

خصوصیات خاک و میزان فلزات سنگین در باطله‌های زغال سنگ و ارتباط آن با استقرار گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: معادن زغال سنگ

منطقه کارمزد سوادکوه، استان مازندران)

ناطق لشگری^۱، جمشید قربانی^{۲*}، سید حسن زالی^۳، قربان وهاب‌زاده^۴

۱. کارشناس ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

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

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱)

چکیده

در این پژوهش خصوصیات مواد بستر در باطله‌های زغال سنگ رها شده و حضور گونه‌های گیاهی در آنها مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه در سه باطله معدنی متروک زغال سنگ با سن متفاوت و مناطق مرتعی اطراف آن در ذخایر زغال سنگ البرز مرکزی در شهرستان سوادکوه استان مازندران انجام گرفت. پوشش گیاهی و خاک به روش تصادفی-منظم و در پلات یک متر مربعی نمونه‌گیری شدند. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که مناطق مورد مطالعه به غیر از میزان رطوبت، کربنات کلسیم، نیتروژن و پتاسیم در سایر خصوصیات خاک تفاوت معنی‌داری داشتند. بیشترین میزان سیلت (۲۰/۲۶ درصد) و اسیدیته (۷/۴) در مرتع و بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی (۳/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر) در باطله ۱۰ ساله مشاهده شد. کاتیون‌های فلزی مس (Cu)، روی (Zn)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، کروم (Cr) و کبالت (Co) در مرتع کمی بیشتر از باطله‌های زغال سنگ بودند و با افزایش سن باطله‌ها مقدار این عناصر به تدریج افزایش یافت. نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره CCA نشان داد که پراکنش گونه‌های گیاهی به طور معنی‌داری تحت تأثیر خصوصیات خاک قرار گرفته است. به طور کلی، قابلیت هدایت الکتریکی، بافت و عناصر سنگین از مهم‌ترین فاکتورهای خاک در استقرار اولیه پوشش گیاهی بر روی باطله‌ها زغال سنگ بودند.

کلیدواژه‌گان: فلزات سنگین، باطله زغال سنگ، توالی، احیاء معادن، البرز مرکزی

۱. مقدمه

نامناسب است (Jochimsen *et al.*, 1995). تشکیل اجتماع طبیعی گیاهان در باطله‌های معدنی با توجه به دو عامل مشکلات مهاجرت گونه‌های گیاهی و ویژگی‌های خاص فیزیکی‌شیمیایی بستر محدود شده است (Gray, 1982). ویژگی‌های نامطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آلوده شده با فلزات در اراضی معدنی موجب جلوگیری از فرآیندهای خاکسازی و رشد گیاه می‌شود (Wong, 2003). با وجود این که آهن، منگنز، مس و روی در حد مجاز از عناصر کم مصرف ضروری برای گیاه هستند، در مقادیر بالاتر به عنوان فلزات سنگین مطرح می‌شوند (Sheoran *et al.*, 2010). خاک‌های آلوده شده بوسیله فلزات سنگین مثل مس، روی، سرب، نیکل و کادمیم می‌توانند رشد مقاوم‌ترین گیاهان را هم محدود کنند (Wong, 2003). فلزات سمی اثرات نامطلوبی بر تعداد، تنوع و فعالیت ارگانیسم‌های خاک دارند و همچنین مانع تجزیه ماده آلی خاک و فرآیند معدنی شدن نیتروژن می‌شوند (Wong, 2003). جوامع میکروبی زیرزمینی در باطله‌های معدنی مهم هستند، زیرا به عنوان نیرو محرکه اصلی برای بهبود وضعیت مواد غذایی بستر و دیگر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی به شمار می‌آیند (Huang *et al.*, 2011). بررسی‌ها نشان داده است که باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توانند در تشکیل خاک در باطله‌های حاصل از استخراج معدن و عملکرد چرخه نیتروژن در زیست-بوم‌های معدنی نقش مهمی داشته باشند و برای رویش مجدد گیاهان و دوام طولانی مدت آن لازم باشند (Huang *et al.*, 2011).

آلودگی فلزات سنگین به واسطه استخراج معادن

تخریب خاک گاهی ناشی از برخی فعالیت‌های انسانی است. خاک‌های اراضی معدنکاری شده حاصل از استخراج زغال سنگ، از جمله شایع‌ترین نوع خاک‌های دارای آلودگی هستند (Pedrol *et al.*, 2010). این اختلالات شدید، اثر گسترده‌ای بر چشم‌انداز می‌گذارد و صدمات بسیار جدی را برای محیط زیست به همراه دارد (Pedrol *et al.*, 2010). از طریق استخراج معادن زغال سنگ، حجم زیادی از باطله‌های زغال سنگ در سطح زمین انباشت می‌شوند (Wong, 2003). سطوح حاصل از باطله‌ها در معرض فرسایش آبی و بادی هستند و به عنوان یک منبع دائمی انتشار آلودگی فلزات به محیط اطراف خود عمل می‌کنند (Tordoff *et al.*, 2000; Wong, 2003). خاک‌های اراضی معدنکاری شده حاوی مقادیر ناچیزی از ماده آلی و مواد مغذی‌اند، بافت و ساختار نامطلوب دارند و مستعد آبهوشی اسید با اکسیداسیون سولفید هستند (Singh *et al.*, 2002; Pedrol *et al.*, 2010). خاک‌های اراضی استخراج شده باعث طیف وسیعی از مشکلات برای استقرار و حفظ پوشش گیاهی شده که بسته به نوع معادن متفاوت است (Wong, 2003). در باطله‌های معدنی، عدم تعادل سیستم ژئومورفیک به دلیل تخریب و تغییرات سطح زمین، منجر به افزایش سرعت نرخ فرسایش می‌شود (Dutta, 1999).

گزارشات حاکی از این است که روند آرام تشکیل کلنی‌های گیاهی در انباشت‌های باطله ناشی از بستر

غذایی و ایجاد پوشش گیاهی تأکید شده تا به روند طبیعی بازگشت سرعت ببخشند (Singh *et al.*, 2002). تلاش برای رویش مجدد گیاهان، توسعه خاک و افزایش کارکردهای اکولوژیکی که به عنوان کلید احیا و اصلاح زیست‌بوم است از مهمترین اهداف احیای اراضی معدنی هستند (Bradshaw, 1997; Whisenant, 1999). با توجه به موارد فوق، در این تحقیق مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی باطله‌های متروک زغال سنگ و ارتباط پوشش گیاهی مستقر بر روی آنها با این ویژگی‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

معادن زغال سنگ در منطقه کارمزد شهرستان سوادکوه، استان مازندران از سال ۱۳۵۰ فعال بوده که از بزرگ‌ترین و قدیمی‌ترین مناطق تولیدکننده زغال سنگ در حوضه زغالی البرز مرکزی به حساب می‌آید. ذخیره اولیه معادن کارمزد ۳۴ میلیون تن بوده که تا سال ۱۳۸۳ به میزان ۴/۱ میلیون تن از این ذخیره برداشت و مقدار ذخیره موجود ۲۹/۹ میلیون تن است (Gholipour *et al.*, 2010). این منطقه بین طول-های جغرافیایی "۳۸' ۵۷" ۵۲ تا "۱۲' ۵۸" ۵۲ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۵۷' ۰۵" ۳۶ تا "۵۳' ۰۶" ۳۶ شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در محدوده ارتفاعی ۶۰۰ تا ۱۴۱۰ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین دمای سالانه در منطقه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه

زغال سنگ در سایر کشورها مثل چین و لهستان گزارش شده است (Li, 2006; Sitarz-Palczak & Kalemekiewicz, 2012). در ایران اگرچه باطله-های حاصل از معدنکاری زغال سنگ در مناطق استخراج شده به حال خود رها شده‌اند، اما برخی مطالعات بر روی آنها حاکی از عدم آلودگی فلزات سنگین در باطله‌ها است (Yazdi *et al.*, 2009). البته این موضوع قطعیت ندارد و در مطالعاتی هم به آلودگی این فلزات اشاره شده است (Gholipour *et al.*, 2010). بنابراین بسته به خصوصیات باطله‌های زغال سنگ و ویژگیهای ژئوشیمی بستر و موقعیت جغرافیایی منطقه این شرایط فرق دارد.

برای برگرداندن باطله‌های بر جا مانده از استخراج زغال سنگ به یک شرایط زیست محیطی قابل قبول، احیای این مناطق امری ضروری است (Redgwell, 1992). از این رو، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در تلاش برای ارتقای سیاست‌های زیست محیطی ملی خود در این زمینه هستند (Cao, 2007). در مقایسه با ایالات متحده آمریکا، آلمان، کانادا، برزیل و اسپانیا که نرخ احیای اراضی معدنی در آن‌ها بین ۷۰-۵۰ درصد است (Shao, 2005)، در ایران چندان به این مسئله در عمل توجه نمی‌شود. احیا این خاک‌ها به منظور به حداقل رساندن خطر آلودگی‌های زیست محیطی ضرورت دارد (Pedrol *et al.*, 2010). موفقیت در احیا به اثرات متقابل عوامل مختلف مثل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک-های معدن، استقرار پوشش گیاهی و روش‌های فنی و اقدامات مدیریتی بستگی دارد (Pedrol *et al.*, 2010). در احیا ابتدا به ساخت مواد آلی خاک، مواد

در امتداد شیب، نمونه‌گیری از هر باطله در سه لایه یعنی انباشت پایین، انباشت وسط و انباشت بالایی صورت پذیرفت. برای نمونه‌گیری پوشش گیاهی با توجه به وسعت هر سایت، در مناطق مرتعی تعداد ۲۴ پلات و در باطله‌های زغال سنگ تعداد ۱۱۴ پلات ۱ متر مربعی در امتداد ترانسکت‌ها به صورت تصادفی - منظم برداشت شد. درصد تاج پوشش مربوط به هر گونه گیاهی در هر یک از پلات‌ها ثبت شد. همچنین برای ثبت حضور گونه‌های درختچه‌ای از پلات ۴ مترمربعی استفاده شد.

نمونه‌برداری خاک در تابستان سال ۱۳۹۲ انجام گرفت. فرسایش زیاد، شیب زیاد و سستی و بی‌ثباتی دامنه‌ها از مهم‌ترین محدودیت‌های نمونه‌گیری در باطله‌های زغال سنگ بود. با توجه به بستر سخت مناطق مرتعی و به منظور مقایسه بهتر برخی خصوصیات خاک به خصوص تجمع فلزات سنگین در سطح خاک، نمونه‌ها از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر برداشت شدند. تعداد نمونه‌های خاک برداشت شده از هر ترانسکت نصف تعداد نمونه‌های مربوط به پوشش گیاهی است. به این ترتیب که از باطله ۲۰ ساله بزرگ، ۳۲ نمونه، باطله ۲۰ ساله کوچک، ۱۲ نمونه، باطله ۱۰ ساله، ۹ نمونه و مناطق مرتعی ۱۲ نمونه برداشت شد. در نهایت تعداد ۶۵ نمونه خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا درصد رطوبت خاک با استفاده از روش توزین تعیین گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از کوبیده شدن در هاون، به منظور جداسازی قطعات گیاهان و سنگریزه از الک ۲ میلی‌متری عبور

۵۳۶/۵ میلی‌متر است (داده‌ها مربوط به ایستگاه هواشناسی آلاشت و بر اساس دوره آماری از سال ۱۳۹۲ - ۱۳۸۲ است). گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال مربوط به مرداد و دی است و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، منطقه دارای اقلیم مرطوب سرد است. متوسط شیب ۲۴/۵ درجه است و شیب لایه‌های رسوبی در محل معدن کارمزد به سمت شمال است که بخشی از یک ناودیس را تشکیل می‌دهند. قشر زغال‌دار منطقه از نظر سنگ‌شناسی شامل تناوبی از ماسه‌سنگ‌های درشت دانه، کنگلومرای ریزدانه، ماسه‌سنگ‌های ریزدانه خاکستری همراه با لایه‌های شیل و آرژیلیت است (Gholipour et al., 2009).

۲.۲. روش کار

پس از بازدید از منطقه، سه انباشت باطله معدنی که به مدت طولانی رها شده بودند و مناطق مرتعی اطراف آن انتخاب شدند. دو باطله حدود ۲۰ سال در منطقه رها شده که از لحاظ حجم باطله متفاوت بودند که در مقاله به صورت باطله ۲۰ ساله بزرگ و کوچک تفکیک شدند. باطله ۲۰ ساله بزرگ در طول زمان در منطقه انباشت و تسطیح شده که دارای حدود ۵۰ متر ارتفاع است. باطله ۲۰ ساله کوچک در دهانه تونل اصلی رها شده که در دامنه شیب پراکنده بودند. باطله سوم حدود ۱۰ سال متروک مانده است و حجم باطله آن از باطله ۲۰ ساله بزرگ کمتر بوده اما نسبت به باطله ۲۰ ساله کوچک از حجم و مقدار بیشتری برخوردار است. باطله ۱۰ ساله به طول تقریبی ۲۰۰ متر در امتداد دامنه شیب قرار دارد. به منظور لحاظ کردن اثر مقدار ارتفاع باطله یا طول آن

خصوصیات خاک در سه لایه انباشت هر باطله با آنالیز واریانس یکطرفه مقایسه شده که بعلت عدم معنی‌داری در مقاله آورده نشده است.

۳. نتایج

۱،۳. مقایسه خصوصیات خاک در باطله‌های

زغال سنگ و مراتع اطراف

نتایج حاصل از آنالیز واریانس حاکی از این است که مناطق از نظر میزان شن، سیلت، رس، فسفر، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته و ماده آلی خاک اختلاف معنی‌داری دارند. نیتروژن، پتاسیم، کربنات کلسیم و میزان رطوبت خاک پاسخ معنی‌داری نداشتند. باطله زغال سنگ ۱۰ ساله با بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک اختلاف معنی‌داری با سایر مناطق دارد. در صورتی که بین باطله‌های ۲۰ ساله بزرگ و کوچک و منطقه مرتعی از لحاظ قابلیت هدایت الکتریکی اختلاف معنی‌داری دیده نشد (نمودار ۱). بیشترین میزان فسفر خاک متعلق به منطقه مرتعی و باطله ۲۰ ساله بزرگ بوده است (نمودار ۱). با توجه به مقایسه میانگین سیلت خاک مشخص شد که منطقه مرتعی نسبت به باطله‌های زغال سنگ به طور معنی‌داری از میزان سیلت بیشتری برخوردار است (نمودار ۱). میزان شن خاک در منطقه مرتعی به طور معنی‌داری کمتر از سایر مناطق بوده است (نمودار ۱). نتایج مقایسه میانگین درصد رس خاک در چهار منطقه نشان داد که باطله زغال سنگ ۱۰ ساله و منطقه مرتعی به طور معنی‌داری دارای بیشترین میزان رس خاک بوده و کمترین میزان رس در باطله

داده شدند. در بررسی خصوصیات فیزیکی، رطوبت با روش وزنی و بافت به روش هیدرومتری تعیین شدند. از پارامترهای شیمیایی خاک، اسیدیته (pH) به روش گل اشباع (پتانسیومتری)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به روش هدایت سنج الکتریکی، کربنات کلسیم (CaCO_3) با استفاده از روش کلسیمتری، درصد کربن آلی (OC) با استفاده از روش والکی - بلاک، نیتروژن کل خاک با روش کجلدال، پتاسیم قابل جذب با روش فلتم فوتومتری و فسفر قابل جذب به روش اولسن (اسپکتوفتومتر) اندازه‌گیری شدند (Jafari Haghghi, 2003). فلزات سنگین با روش پرتو ایکس فلورسانس (XRF) فیلیپس مدل PW 1480 در شرکت کانساران بینالود تعیین شد (Jones, 1982).

از آنالیز تطبیقی قوس‌گیری شده (DCA) برای بررسی طول گرادیان در داده‌های پوشش گیاهی استفاده شد. بر اساس طول گرادیان محور اول در این مطالعه (۲/۴۴۳) از آنالیز تطبیقی متعارفی (CCA) برای بررسی ارتباط داده‌های پوشش گیاهی و خصوصیات خاک استفاده گردید (Ter Braak & Smilauer, 2002). آنالیزهای چند متغیره در نسخه ۴/۵ نرم افزار CANOCO انجام گرفت. برای نرمال-سازی داده‌های خاکی که به صورت درصد بودند ابتدا از تبدیل سینوس معکوس یعنی $\text{ASIN}(\text{SQRT}(x/100))$ استفاده شد. سپس به منظور مقایسه خصوصیات خاک در باطله‌های زغال سنگ و مناطق مرتعی از آنالیز واریانس یکطرفه و در صورت معنی‌داری از آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد استفاده شد. همچنین

ساله بزرگ و باطله ۲۰ ساله کوچک بود. هم چنین میزان اکسیدهای CaO، MgO و MnO بعد از مناطق مرتعی در باطله ۲۰ ساله بزرگ کمی بیشتر از سایر مناطق بود (جدول ۲).

۳،۳. ارتباط پراکنش گونه های گیاهی با

خصوصیات خاک

نتایج آنالیز DCA نشان داد که طول گرادیان بین مقادیر ۲/۴۴۳ و ۱/۶۳۳ قرار دارد و کل واریانس اندازه گیری شده برابر ۲/۳۵۰ بوده است. به همین علت برای بررسی ارتباط گونه های گیاهی با خصوصیات خاک در مناطق مرتعی و باطله های زغال سنگ از آنالیز تطبیقی متعارفی (CCA) استفاده شد. نتایج آنالیز چند متغیره CCA نشان داد که خصوصیات خاک بر ترکیب گیاهی مناطق مورد مطالعه اثر معنی داری دارد ($F=۲/۰۴۸$ و $P=۰/۰۰۱$). با توجه به دیاگرام دوگانه آنالیز CCA، خصوصیات قابلیت هدایت الکتریکی، شن، رطوبت، ازت و آرسنیک با جهت مثبت محور اول و مثبت محور دوم همبستگی دارند (نمودار ۲).

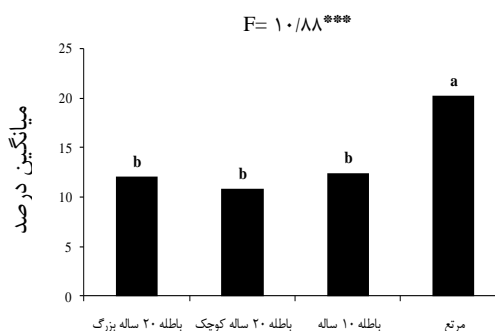
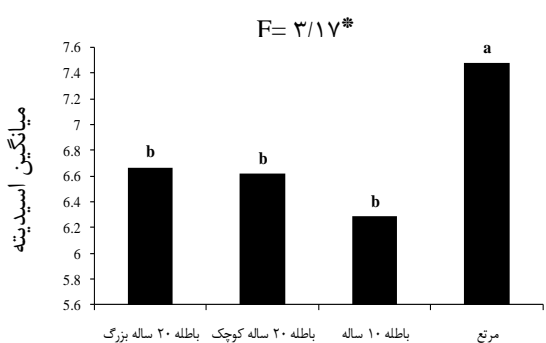
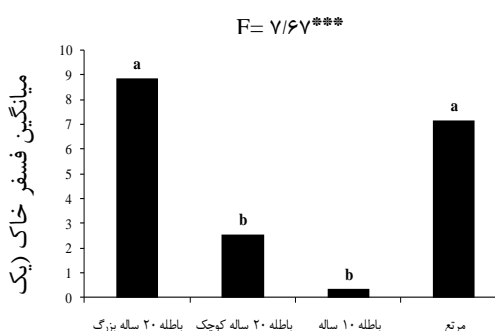
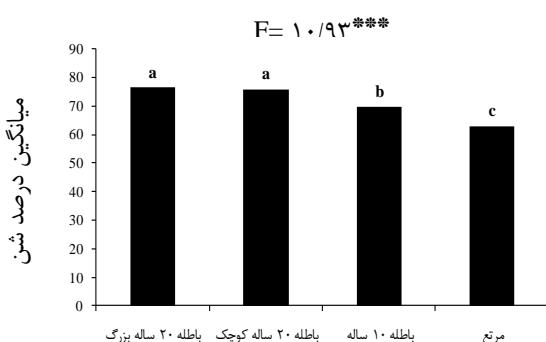
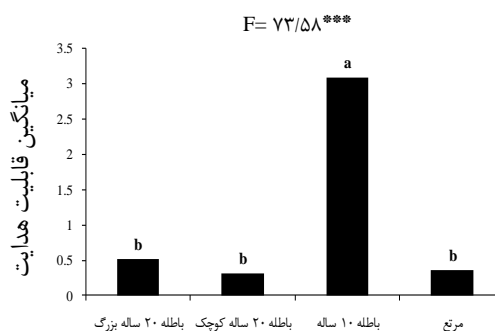
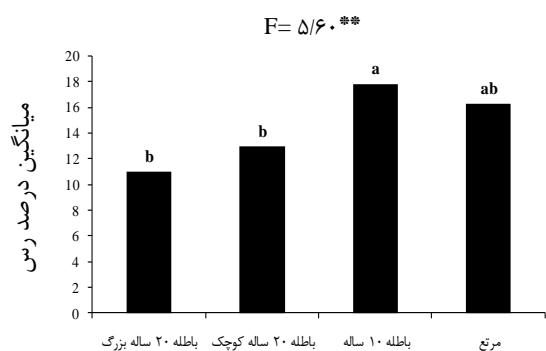
۲۰ ساله بزرگ مشاهده گردید (نمودار ۱). میزان اسیدیته خاک در منطقه مرتعی به طور معنی داری بیشتر از سایر مناطق بوده و باطله های زغال سنگ اختلافی با هم نداشتند (نمودار ۱). بیشترین و کمترین میزان ماده آلی خاک به ترتیب در منطقه مرتعی و باطله ۱۰ ساله وجود دارد (نمودار ۱). باطله های ۲۰ ساله بزرگ و کوچک از نظر میزان ماده آلی اختلاف معنی داری با منطقه مرتعی مجاور نداشتند.

۲،۳. مقایسه فلزات سنگین خاک در باطله های

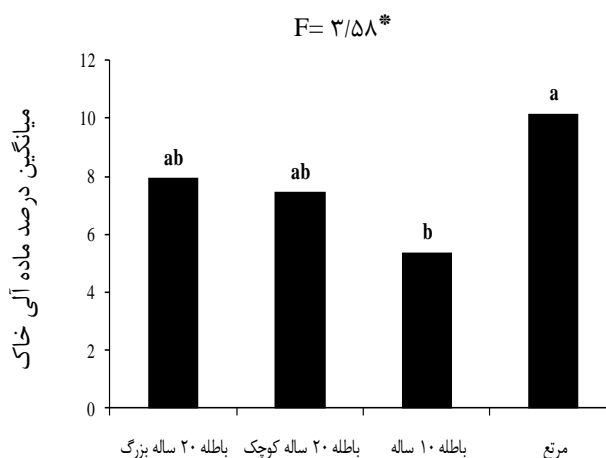
زغال سنگ و مراتع اطراف

با توجه به داده های فلزات سنگین مشخص شد که فلزات مس، روی، سرب، نیکل، کروم و کبالت در مرتع مجاور باطله ها اندکی بیشتر از باطله های زغال سنگ بودند. آرسنیک تنها عنصری بود که در باطله ها به میزان اندکی بیشتر بود. در واقع همه کاتیونهای فلزی در مرتع بیشتر بودند، در حالی که آرسنیک که آنیون فلزی است در باطله بیشتر بود (جدول ۱). بررسی میانگین درصد اکسیدها نشان داد که میزان اکسیدهای Na_2O و K_2O ، Al_2O_3 ، SiO_2 در مناطق مرتعی و باطله ۱۰ ساله اندکی بیشتر از باطله ۲۰

خصوصیات خاک و میزان فلزات سنگین در باطله‌های زغال سنگ.... صفحه ۱۰۹۷



نمودار ۱- مقایسه میانگین قابلیت هدایت الکتریکی، فسفر، سیلت، شن، رس، اسیدیتته و ماده آلی خاک در باطله‌های زغال سنگ و مراتع اطراف در شهرستان سوادکوه، استان مازندران (اختلاف معنی‌داری بین مناطق با حروف نشان داده شده است). معنی‌داری F به صورت $0.05 < p < 0.01$ ، $0.01 < p < 0.001$ است.



محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵ صفحه ۱۰۹۸

جدول ۱- میانگین (به همراه اشتباه معیار) غلظت فلزات سنگین (میلی گرم در کیلوگرم) در باطله های زغال سنگ و مراتع اطراف در شهرستان سوادکوه، استان مازندران

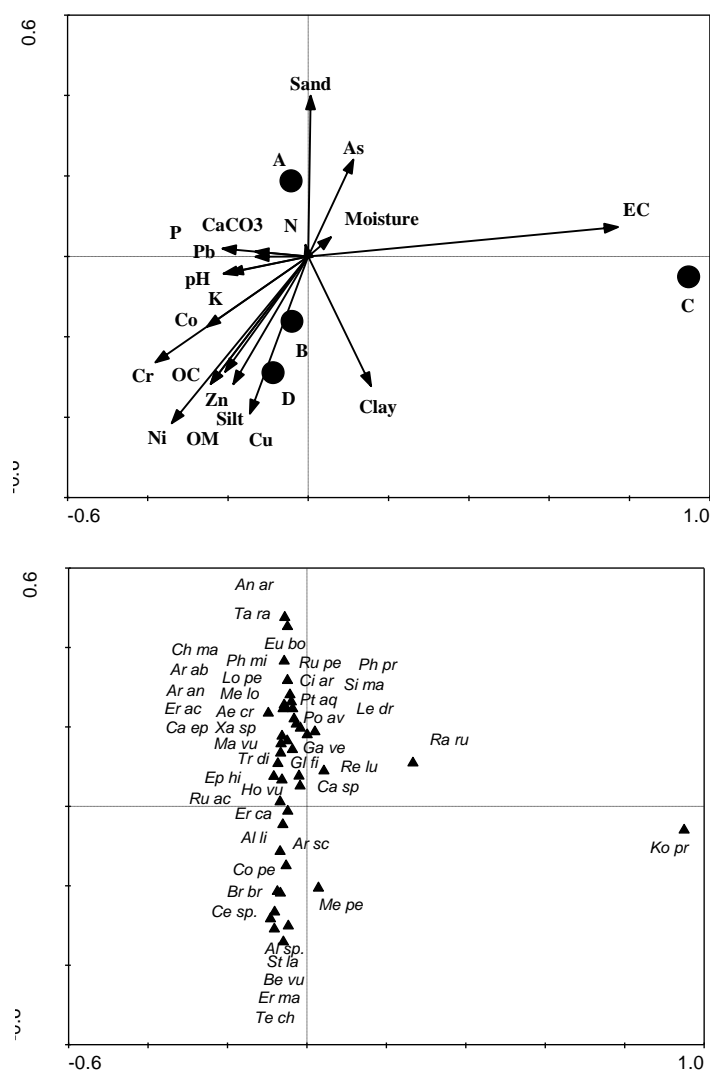
عناصر	باطله ۲۰ ساله		مرتع
	بزرگ	کوچک	
مس (Cu)	۱۰۸/۱۲±۱۲/۰۹	۱۰۶/۲۵±۱۶/۵۵	۲۳۴/۷۵±۱۱۶/۵۵
روی (Zn)	۱۴۴/۷۵±۸/۱۱	۱۳۳/۵±۴/۸۳	۱۵۳/۲۵±۱۷/۱۳
سرب (Pb)	۳۸/۲۵±۳/۲۸	۳۵/۵±۱/۵۵	۴۲/۵±۱۰/۸۲
نیکل (Ni)	۱۱۸/۶۲±۴/۴۵	۱۱۱/۵±۵/۳۳	۱۴۰/۲۵±۱۲/۷۸
کروم (Cr)	۱۵۹/۸۷±۳/۷۶	۱۵۱/۷۵±۲/۹۵	۱۹۴±۱۴/۹۸
کیالت (Co)	۱۳±۰/۸۸	۱۲/۷۵±۱/۶۵	۱۳/۷۵±۰/۹۴
آرسنیک (As)	۵±۱/۴۰	۴±۰/۷۰	۲±۰/۷۰

جدول ۲- میانگین (به همراه اشتباه معیار) درصد اکسیدهای موجود در باطله های زغال سنگ و مراتع اطراف در شهرستان سوادکوه، استان مازندران

اکسیدها	باطله ۲۰ ساله		مرتع
	بزرگ	کوچک	
سیلیس (SiO ₂)	۳۷/۵۷±۲/۷۲	۳۶/۳±۲/۸۳	۵۱/۹۱±۱/۷۸
اکسید آلومینیوم (Al ₂ O ₃)	۱۴/۵۸±۰/۸۸	۱۵/۱۱±۱/۱۸	۱۷/۰۴±۱/۳۵
اکسید فریک (Fe ₂ O ₃)	۶/۰۴±۰/۴۹	۵/۷۶±۰/۶۷	۶/۸۳±۰/۸۳
اکسید کلسیم (CaO)	۰/۷۲±۰/۱۹	۰/۳۷±۰/۰۹	۱/۳۲±۰/۱۸
اکسید سدیم (Na ₂ O)	۰/۳۴±۰/۰۲	۰/۳۰±۰/۰۲	۰/۴۶±۰/۰۶
اکسید پتاسیم (K ₂ O)	۲/۹۱±۰/۱۵	۲/۸۵±۰/۲۲	۳/۰۳±۰/۱۸
اکسید منیزیم (MgO)	۱/۵۷±۰/۰۹	۱/۵۷±۰/۰۹	۱/۸۳±۰/۱۵
دی اکسید تیتانیوم (TiO ₂)	۱/۲۶±۰/۰۵	۱/۲۶±۰/۰۳	۱/۱۶±۰/۰۵
دی اکسید منگنز (MnO)	۰/۰۶±۰/۰۰۶	۰/۰۴±۰/۰۰۲	۰/۰۸±۰/۰۱

در حالی که خصوصیاتی نظیر اسیدیت، پتاسیم، سیلت، کربن و ماده آلی، مس، روی، نیکل، کروم و کبالت با جهت منفی محور اول و منفی محور دوم همبستگی دارند. آهک، فسفر و سرب با جهت مثبت محور دوم و منفی محور اول و رس با جهت مثبت محور اول و منفی محور دوم همبستگی نشان دادند (نمودار ۲). با توجه به پراکنش گونه‌ها در دیگرام دو بعدی حاصل از آنالیز CCA مشخص شد که بیشتر گونه‌های استقرار یافته در مناطق مرتعی نظیر *Berberis*، *Stachys*، *laxa*، *Eremostachys*، *macrophylla*، *vulgaris*، *Colutea persica* و *Artemisia scoparia* تحت تأثیر بافت (سیلت و رس)، کربن آلی، ماده آلی، مس، روی، نیکل، کروم و کبالت، اسیدیت و پتاسیم بوده و در جهت منفی محور اول و منفی محور دوم قرار گرفته‌اند (نمودار ۲). استقرار گونه *Melica*

persica که از گونه‌های غالب در باطله ۲۰ ساله کوچک است تحت تأثیر این خصوصیات به ویژه فلزات سنگین قرار دارد. در جهت مثبت محور دوم و منفی محور اول گونه‌های گیاهی باطله ۲۰ ساله بزرگ مانند *Glaucium*، *Hordeum vulgare* و *Calamagrostis epigejos*، *fimbrilligerum* و *Phleum pretense* که از گونه‌های پیشگام در باطله‌ها نیز به شمار می‌آیند، قرار دارند که با آرسنیک، شن، آهک، فسفر و سرب و ازت همبستگی دارند (نمودار ۲). مهمترین عامل مؤثر بر استقرار گونه‌ها در باطله ۱۰ ساله، قابلیت هدایت الکتریکی بوده که موجب تفکیک این منطقه شده است. گونه *Kochia prostrata* که گونه غالب در باطله ۱۰ ساله بوده، همبستگی قابل توجهی با قابلیت هدایت الکتریکی داشته و در جهت مثبت محور اول و منفی محور دوم قرار دارد (نمودار ۲).



نمودار ۲- دیاگرام دوگانه حاصل از آنالیز CCA به منظور بررسی ارتباط خصوصیات خاک و پراکنش گونه های گیاهی در باطله های زغال سنگ و مراتع اطراف در شهرستان سوادکوه، استان مازندران. A= باطله ۲۰ ساله بزرگ، B= باطله ۲۰ ساله کوچک، C= باطله ۱۰ ساله، D= مرتع

کد گونه ها: *Artemisia* (*Ar an*), (*Artemisia absinthium*) *Ar ab* , (*Anagallis arvensis*) *An ar* , (*Allium sp.*) *Al sp.* , (*Alyssum linifolium*) *Al li* , (*Aegilops crassa*) *Ae cr* , (*Artemisia scoparia*) *Ar sc* , (*annua Eremostachys*) *Er ma* , (*Epilobium hirsutum*) *Ep hi* , (*Colutea persica*) *Co pe* , (*Cirsium arvense*) *Ci ar* , (*Chelidonium majus*) *Ch ma* , (*Centaurea sp.*) (*macrophylla Mentha*) *Me lo* , (*Marrubium vulgare*) *Ma vu* , (*Lolium perenne*) *Lo pe* , (*Lepidium draba*) *Le dr* , (*Kochia prostrate*) *Ko pr* , (*Hordeum vulgare*) *Ho vu* , (*Rapistrum rugosum*) *Ra ru* , (*Pteridium aquilinum*) *Pt aq* , (*Polygonum aviculare*) *Po av* , (*Pheleum pretense*) *Ph pr* , (*Phalaris minor*) *Ph mi* , (*Melica persica*) *Me pe* , (*longifolia Tamarix*) *Ta ra* , (*Stachys laxa*) *St la* , (*Silybum marianum*) *Si ma* , (*Rubus persicus*) *Ru pe* , (*Rumex acetosella*) *Ru ac* , (*Reseda lutea*) *Re lu* , (*Rapistrum rugosum*) (*Xanthium spinosum*) *Xa sp* , (*Trachynia distachya*) *Tr di* , (*Teucrium chamaedrys*) *Te ch* , (*Tamarix ramosissima*)

۴. بحث و نتیجه گیری

ایجاد انباشت‌های باطله معدنی زغال سنگ در مناطق معدنی پس از برداشت مواد معدنی بسیار متداول است (Yazdi, 2003). این باطله‌ها خود دارای ویژگی‌های بسیار نامطلوب هستند که از بارزترین آن می‌توان به کمبود عناصر غذایی و سمیت آن‌ها اشاره کرد (Bradshaw, 1997). مهم‌ترین پیش شرط برای احیای زیست‌بوم‌های اراضی معدنکاری شده، بهبود شرایط خاک است (Sourkova *et al.*, 2005). در این تحقیق به مطالعه خصوصیات خاک و ارتباط آن با پوشش گیاهی پرداخته شده است.

در بررسی پارامترهای خاک مشخص شد که باطله ۱۰ ساله دارای بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی است. اگر چه میزان قابلیت هدایت الکتریکی در محدوده مجاز است اما علت اختلاف مقادیر آن در مناطق، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالعات Gholipour و همکاران (2010)، باطله ۱۰ ساله دارای پتانسیل زیاد تشکیل زهاب اسیدی است. در نتیجه تماس طولانی مدت زهاب اسیدی با کانی‌های سولفیدی، غلظت SO_4^{2-} همزمان با اکسایش پیریت افزایش می‌یابد که این عامل موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی می‌شود (Bradshaw, 1997; Gholipour *et al.*, 2010).

نتایج Stewart و Daniels (1992) نیز بر افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در باطله‌های جوان تر با توجه به اکسیداسیون پیریت تأکید می‌کند. میزان فسفر در باطله ۲۰ ساله بزرگ و منطقه مرتعی بیشتر از دیگر مناطق بود. در باطله ۲۰ ساله بزرگ و منطقه مرتعی

به علت شرایط مطلوب تر از جمله کربن آلی بیشتر در نتیجه وجود پوشش گیاهی زیاد و میزان بالاتر رس، مقادیر فسفر زیاد است. نتایج Tan (1993)، Sadhu و همکاران (2012) و Hou و همکاران (2014) نشان داد که میزان کربن آلی و رس خاک با جذب فسفر همبستگی دارد. با توجه به نتایج مربوط به میزان رس، دلیل فراوانی رس در باطله ۱۰ ساله احتمالاً مربوط به میزان آرژیلایت، میکا و کائولینیت است (Stewart & Daniels, 1992). یکی از دلایل میزان بالای رس در مناطق مرتعی را می‌توان به حضور پوشش گیاهی بیشتر نسبت داد، زیرا نقش مهمی در حفاظت از سطح خاک در برابر فرسایش آبی و بادی دارد و به تجمع و انباشتگی ذرات ریز مثل رس و سیلت کمک می‌کند (Singh *et al.*, 2002). دامنه‌های شیبدار و عاری از پوشش گیاهی باطله‌ها مستعد آبرشویی زیاد است و ذرات ریزدانه مثل رس و سیلت بیشتر از محیط خارج می‌شوند (Navarro *et al.*, 2008). عامل آتش‌سوزی هم بر میزان رس باطله‌ها تأثیرگذار است، ساختار بلوری کانی‌های رسی در دماهای زیاد متلاشی می‌شوند (Ribeiro *et al.*, 2010). با توجه به مشاهدات بیشترین میزان خودسوزی متعلق به باطله ۲۰ ساله بزرگ بوده و کمترین میزان رس هم در آن مشاهده شد. با گذشت زمان هوازگی باطله‌ها منجر به افزایش ذرات ریز مثل سیلت می‌شود. با توجه به عمر کمتر باطله‌های معدنی نسبت به خاک مناطق اطراف، هوازگی کمتر اتفاق افتاده و کمتر به ذرات ریز تجزیه شده است (Down, 1975). میزان شن زیاد باطله‌ها بیانگر بالا بودن کوارتز است که در یافته‌های Barnhisel و

باطله‌ها کمترین میزان کربن مربوط به باطله ۱۰ ساله است که ناشی از اسیدیته بالا، سرعت تجزیه کم و پوشش گیاهی کم با توجه به سن کمتر این باطله است.

میزان و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق معدنی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و درجه معدنی شدن باطله‌ها بستگی دارد (Johnson *et al.*, 2000). غلظت‌های فلزات سنگین عمدتاً توسط فاکتورهای خاک مثل pH، ماده آلی، قدرت یونی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت، دما، شوری، لیگاندها، میکروب‌ها و ترکیب کانی‌شناسی و ژئوشیمی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Sherene, 2010; Sklodowski *et al.*, 2006; Mrutu & Luilo, 2013). سن باطله‌ها نیز عاملی اثرگذار بر غلظت عناصر سنگین است. به طوری که با افزایش سن باطله‌ها غلظت فلزات نیز افزایش می‌یابد. به این ترتیب غلظت فلزات در باطله ۱۰ ساله کمتر از باطله ۲۰ ساله کوچک و باطله ۲۰ ساله بزرگ است. با افزایش سن باطله میزان pH و ماده آلی افزایش یافته و در نتیجه جذب فلزی افزایش می‌یابد. این عمل موجب تثبیت فلزات در خاک می‌شود. بررسی میزان اکسیدهای موجود، حاکی از درصد بالاتر اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 ، K_2O و Na_2O در مناطق مرتعی و باطله ۱۰ ساله در نتیجه میزان بالاتر رس است. در بررسی‌های مشابه، Christanis و همکاران (1998)، Alexandra و Paul (2004) و Yazdi و Esmailnia (2004) گزارش کرده‌اند که این اکسیدها وابسته به رس و کانی‌های رسی هستند. در همین راستا، Christanis و همکاران (1998)،

Massey (1969) نیز به آن اشاره شده است. هم‌چنین به دنبال آبشویی سطح این باطله‌ها مقدار زیادی از ذرات ریزدانه مثل رس و سیلت از محیط خارج می‌شوند (Haigh, 1992). به واسطه همین امر میزان شن در باطله‌ها بیشتر است. با توجه به میزان زیاد پیریت در باطله‌های زغال سنگ نسبت به خاک مناطق مرتعی و اکسیداسیون این کانی‌ها و تشکیل زهاب اسیدی، pH در این مناطق کاهش می‌یابد و خاک اسیدی می‌شود. علت اسیدی‌تر بودن باطله ۳ وجود مقدار زیادتر پیریت و سولفات و در نتیجه اکسیداسیون بیشتر است (Navarro *et al.*, 2008). مقدار بیشتر کربنات و شرایط خنثی‌سازی موجب میزان بالاتر pH در باطله ۲۰ ساله بزرگ و باطله ۲۰ ساله کوچک نسبت به باطله ۱۰ ساله شده است (Navarro *et al.*, 2008). مطالعات بسیاری pH پایین را مهم‌ترین عامل محدودیت رشد، بقا و استقرار گونه‌های گیاهی در باطله‌های معدنی زغال سنگ می‌دانند (Bradshaw & Chadwick, 1980; Stewart & Daniels, 1992; Hazarika *et al.*, 2006). میزان کربن آلی در باطله‌های معدنی کمتر از میزان کربن آلی خاک مناطق مرتعی است. نتایج ما با نتایج Sadhu و همکاران (2012) و Sheoran و همکاران (2010) مطابقت دارد. به علت پوشش گیاهی زیاد، pH مناسب، فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها و سرعت تجزیه بالاتر، میزان کربن آلی در خاک مرتعی بیشتر است. pH پایین، پوشش گیاهی کم، دمای بیشتر باطله‌ها با توجه به سوختن خود به خودی و فعالیت کم موجودات خاکزی موجب میزان کمتر کربن آلی در این مناطق می‌شود. در بین

۲۰ ساله کوچک به سبب pH تقریباً مشابه آنها است. بافت خاک نقش مهمی در تحرک فلزات خاک دارد. خاک رس در مقایسه با خاک شنی مقادیر بالایی از فلزات را دارد (Sherene, 2010). Mrutu & Luilo (2013) بیان کردند رس هم مانند ماده آلی مسئول نگه داشت فلزات سنگین در خاک است. با توجه به این موارد، علت میزان بالاتر فلزات سنگین در مناطق مرتعی قابل توجیه است. در منطقه مرتعی و باطله-های متروک اطراف مقادیر مس، روی، نیکل و کروم در محدوده غلظت بحرانی قرار دارند. دمای زیاد خاک موجب افزایش تخریب ماده آلی خاک و در نتیجه آزادسازی اسیدهای آلی می‌شود که تحرک فلزات سنگین را در خاک افزایش می‌دهد (Sherene, 2010). احتمالاً یکی از دلایل کاهش غلظت فلزات در باطله‌ها می‌تواند ناشی از دمای زیاد آنها در اثر واکنش‌های موجود باشد.

بررسی نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره CCA نشان داد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در پراکنش گونه‌های گیاهی بسیار تأثیرگذار بوده است. گونه‌های غالب مناطق مرتعی *Artemisia* *Berberis vulgaris* و *Stachys laxa scoparia* بوده که با فلزات سنگین، ماده آلی، اسیدپت و سیلت و رس همبستگی دارند. *Artemisia scoparia* و *Melica persica* که از گونه‌های غالب باطله ۲۰ ساله کوچک هستند نیز با این خصوصیات همبستگی دارند. گونه *Melica persica* بیشتر تحت تأثیر رس است. مناطق مرتعی به علت مجاورت با باطله‌های معدنی تحت تأثیر فلزات سنگین قرار دارند. به علت وجود پوشش گیاهی بیشتر و در نتیجه میزان بیشتر

Yazdi و Esmailnia (2004) خاستگاه اکسیدهای CaO، MgO و MnO را به کانی‌های کربناته نسبت دادند. بنابراین درصد بالاتر این اکسیدها در مناطق مرتعی و باطله ۲۰ ساله بزرگ را می‌توان ناشی از کانی‌های کربناتی بیشتر دانست.

ماده آلی خاک یک فاکتور کلیدی در جذب فلزات است و به همراه pH مهمترین عامل کنترل‌کننده پراکنش فلزات سنگین است (Nyamangara & Mzezewa, 1999; Sherene, 2010). آنالیز فلزات سنگین نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت فلزات مس، سرب، روی، کروم، کبالت و نیکل متعلق به مناطق مرتعی و باطله ۱۰ ساله بوده که با میزان ماده آلی موجود در این مناطق ارتباط مستقیم دارد. هرچه ماده آلی خاک بیشتر باشد، آن خاک توانایی بالایی در حفظ و تجمع فلزات را دارد (Etim & Adie, 2012). زیرا ماده آلی کمپلکس قوی با فلزات سنگین تشکیل می‌دهد و موجب کاهش تحرک فلزات می‌شود (Mclean & Bledsoe, 1992; Bradshaw, 1997; Sklodowski et al., 2006). در مقادیر پایین pH به دلیل رقابت زیاد یون‌های هیدروژن (H+) با کاتیون‌های فلزی در تشکیل کمپلکس با ماده آلی، جذب فلزی کاهش می‌یابد و در نتیجه تحرک فلزات سنگین افزایش می‌یابد (Mclean & Bledsoe, 1992). میزان همه کاتیون‌های فلزی مورد مطالعه با افزایش pH در مناطق مرتعی افزایش و با کاهش pH در باطله‌ها کاهش یافتند. کمترین غلظت فلزات سنگین در باطله ۱۰ ساله مشاهده شد که کمترین pH را دارد. غلظت بسیار نزدیک فلزات در باطله ۲۰ ساله بزرگ و باطله

باطله ۱۰ ساله، عامل اصلی سازگاری و غالبیت گونه *Kochia prostrata* است. در این پژوهش مشخص شد که فلزات سنگین، قابلیت هدایت الکتریکی و باف خاک از عوامل مؤثر در استقرار گونه‌های گیاهان هستند. گونه‌های بومی به علت سازگاری با محیط و استقرار سریع و مقاومت آن‌ها در طولانی‌مدت برای احیای اراضی معدنی قابل توصیه هستند. گونه‌های *Artemisia scoparia*، *Calamagrostis epigejos*، *Kochia prostrata*، *Phleum Melica persica*، *Lolium perenne*، *Glaucium Rumex acetosella*، *pratense* و *Berberis vulgaris fimbriigerum* را می‌توان به عنوان گونه‌های مقاوم و با پتانسیل بالای احیای مناطق معدنی پیشنهاد کرد.

ماده آلی، تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین به شکل پایدارتری ایجاد می‌گردد که موجب تثبیت فلزات می‌شود. در منطقه مرتعی اسیدیته، ماده آلی و رس نقش عمده‌ای در تثبیت فلزات دارند که نشان‌دهنده همبستگی شدید این عوامل است. گونه‌های *Glaucium Hordeum vulgare*، *Calamagrostis epigejos fimbriigerum*، *Phleum pretense* و *Rumex acetosella* که از گونه‌های غالب و پیشگام در باطله ۲۰ ساله بزرگ به شمار می‌آیند تحت تأثیر شن، آرسنیک، فسفر و سرب هستند. Lehmann و Rebele (2004) و Gaweda (2009) گونه‌های *Calamagrostis epigejos* و *Rumex acetosella* را به عنوان گونه‌های مقاوم به سرب معرفی کردند. شن مهمترین عامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی در باطله ۲۰ ساله بزرگ است. هدایت الکتریکی و شوری زیاد در

References

Alexandra, N.G., Paul, F.C., 2004. Changes in geochemistry and mineralogy of thermally altered coal, Upper Hunter Valley, Australia. International Journal of Coal Geology 57(3-4), 197-210.

Alloway B.J. (1990) Heavy Metals in Soils. Blackie and Glasgow, London.

Barnhisel, R.I., Massey, H.F., 1969. Chemical, mineralogical and physical properties of eastern Kentucky acid-forming coal spoil materials. Soil Science 108(5), 367-372.

Bradshaw, A.D., 1997. Restoration of mined lands using natural processes. Ecological Engineering 8(4), 255-269.

Bradshaw, A.D., Chadwick, M.J., 1980. The Restoration of Land. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 317 p.

Cao, X., 2007. Regulating mine land reclamation in developing countries: the case of China. Land Use Policy 24(2), 472- 483.

Christanis, K., Georgakopoulos, A., Fernandez-Turiel, J.L., Bouzinos, A., 1998. Geological factors influencing the concentration of trace element in the Philippi peatland, eastern Macedonia, Greece. International Journal of Coal Geology 36(3-4), 295-313.

Down, C.G., 1975. Soil development on colliery waste trips in relation to age. I. Introduction and physical factors. Journal of Applied Ecology 12(2), 613-622.

- Dutta, R.K., 1999. Performance and impact of selected exotic plant species on coal mine spoil. PhD thesis. Banaras Hindu University. Varanasi, India, 140p.
- Etim, E.U., Adie, G.U., 2012. Assessment of toxic heavy metal loading in topsoil samples within the vicinity of a limestone quarry in South Western Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology* 6(8), 322-330.
- Gaweda, M., 2009. Heavy metal content in common sorrel plants (*Rumex acetosella* L.) obtained from natural sites in Malopolska Province. *Polish Journal of Environmental Studies* 18(2), 213-218.
- Gholipour, M., Mazaheri, S.A., Raghimi, M., Shamanian, G.H., 2009. Study of geochemistry and mineralogy in Karmozd coal Basin Central Alborz, Mazandaran Province. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 17(4), 655-670. (in Persian)
- Gholipour, M., Mazaheri, S.A., Raghimi, M., Shamanian, G.H., 2010. The role of acid mine drainage (AMD) in formation of environmental minerals in Karmozd coal mines, Central Alborz, Mazandaran Province. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 18(3), 445-460. (in Persian)
- Gray, H.J., 1982. Plant dispersal and colonization. In: Davies, B.M.K. (Eds.), *Ecology of Quarries*. NERC/ITE, Cambridge, UK, pp. 27-31.
- Haigh, M.J., 1992. Problems in the reclamation of coal-mine disturbed lands in Wales. *International Journal of Surface Mining and Reclamation* 6(1), 31-37.
- Hazarika, P., Talukdar, N.C., Singh, Y.P., 2006. Natural colonization of plant species on coal mine spoils at tikak colliery, Assam. *Tropical Ecology* 47(1), 37-46.
- Hou, E., Chen, C., Wen, D., Liu, X., 2014. Relationships of phosphorus fractions to organic carbon content in surface soils in mature subtropical forests, Dinghushan, China. *Soil Research* 52(1), 55-63.
- Huang, L.N., Tang, F.Z., Song, Y.S., Wan, C.Y., Wang, S.L., Liu, W.Q., Shu, W.S., 2011. Biodiversity, abundance, and activity of nitrogen-fixing bacteria during primary succession on a copper mine tailings. *Microbial Ecology* 78(3), 439-450.
- Jafari Haghghi, M., 2003. *Methods of Soil Analysis, sampling and analysis of physical and chemical principles with emphasis on theoretical and practical*. Nedaye Zoha press, Tehran, 263 p. (in Persian)
- Jochimsen, M., Hartung, J., Fischer, I., 1995. Spontaneous and artificial recultivation of slag heaps of hard coal and brown coal mining in Hannover of Germany. *Reports of the Reinhold Tuexen Society* 7, 69-88.
- Johnson, R.H., Blowes, D.W., Robertson, W.D., Jambor, J.L., 2000. The hydrogeochemistry of the nickel rim mine tailings impoundment, Sudbury, Ontario. *Journal of Contaminant Hydrology* 41, 49-80.
- Jones AA. 1982. X-ray fluorescence spectrometry. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR, (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Madison (WI): Agronomy 9. pp. 85-121.
- Lehmann, C., Rebele, F., 2004. Evaluation of heavy metal tolerance in *Calamagrostis epigejos* and *Elymus repens* revealed copper tolerance in a copper smelter population of *C. epigejos*. *Environmental and Experimental Botany* 51(3), 199-213.
- Li, M.S., 2006. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A

review of research and practice. *Science of the Total Environment* 357, 38-53.

Mclean, J.E., Bledsoe, B.E., 1992. Behavior of Metals in Soils. United States Environmental Protection Agency (EPA). 25 p.

Mrutu, A., Luilo, G.B., 2013. Data mining using multivariate statistical analysis: the case of heavy metals in sediments of the Msimbazi creek mangrove wetland. *Environmental Skeptics and Critics* 2(4), 153-163.

Navarro, M.C., Perez-Sirvent, C., Martinez-Sanchez, M.J., Vidal, J., Tovar, P.J., Bech, J., 2008. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration* 96(2-3), 183-193.

Nyamangara, J., Mzezewa, J., 1999. The effects of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 73(3), 199-204.

Pedrol, N., Puig, C.G., Souza, P., Forjan, R., Vega, F.A., Asensio, V., Gonzalez, L., Cerqueira, B., Covelo, E.F., Aundrade, L., 2010. Soil fertility and spontaneous revegetation in lignite spoil banks under different amendments. *Soil and Tillage Research* 110(1), 134-142.

Redgwell, C., 1992. Abandonment and reclamation obligations in the United Kingdom. *Journal of Energy and Natural Resources Law* 10(1), 59-86.

Ribeiro, J., Ferreira da Silva, E., Flores, D., 2010. Burning of coal waste piles from Douro coalfield (Portugal): Petrological, geochemical and mineralogical characterization. *International Journal of Coal Geology* 81(4), 359-372.

Sadhu, K., Adhikari, K., Gangopadhyay, A.,

2012. Effect of mine spoil on native soil of lower Gondwana coal fields: Raniganj coal mines areas, India. *International Journal of Environmental Sciences* 2(3), 1675-1687.

Shao, X., 2005. The environmental management of mining area in Australia and lesson for China. *China Mining Magazine* 14(7), 48-50 (in Chinese).

Sheoran, V., Sheoran, A.S., Poonia, P., 2010. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: A review. *International Journal of Soil, Sediment and Water* 3(2), 1-20.

Sherene, T., 2010. Mobility and transport of heavy metals in polluted soil environment. *Biological Forum-An International Journal* 2(2), 112-121.

Singh, A.N., Raghubanshi, A.S., Singh, J.S., 2002. Plantations as a tool for mine spoil restoration. *Current Science* 82(12), 1436-1441.

Sitarz-Palczak, E., Kalembkiewicz, J., 2012. Study of remediation of soil contaminated with heavy metals by coal fly ash. *Journal of Environmental Protection* 3, 1373-1383.

Skłodowski, P., Maciejewska, A., Kwiatkowska, J., 2006. The effect of organic matter from brown coal on bioavailability of heavy metals in contaminated soils. *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation* 69, 299-307.

Sourkova, M., Frouz, J., Fettweis, U., Bens, O., Huttl, R.F., Santruckova, H., 2005. Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed post mining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany). *Geoderma* 129(1-2), 73-80.

Stewart, B.R, Daniels, W.L., 1992. Physical and chemical properties of coal refuse from

Southwest Virginia. Journal of Environmental Quality 21(4), 635-642.

Tan, K.H., 1993. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, New York, 362 p.

Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca NY, US, 500 p.

Tordoff, G.M., Baker, A.J.M., Willis, A.J., 2000. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. Chemosphere 41(1-2), 219-228.

Whisenant, S.G., 1999. Repairing Damaged Wildlands. A Process-Orientated, Landscape-Scale Approach. University Press, Cambridge,

312 p.

Wong, M.H., 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere 50(6), 775-780.

Yazdi, M., Esmailnia, A., 2004. Geochemical properties of coals in the Lushan coalfield of Iran. International Journal of Coal Geology 60(1), 73-79.

Yazdi, M., 2003. Coal (from origin to environmental impacts). University Press, Tehran, 263 p. (in Persian)

Yazdi, M., Esmailpur, R., Navi, P., Khakzad, A., 2010. Geochemical environmental impacts of Lavij coal deposit in the Central Alborz. Iranian Journal of Environmental Science 8(1), 1-10.

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)

Nateq Lashgari¹, Jamshid Ghorbani^{2□}, Seyed Hassan Zali³, Ghorban Vahabzadeh⁴

¹*Msc in Range Management, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,*

²*Associate Professor, Department of Range Management, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,*

³*Instructor, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,*

⁴*Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,*

Received: 10-Jul.-2015

Accepted: 11-Jan-2016

Abstract

In this study the coal waste properties and the presence of plant species were studied in three abandoned coal waste with different ages and surrounding rangeland. This was carried out in coal reserves of central Alborz in Savadkooh, Mazandaran province. Vegetation and soil were sampled using random-systematic method in 1 m² plots. According to ANOVA, there were significant differences for soil characteristics among the study areas except for moisture, lime, nitrogen and potassium. The highest amount of silt (20.26%) and acidity (7.4) was observed in rangeland, while the highest electrical conductivity (3.08 ds.m⁻¹) was found in coal waste after 10 years of abandonment. The amount of metal cautions including copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr) and cobalt (Co) in the rangeland were a little higher than that in coal wastes and gradually increased with increasing in wastes age. The results of CCA showed that the distribution of species composition significantly responded to soil properties and heavy metals. In general, electrical conductivity, soil texture and heavy elements were the main soil factors influencing the primary establishment of species composition.

Keywords: Heavy metals, Coal waste, Succession, Reclamation, Central Alborz