinosa* با مقدار بهینه ۱۷۷/۹۹ و ۱۱۱/۶۳ پی‌پی‌ام به صورت دونمایی نامتقارن مشاهده شد (شکل ۴). پهنای آشیان گونه‌های *A. scoparia*، *A. absinthium*، *C. spinosa* و *B. prostrata* بترتیب برابر با ۱۷۸-۱۷۷/۹۹، ۱۷۸-۱۲۹/۰۶، ۱۷۸-۱۱۱/۶۳ و ۸۸ پی‌پی‌ام بوده است.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1



شکل ۴- مدل‌سازی پاسخ چهار گیاه بوته‌ای به فلزات سنگین باطله زغال‌سنگ در معدن کارمزد سوادکوه، استان مازندران

جدول ۱- حداقل و حداکثر خصوصیات باطله، مدل مناسب و مقدار بهینه برای چهار گیاه بوته‌ای در باطله زغال‌سنگ معدن 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	حداکثر	حداقل	مقدار بهینه			
			A. absinthium	*A. scoparia*	*C. spinosa*	*B. prostrata*
رس (درصد)	۳۴/۲۴	۳/۶۲	۳/۶۲ ،۲۳/۷۳ (VII)	۳/۶۲ ،۳۴/۲۴ (VII)	۱۱/۹۰ (V)	۱۴/۹۸ ،۳۴/۲۴ (III)
سیلت (درصد)	۲۳/۹۴	۵/۵۶	۱۷/۲۸ (IV)	۹/۲۸ ،۲۰/۸۸ (VII)	۶/۵۷ (IV)	۱۵/۱۵ (IV)
شن (درصد)	۸۷/۵۸	۴۹/۷۶	۴۹/۷۶ ،۵۴/۸۳ (VII)	۴۹/۷۶ ،۸۷/۵۸ (VI)	۴۹/۷۶ ،۸۴/۷۹ (VII)	۶۹/۱۴ (IV)
رطوبت (درصد)	۹/۱۷	۰/۸۲	۲/۷۱ (IV)	۱/۴۲ ،۴/۵۰ (VI)	۰/۸۲ ،۳/۰۲ (VII)	۱/۲۸ (V)
اسیدیته	۷/۹۱	۳/۵۶	۷/۲۳ ،۷/۹۰ (VI)	۵/۹۷ ،۷/۶۸ (VII)	۴/۸۶ (V)	۵/۷۱ (V)
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۴/۳۶	۰/۰۸	۰/۳۹ ،۱/۳۹ (VII)	۰/۴۶ ،۱/۵۱ (VII)	۰/۰۸ ،۱/۱۴ (III)	۳/۵۰ (IV)
کربن آلی (درصد)	۱۴/۷۲	۰/۴۵	۴/۹۸ (IV)	۰/۴۵ ،۸/۹۳ (VII)	۱/۹۳ (IV)	۲/۹۱ (IV)
ازت کل (درصد)	۰/۵۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹ (V)	۰/۰۰۱ ،۰/۴۷ (VI)	۰/۱۹ (IV)	-(I)
فسفر قابل‌جذب(پی‌پی‌ام)	۲۵/۲	۰	۰/۰۰۰۰۵۲۱ ،۲۵/۲ (VII)	۷/۵۴ ،۲۰/۴۵ (VII)	۰/۰۰۰۰۵۲۱ ،۲۵/۲ (VII)	۰/۰۰۰۰۵۲۱ (II)
مس (پی‌پی‌ام)	۵۸۲	۶۵	۱۰۱/۶۳ (V)	۲۳۱/۴۰ ،۵۸۲ (III)	۸۷/۳۶ ،۱۵۸/۸۸ (VI)	۶۵/۰۰ (II)
روی (پی‌پی‌ام)	۲۰۱	۱۰۹	۱۱۹/۵۹ (V)	۱۵۳/۳۵ ،۲۰۰/۹۹ (VII)	۱۰۹ ،۱۴۱/۷۳ (VII)	۱۱۶/۷۰ ،۲۰۰/۹۹ (VII)
سرب (پی‌پی‌ام)	۶۹	۱۶	۱۶ ،۵۳/۱۶ (VII)	۱۶/۰۰ ،۶۸/۹۹ (VII)	۱۶ ،۶۸/۹۹ (VII)	۱۶ ،۲۴/۳۲ (VII)
نیکل (پی‌پی‌ام)	۱۷۸	۸۸	۱۲۹/۱۴ (IV)	۱۷۱/۳۲ ،۱۷۸ (III)	۱۱۱/۶۳ ،۱۷۷/۹۹ (VII)	۸۸ ،۹۱/۶۷ (III)

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی بـوم‌شناسی گونه‌های گیاهی به ویـژه در محیط‌های تخریب یافته موجب به دست آمدن اطلاعاتی می‌شود که می‌توان از آنها در پروژه‌های اصلاح و احیا بهره برد (۲). در این تحقیق عکس‌العمل چهار گونه بوته‌ای نسبت به

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

خصوصیات باطله زغال‌سنگ مورد بررسی قرار گرفت. کَوَر (*C. spinosa*) گیاهی بوته‌ای و خوابیده است که با توجه به ریشه‌های عمیق و تاج پوشش وسیع، نقش مهمی در حفاظت خاک و تثبیت شن دارد (۵). این گونه تا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در تابستان و ۸- درجه سانتی‌گراد در زمستان را تحمل می‌کند (۳۸). افسنطین (*A. absinthium*) یکی از گونه‌های مهم جنس درمنه بوده که در مازندران، گرگان، گیلان، تهران و آذربایجان پراکنش دارد. افسنطین گیاهی پایا با ریشه‌های چوبی و شاخه‌هایی به طول یک متر است (۱۰). *A. scoparia* گیاهی دو یا چندساله با ریشه‌های عمودی و ساقه‌های چندتایی به ارتفاع تا ۷۰ سانتی‌متر بوده که در مازندران، گرگان، گیلان، آذربایجان، همدان، اصفهان، هرمزگان، بوشهر، خوزستان، خراسان، سمنان و تهران پراکندگی دارد (۱۰). این دو گونه درمنه دارای خاصیت آللوپاتی بوده (۲۲) و توانایی تشکیل بانک بذر را نیز در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند (۱۳). کوخیا (*B. prostrata*) گیاهی بوته‌ای متعلق به خانواده اسفناجیان (Chenopodiaceae) و از عناصر مهم ایرانی-تورانی است. مقاومت به شوری و خشکی، سیستم ریشه‌ای گسترده و عمیق، دامنه اکولوژیکی وسیع و عملکرد مطلوب در استفاده از آب از مهمترین ویژگی‌های این گونه است (۴).

در خصوص رفتار گونه‌ها نسبت به درصد رس باطله، گونه‌های *A. scoparia*، *A. absinthium* و *B. prostrata* نسبت به *C. spinosa* در مقادیر بالای رس مقدار بهینه داشتند. اما گونه‌های *A. absinthium* و *A. scoparia* دارای حد بهینه بالاتری بوده و آشیان اکولوژیک وسیع‌تری نسبت به کَوَر و کوخیا داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که گونه-های *A. absinthium* و *A. scoparia* سازگار با بافت رسی هستند. در مطالعات دیگر نیز بیان شد که گونه *A. scoparia* در خاک‌های رسی تا شنی (۲۶) و گونه *A. absinthium* در خاک‌های لومی تا رسی سنگین (۳۴) رشد خوبی دارند. در پاسخ به درصد سیلت خاک، *C. spinosa* و *A. scoparia* بترتیب به مقادیر کم و زیاد سیلت بهینه داشتند. بر این اساس گونه *A. scoparia* نسبت به سیلت دامنه اکولوژیک وسیع‌تری داشت. با افزایش درصد شن و سبک‌تر شدن بافت خاک، دو گونه *A. absinthium* و *A. scoparia* پاسخ منفی داشته در حالی‌که گونه‌های *C. spinosa* و *B. prostrata* پاسخ مثبت داشتند. گونه *A. absinthium* حداقل همپوشانی آشیان اکولوژیک از نظر میزان شن را با سایر گونه‌ها نشان داد. گونه *C. spinosa* با حد بهینه ۸۴/۷۹ درصد، نسبت به افزایش درصد شن خاک سازگاری نشان داده که حاکی از شن‌دوست بودن آن است. گیاه کور سازگاری بالایی به شرایط محیطی سخت دارد و سیستم ریشه‌ای عمیق این گونه توانایی رشد در خاک‌های با حاصلخیزی کم را فراهم کرده و پراکنش و رشد بهتری در خاک‌های با بافت سبک و سنگریزه‌دار دارد (۵،۳، ۱۷ و ۲۹). در بررسی پاسخ گونه‌ها به میزان رطوبت باطله‌ها، گونه *A. scoparia* دارای حداکثر وفور ۱۳/۵۴ درصد در مقادیر بهینه ۴/۵۰ و ۱/۴۲ بود. اما به طور کلی، همه گونه-ها همپوشانی آشیان بیشتری در مقادیر پایین‌تر رطوبت داشتند که حاکی از تحمل این گونه‌ها به شرایط کمبود رطوبت موجود در باطله است.

اسیدیته بر قابلیت دسترسی مواد غذایی، حاصلخیزی و رویش مجدد گیاه در باطله‌های معدنی اثرگذار است (۴۲). در مورد اسیدیته باطله، برای *A. scoparia* دو حد بهینه (۷/۶۸ و ۵/۹۷) مشاهده شد اما *C. spinosa* در اسیدیته ۴/۸۶ بهینه داشت. بنابراین آشیان بوم شناختی گونه کَوَر مربوط به شرایط اسیدی باطله بوده (۲۵) و برای گونه‌های جنس *Artemisia* این آشیان طیفی از شرایط اسیدی تا قلیایی است. این نتایج با مطالعات قبلی (۲۶، ۴۳) که بیان کردند گونه *A. scoparia* در محدوده گسترده‌ای از pH های اسیدی، قلیایی و خنثی پراکنش دارد، هم‌سو است. پاسخ مختلف گیاهان به سطوح مختلف شوری به غلظت، ترکیب یون‌های محلول و همچنین نوع گونه گیاهی بستگی دارد (۲۱). در پاسخ به هدایت الکتریکی خاک، تنها گونه *B. prostrata* بیشترین بردباری را با مقدار بهینه ۳/۵۰ دسی

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

زیمنس بر متر داشته و بقیه گونه‌ها با افزایش میزان هدایت الکتریکی روند کاهشی را نشان دادند. در همین منطقه گونه *B. prostrata* تنها در باطله با میزان هدایت الکتریکی بالا حضور داشته است (۹). تحمل به شوری این گیاه (۳۰) و حضور در اجتماعات گیاهی مناطق شور (۶) نیز گزارش شده است.

در رابطه با درصد کربن آلی باطله، گونه *A. scoparia* در دامنه گسترده‌تری از مقدار این متغیر نسبت به سایر گونه‌ها رشد داشته است. در مقادیر اندک کربن آلی در باطله گونه *C. spinosa* پاسخ مثبتی را نشان داد و این گونه با گونه‌های *A. scoparia* و *B. prostrata* دارای همپوشانی بود. در مطالعات به رشد خوب گونه *C. spinosa* در خاک‌های با مقادیر کم کربن و ماده آلی اشاره شده است (۲۵). در بررسی پاسخ گونه‌ها به نیتروژن خاک، گونه *A. scoparia* با بیشترین میزان حضور در مقادیر حداقل و حداکثر این متغیر، آشیان بوم شناختی گسترده‌ای داشت. گونه *A. scoparia* توانایی رشد در اراضی فقیر از نظر عناصر غذایی را دارد (۲۶). فسفر قابل جذب عامل عمده محدودیت رشد گیاهان در باطله معدنی است (۴۰). در پاسخ به فسفر قابل جذب، هر چهار گونه در مقادیر کم فسفر دارای بهینه بوده اما با افزایش فسفر دو گونه درمنه پاسخ مثبت را نشان دادند. البته به جز گونه *C. spinosa* سایر گونه‌ها دامنه بوم شناختی وسیع‌تری را برای فسفر نشان دادند.

رفتار گونه‌های گیاهی مورد مطالعه به فلزات سنگین باطله نشان داد که *A. scoparia* در بالاترین میزان مس (بهینه ۴۰-۲۳۱/۵۸۲ پی‌پی‌ام) بهینه داشت. مقدار بهینه سایر گونه‌ها کمتر از ۲۰۰ پی‌پی‌ام بوده است. اگرچه همه گونه‌ها آشیان وسیعی داشتند و تا مقادیر بالای مس ادامه داشته اما گونه *A. scoparia* احتمال حضور بیشتری در بالاترین میزان مس داشته است. نسبت به مقادیر نیکل موجود در باطله، *A. scoparia* با بیشترین حد بهینه (۱۷۸-۱۷۱/۳۲پی‌پی‌ام) و آشیان بوم شناختی (۱۷۸-۱۷۷/۹۹پی‌پی‌ام)، رفتار متفاوتی داشت. در پاسخ به سرب باطله، گونه *A. scoparia* با افزایش این متغیر روند صعودی داشته و در مقدار ۶۸/۹۹ به بهینه رسید. نسبت به این متغیر همه گونه‌ها از دامنه بوم شناختی وسیع و مشابهی برخوردار بودند. در بررسی منحنی پاسخ گونه‌ها به مقادیر روی، گونه *A. scoparia* با بهینه ۲۰۰/۹۹ پی‌پی‌ام بیشترین تحمل را نسبت به مقادیر بالای این عنصر داشت. در مطالعات مناطق معدنکاری گزارش شده که گونه *A. scoparia* توانایی ویژه‌ای در تحمل و سازگاری با خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مس، روی، سرب و نیکل دارد (۳۱ و ۳۶). مروری بر مطالعات گیاه‌پالایی این گونه‌های گیاهی نشان داد که *A. absinthium* در جذب و تحمل فلزات سرب، کادمیوم، روی و نیکل مؤثر عمل می‌کند (۲۳). *A. scoparia* ظرفیت بالایی در تجمع فلزات مس، روی، سرب، نیکل، کادمیوم، کروم و کبالت دارد (۱۵ و ۳۶). گونه *B. prostrata* کارآیی خوبی در جذب و انتقال روی دارد (۱۲).

توانایی استقرار گیاهان در باطله‌های معدنی در ارتباط با سازش‌های بوم شناختی است. در این تحقیق پاسخ چهار گیاه بوته‌ای به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باطله زغال سنگ نشان داد که هر گونه با توجه به هر خصوصیت فیزیکی و شیمیایی باطله پاسخ متفاوتی داشته است. همچنین برای ویژگی خاص باطله، گیاهان دارای رفتار مشابه یا متفاوت بودند. گونه *A. scoparia* پهن‌ترین آشیان بوم شناختی را نسبت به بافت باطله داشته و گونه *B. prostrata* به مقادیر بالای هدایت الکتریکی بردبار بوده است. به غیر از گونه *A. absinthium*، سایر گونه‌ها به شرایط اسیدی باطله مقاوم بودند. همه گونه‌ها در مقادیر کم عناصر غذایی پاسخ مشابه داشتند. گونه *A. scoparia* در غلظت‌های بالای فلزات سنگین دارای بهینه بوده است.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

منابع

۱- حسینی‌کیاسری، س.م. ۱۳۹۵. توالی طبیعی پوشش گیاهی در باطله‌های زغال‌سنگ مراتع کیاسر استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گرایش مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۲- حیدری، ف.، دیانتی تیلکی، ق.ع. و علوی، س.ج. ۱۳۹۶. مقایسه دامنه اکولوژیک دو گونه *Bromus tomentellus* B. و *Festuca ovina* L. به برخی متغیرهای محیطی با استفاده از تابع HOF (مطالعه موردی: مراتع حوزه آبخیز گلندرود). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۰(۲): ۳۳۳-۳۱۸.

۳- خوش‌سیما، ا.، عصری، ی.، بخشی خانیکی، غ.ر. و ادنانی، س.م. ۱۳۹۶. مطالعه ویژگی‌های اکولوژیکی گونه کَوَر (*Capparis spinosa* L.) در برخی از رویشگاه‌های استان قم. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۰(۳): ۵۸۰-۵۷۱.

۴- سبزی، م.، ناصری، ح.ر.، آذرنیوند، ح. و جعفری، م. ۱۳۹۳. تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه زنی و بازیابی بذر سه گونه مرتعی استان مرکزی (*Eurotia ceratoides*، *Kochia prostrate* و *Salsola rigida*). تحقیقات بذر، ۴(۱): ۷۵-۶۶.

۵- فخری، م.، بخشی خانیکی، غ.ر. و صادقی، س.م. ۱۳۸۷. بررسی ویژگی‌های اکولوژیکی گونه کور (*Capparis spinosa* L.) در استان بوشهر. پژوهش و سازندگی، ۲۱(۳): ۱۷۵-۱۶۹.

۶- قادری، ش.، قربانی، ج.، جعفریان، ز. و شکری، م. ۱۳۸۹. شناسایی اجتماعات گیاهی شورروی و ارتباط آنها با خصوصیات خاک در مراتع سرخه دامغان. خشک‌بوم، ۱(۱): ۵۶-۴۵.

۷- قلی‌پور م.، مظاهری س.ا.، رقیمی م. و شمعانیان غ.ح. ۱۳۸۸. بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های حوزهٔ زغالی کارمزد، البرز مرکزی، استان مازندران. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۷(۴): ۶۷۰- ۶۵۵.

۸- لشگری، ن.، قربانی، ج.، زالی، س.ح. و وهاب‌زاده، ق. ۱۳۹۴. ارزیابی پتانسیل احیای پوشش گیاهی در باطله‌های معدنی زغال-سنگ (مطالعه موردی: معادن منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران). محیط‌شناسی، ۴۱ (۴): ۷۷۰-۷۵۷.

۹- لشگری، ن.، قربانی، ج.، زالی، س.ح. و وهاب‌زاده، ق. ۱۳۹۵. خصوصیات خاک و میزان فلزات سنگین در باطله‌های زغال‌سنگ و ارتباط آن با استقرار گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: معادن زغال‌سنگ منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران). محیط زیست طبیعی، ۶۹ (۴): ۱۱۰۸-۱۰۹۱.

۱۰- مظفریان، و.ا. ۱۳۶۸. بررسی و شناخت درمنه‌های ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تهران.

۱۱- معین‌السادات، م.ع. و رضوی ارمغانی، م.ب. ۱۳۷۲. زمین‌شناسی ایران-زغال‌سنگ. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

۱۲- منتظری، ف.، تمرتاش، ر.، طاطیان، م.ر. و حجتی، س.م. ۱۳۹۵. بررسی غلظت سرب، روی و مس در خاک و گونه مرتعی *Kochia prostrate* (L.) Schrad. در اطراف کارخانه سیمان فیروزکوه. حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۴(۸): ۱۵۸-۱۴۵.

۱۳- نامجویان، ر.، قربانی، ج.، حیدری، ق.ا. و وهاب‌زاده، ق. ۱۳۹۸. حضور گیاهان مرتعی در بانک بذر باطله‌های زغال‌سنگ و مراتع اطراف در معادن کارمزد سوادکوه و کیاسر ساری، استان مازندران. مرتع و آبخیزداری، ۷۲(۲): ۵۹۶-۵۸۷.

۱۴- یزدی م. ۱۳۸۲. زغال‌سنگ (از منشأ تا اثرات زیست محیطی). انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.

15- Alirzayeva, E.G., Shirvani, T.S., Alverdiyeva, S.M., Shukurov, E.S., Öztürk, L., Ali-zade, V.M. and Çakmak, İ. 2006. Heavy metal accumulation in Artemisia and foliaceous lichen species from the Azerbaijan flora. Forest Snow and Landscape Research, 80(3): 339-348.

16- Anawar, H.M., Canha, N., Santa-Regina, I. and Freitas, M.C. 2013. Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation. Journal of Soils and Sediments, 13(4): 730-741.

17- Andrade, G., Esteban, E., Velasco, L., Lorite, M.J. and Bedmar, E.J. 1997. Isolation and identification of N 2-fixing microorganisms from the rhizosphere of *Capparis spinosa* (L.). Plant and Soil, 197(1): 19-23.

18- Austin, M.P., Belbin, L., Meyers, J.A.A., Doherty, M.D. and Luoto, M. 2006. Evaluation of statistical models used for predicting plant

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

species distributions: role of artificial data and theory. Ecological Modelling, 199(2): 197-216.

19- Barrutia, O., Artetxe, U., Hernandez, A., Olano, J.M., Garcia-Plazaola, J.I., Garbisu, C. and Becerril, J.M. 2011. Native plant communities in an abandoned Pb-Zn mining area of northern Spain: implications for phytoremediation and germplasm preservation. International Journal of Phytoremediation, 13(3): 256-270

20- Bian, Zh., Inyang, H.I., Daniels, J.L., Otto., F and Struthers, S. 2010. Environmental issues from coal mining and their solutions. Mining Science and Technology (China), 20(2): 215-223.

21- Chedraoui, S., Abi-Rizk, A., El-Beyrouthy, M., Chalak, L., Ouaini, N. and Rajjou, L. 2017. *Capparis spinosa* L. in a systematic review: A xerophilous species of multi values and promising potentialities for agrosystems under the threat of global warming. Frontiers in Plant Science, 8: p.1845.

22- Ferreira, J.F.S. and Janick, J. 2004. Allelopathic plants. XVI. Artemisia species. Allelopathy Journal, 14(2): 167-176.

23- Fischer, A., Brodziak-Dopierała, B., Loska, K. and Stojko, J. 2017. The assessment of toxic metals in plants used in cosmetics and cosmetology. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(10): p.1280.

24- Freitas, H., Prasad, M.N.V. and Pratas, J. 2004. Plant community tolerant to trace elements growing on the degraded soils of Sao Domingos mine in the south east of Portugal: environmental implications. Environment International, 30(1): 65-72.

25- Guleryuz, M., Ozkan, G. and Ercisli, S. 2009. Caper (*Capparis* spp.) growing techniques and economical importance. In 1st International Symposium on Sustainable Development, June 9-10, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina (pp. 94-97).

26- Hayat, M.Q., Khan, M.A., Ashraf, M. and Jabeen, S. 2009. Ethnobotany of the genus Artemisia L.(Asteraceae) in Pakistan. Ethnobotany Research and Applications. 7: 147-162.

27- Huisman, J., Olff, H. and Fresco, L.F.M. 1993. A hierarchical set of models for species response analysis. Journal of Vegetation Science, 4(1): 37-46.

28- Jansen, F. and Oksanen, J. 2013. How to model species responses along ecological gradients–Huisman–Olff–Fresco models revisited. Journal of Vegetation Science, 24(6): 1108-1117.

29- Kala, C.P. and Mathur, V.B. 2002. Patterns of plant species distribution in the Trans-Himalayan region of Ladakh, India. Journal of Vegetation Science, 13(6): 751-754.

30- Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Nejad, R.K. and Assareh, M.H. 2005. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. Biologia Plantarum, 49(2): 301-304.

31- Li, K., Lun, Z., Zhao, L., Zhu, Q., Gu, Y. and Li, M. 2017. Screening for autochthonous phytoextractors in a heavy metal contaminated coal mining area. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(9): p.1068.

32- Maiti, S.K. 2012. Ecorestoration of the coalmine degraded lands. Springer, India.

33- Mansour, S.A. 2014. Heavy Metal Contamination as a Global Problem and the Need for Prevention/Reduction Measurements. In: Bhat, R., V.M. Gomez-Lopez (eds.), Practical Food Safety: Contemporary Issues and Future Directions. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.

34- Maw, M.G., Thomas, A.G. and Stahevitch, A. 1985. The Biology of Canadian Weeds: 66. *Artemisia absinthium* L. Canadian Journal of Plant Science, 65(2): 389-400.

35- Michaelis, J. and Diekmann, M.R. 2017. Biased niches–Species response curves and niche attributes from Huisman-Olff-Fresco models change with differing species prevalence and frequency. PloS one, 12(8).

36- Nawab, J., Khan, S., Shah, M.T., Qamar, Z., Din, I., Mahmood, Q., Gul, N. and Huang, Q. 2015. Contamination of soil, medicinal, and fodder plants with lead and cadmium present in mine-affected areas, Northern Pakistan. Environmental Monitoring and Assessment, 187(9):605.

37- Nouri, J., Lorestani, B., Yousefi, N., Khorasani, N., Hasani, A.H., Seif, F. and Cheraghi, M. 2011. Phytoremediation potential of native plants grown in the vicinity of Ahangaran lead–zinc mine (Hamedan, Iran). Environmental Earth Sciences, 62(3): 639-644.

38- Panico, A.M., Cardile, V., Garufi, F., Puglia, C., Bonina, F. and Ronsisvalle, G. 2005. Protective

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.4.11.1

effect of *Capparis spinosa* on chondrocytes. Life Sciences, 77(20): 2479-2488.

39- Rydgren, K., Okland, R.H. and Okland, T. 2003. Species response curves along environmental gradients. A case study from SE Norwegian swamp forests. Journal of Vegetation Science, 14(6): 869-880.

40- Stewart, B.R. and Daniels, W.L. 1992. Physical and chemical properties of coal refuse from Southwest Virginia. Journal of Environmental Quality, 21(4): 635-642.

41- Tangahu, B.V., Abdullah, S., Rozaimah, S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N. and Mukhlisin, M. 2011. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. International Journal of Chemical Engineering, 31p.

42- Tripathi, N., R.S. Singh and C.D. Hills. 2016. Reclamation of Mine-impacted Land for Ecosystem Recovery. John Wiley & Sons, UK.

43- Zhang, B.T., Wang, D.L., and Yang, Y.F. 2002. Study on the biological characteristics and biomass dynamics of Artemisia scoparia. Grassland of China, 24: 13-17.

Modelling the response of plants to physical and chemical properties of coal wastes in Karmozd coal mine, Mazandaran province

Lashkari Sanami N.[1], Ghorbani J.[1*], Zali S.H.[1] and Vahabzadeh Gh.[2]

[1] Dept. of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. of Iran.

[2] Dept. of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. of Iran.

Abstract

Plants growth in mining environments are restricted by waste properties. A knowledge of plant species response to waste characteristics is necessary for restoration of mine areas. In this study the ecological preferences to physical and chemical properties of coal wastes were evaluated for *Artemisia scoparia*, *Artemisia absinthium*, *Capparis spinosa* and *Bassia prostrata* which are naturally colonized on coal waste. Plant species abundance and wastes (up to 20 cm in depth) were sampled in 138 plots. Plant species responses were assessed using HOF model. Results showed that *A. scoparia* and *A. absinthium* had an optimum where the clay and silt increased while *C. spinosa* and *B. prostrata* had a wide ecological niche for sand. All species showed an optimum response where coal wastes had low moisture content. A niche separation was found for *B. prostrata* along the gradient of electrical conductivity. *A. scoparia*, *C. spinosa*, and *B. prostrata* had similar ecological niche in response to soil pH, although *C. spinosa* preferred lower pH. *A. scoparia* was found in a wide range of N, P, and organic matter. The results indicated that *A. scoparia* positively responded to all heavy metals with plateau (III) response to Cu and Ni and bimodal (VII) to Zn and Pb. Plant species responded differently to physical and chemical properties of coal wastes and the most frequent response shape were IV and VII.

Key words: Response curve, HOF model, Ecological niche, Mine waste