دانشکده معدن، نفت، ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پیامد فرآیند زغال‌شویی بر زیست انباشتگی برخی عناصر کمیاب در گیاهان بومی منطقه کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه زیراب

دانشجو

سمانه صفری سنجانی

اساتید راهنما

دکتر آرزو عابدی

دکتر حمیدرضا اصغری

اساتید مشاور

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

دکتر علی اکبر صفری سنجانی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۰

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیز و خواهران مهربانم تقدیم می کنم.

سپاس

سپاس او را که در سایه پر مهر و عنایتش قدمی هرچند کوچک، برای رسیدن به ذره ای از علم بیکرانش پیمودم.

از پدر و مادر مهربان و خواهران عزیزم که در سخت ترین شرایط زندگی همواره پشتیبان و مشفقم بوده اند صمیمانه سپاسگزارم.

از اساتید راهنمای گرامی سرکار خانم دکتر آرزو عابدی و جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری که در طول انجام این پژوهش با صبر و حوصله و علاقه مندی در همه زمینه ها با راهنمایی ها و ارشادات ارزنده خود مرا یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از اساتید مشاور بزرگوارم جناب آقای دکتر فرامرز دولتی اردهجانی و جناب آقای دکتر علی اکبر صفری سنجانی که با مشاوره های ارزشمندشان در هر چه پربار شدن پایان نامه یاری ام نمودند تشکر می نمایم.

صمیمانه از جناب آقای دکتر شفایی بابت همکاری در اجرای پایان نامه و جناب آقای دکتر ضیایی بابت هماهنگی برای نمونه برداری قدردانی می نمایم.

از مسئول دفتر دانشکده جناب آقای شاه حسینی بابت تلاش های دلسوزانه در روند انجام امور اداری نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از مسئولین محترم آزمایشگاه، آقایان مهندس نادری، مهندس حسین پور، مهندس مطهری، مهندس شاکری سپاسگزارم.

از خانم مهندس حسینی و کلیه پرسنل کارخانه زغال شویی انجیرتنگه بابت همکاری در انجام نمونه برداری متشکرم.

در پایان از دوستان عزیزم که در طول انجام این پایان نامه از همفکری و همکاریشان استفاده نمودم نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

سمانه صفری سنجانی

۱۶ بهمن ۱۳۹۰

تعهد نامه

اینجانب **سمانه صفری سنجانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن- اکتشاف** دانشکده معدن دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پیامد فرآیند زغال‌شویی بر زیست انباشتگی برخی عناصر کمیاب در گیاهان بومی منطقه کارخانه زغال‌شویی انجیر تنگه زیراب تحت راهنمائی دکتر آرزو عابدی و حمیدرضا اصغری متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

کارخانه زغال‌شویی انجیر تنگه زیراب در سال ۱۳۶۷ به منظور فرآوری زغال‌سنگ استخراج شده از معادن کارمزد، کارسنگ و کیاسر بنا شده است. در نتیجه فعالیت این کارخانه در حدود ۱/۵ میلیون تن باطله در نزدیکی رودخانه دلیلم که در مجاورت این کارخانه جریان دارد انباشته شده است. در این پژوهش به بررسی اثرات زیست محیطی این باطله‌ها بر گیاهان پیرامون خود پرداخته شد و نقش باطله‌ها، گونه‌های گیاهی و فصل رشد بر رشد گیاهان و انباشتگی فلزها در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که غلظت فلزها در خاک و بیشتر گیاهان اطراف این باطله‌ها در حد نرمال بود و باطله‌ها منجر به آلوده شدن خاک و گیاه پیرامون خود نشده است، این باطله‌ها تنها باعث بالا رفتن غلظت کرم در خاک و کادمیوم در گیاهان مجاور خود نسبت به گیاهان منطقه شاهد شدند و بین غلظت فلزهای دیگر در گیاهان نزدیک دمپ با منطقه شاهد تفاوتی دیده نشد. نتایج نشان داد که گونه‌های گیاهی مختلف توانایی متفاوتی در جذب فلزها نشان دادند. چنانچه در نمونه‌های مورد بررسی در فصل تابستان، گیاه افسنطین بیشترین توانایی برای جذب فلزهای کرم و سرب و گیاه سلمه کمترین توانایی را نشان داد. غلظت فلزها در گیاهان در فصل پاییز در سنجش با غلظت آن‌ها در گیاهان تابستان بیشتر بود که می‌تواند به دلیل زمان بیشتر برای جذب فلز در گیاه در این فصل باشد. کشت گلخانه‌ای شبدر در باطله‌های زغال‌شویی نشان داد که مقدار فسفر قابل استفاده برای گیاهان در این باطله‌ها کم است به طوری که گیاهانی که بر روی این باطله‌ها رشد می‌کنند دچار کمبود فسفر می‌شوند. در بررسی گیاه‌بهسازی، نتایج کشت گلخانه‌ای نشان داد که شبدر می‌تواند کادمیوم را از خاک جذب کند و در ریشه نگه دارد. از این ویژگی گیاه می‌توان برای نگه داشتن کادمیوم در این باطله‌ها و جلوگیری از انتقال آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک مناطق اطراف استفاده کرد.

کلمات کلیدی: زغال‌سنگ، فلزهای سنگین، گیاهان، گیاه بهسازی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

صفری س. عابدی آ. اصغری ح،(۱۳۹۰)، "بررسی آلودگی دو گیاه پنجه‌مرغی (*Cynodon dactylon*) و شبدر (*Trifolium* Sp) به برخی فلزات سنگین در اطراف کارخانه زغالشویی انجیر تنگه". کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود.

صفری س. عابدی آ. اصغری ح،(۱۳۹۰)، " انباشتگی فلزات کادمیوم، مس و مولیبدن در گیاهان اطراف کارخانه زغالشویی انجیرتنگه زیراب ". همایش انجمن زمین ایران،

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۵

۱-۳ آب و هوای منطقه ۶

۱-۴ زمین شناسی منطقه ۷

۱-۵ مروری بر پژوهش‌های انجام شده در منطقه کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه ۹

۱-۶ ضرورت انجام و هدف از پژوهش ۱۰

۱-۷ روش مطالعه ۱۲

فصل دوم: نمونه برداری ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه زیراب ۱۴

۲-۳ نمونه برداری از خاک و گیاه در بررسی میدانی ۱۵

۲-۳-۱ جایگاه نمونه برداری ۱۶

۲-۳-۲ آماده سازی نمونه‌های گیاهی ۲۰

۲-۳-۳ آماده سازی نمونه‌های خاک ۲۱

۲-۳-۴ خاک بکار رفته برای کشت ۲۱

۲-۳-۵ نمونه برداری گیاهان پس از کشت ۲۲

۲-۳-۶ نمونه برداری از خاک گلدان‌ها پس از کشت ۲۲

۲-۴ روش آنالیز ۲۲

۲-۵ اندازه‌گیری کلروفیل در برگ ۲۳

۲-۶ تجزیه آماری ۲۴

فصل سوم: بررسی میدانی کارخانه زغال‌شویی ۲۵

۳-۱ مقدمه ۲۶

۳-۲ ژئوشیمی زغال‌سنگها ۲۶

۳-۳ گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه ۲۹

۳-۴ ارزیابی پیامد باطله‌های کارخانه زغال‌شویی بر غلظت فلزها در گیاهان فصل پاییز ۳۴

۳-۴-۱ بررسی انباشتگی فلزها در گیاهان نمونه برداری شده در فصل پاییز ۳۵

۳-۴-۲ پیامد باطله زغال‌شویی بر غلظت فلزها در گیاهان در فصل پاییز ۴۴

۳-۵ ارزیابی پیامد باطله‌های کارخانه زغال‌شویی بر غلظت فلزها در خاک و گیاهان در فصل تابستان ۴۵

۳-۵-۱ غلظت فلزها در خاک ۴۶

۳-۵-۲ بررسی انباشتگی فلزها در گیاهان نمونه‌برداری شده در فصل تابستان ۴۹

۳-۵-۳ ارزیابی پیامد گونه گیاه و باطله زغال‌شویی بر غلظت فلزها در گیاهان تابستانه ۵۳

۳-۶ پیامد فصل رشد بر غلظت فلزها در گیاهان ۵۶

۳-۷ همبستگی میان عناصر در گیاهان در فصل تابستان ۵۷

۳-۸ نتیجه‌گیری ۵۸

فصل چهارم: کشت گلخانه ای گیاه در باطله زغال‌شویی ۵۹

۴-۱ مقدمه ۶۰

۴-۲ گیاه بهسازی ۶۰

۴-۲-۱ روش‌های گیاه بهسازی ۶۱

۴-۳ کاشت گیاه شبدر در باطله زغال‌شویی ۶۷

۴-۴ غلظت عناصر در خاک پس از برداشت ۶۸

۴-۴-۱ غلظت کل عناصر در خاک پس از برداشت گیاه ۶۹
۴-۴-۲زیست فراهمی عناصر پس از برداشت گیاه ۷۰
۴-۴-۳ غلظت کربن آلی و نیتروژن کل در خاک پس از برداشت ۷۲
۴-۵ وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ۷۳
۴-۶ کلروفیل و کارتینوئید برگ ۷۴
۴-۷غلظت عناصر در اندام هوایی شبدر در کشت گلدانی در خاکهای گوناگون ۷۶
۴-۸ غلظت عناصر در اندام زیرزمینی شبدر در کشت گلدانی در خاکهای گوناگون ۷۸
۴-۹ بررسی توانایی گیاه شبدر در بهسازی فلزها در خاک ۸۰
۴-۹-۱ فاکتور ترابری عناصر ۸۰
۴-۹-۲ فاکتور گردآوری ۸۲
۴-۹-۳ فاکتور تغلیظ زیستی ۸۳
۴-۱۰ نتیجه‌گیری ۸۵
فصل پنجم: خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۶
۵-۱ خلاصه ۸۷
۵-۲ نتیجه‌گیری ۸۸
۵-۳ پیشنهادها ۸۹
منابع ۹۱

فهرست شکل‌ها

شکل۱- ۱. نقشه راه ارتباطی کارخانه زغال‌شویی زیراب ۵

شکل ۱- ۲. نقشه زمین شناسی حوزه معدن کارمزد و موقعیت کارخانه زغال‌شویی زیرآب (برگرفته از دماگ، ۱۹۶۲). ۸

شکل ۲- ۱. نمایی از کارخانه زغالشویی و باطله‌های کارخانه ۱۵

شکل ۲-۲. نمایی از گیاهان رشد یافته در پایین دمپ باطله ۱۶

شکل ۲- ۳. جایگاه نمونه برداری گیاهان در منطقه کارخانه زغالشویی زیراب ۱۸

۲-۴. نمایی از گیاهان دم اسب و پنجه‌مرغی رشد یافته کنار حوضچه ته‌نشینی ۱۹

شکل ۲-۵. نمایی از گیاهان دم اسب و نی رشد یافته در حوضچه کنار دمپ ۱۹

شکل ۲-۶. آماده سازی نمونه‌های گیاهی ۲۰

شکل ۲-۷ . آماده سازی نمونه‌های گیاهی برای آنالیز ۲۱

شکل ۲-۸. اندازه گیری کلروفیل در برگ ۲۴

شکل ۳-۱. تصاویر گیاهان شناسایی شده در منطقه ۳۱

شکل ۳-۲. غلظت فلز کادمیوم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۳۶

شکل ۳ -۳. غلظت فلز کروم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۳۷

شکل ۳-۴. غلظت فلز کبالت در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۳۸

شکل ۳-۵. غلظت فلز سرب در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۳۹

شکل ۳-۶. غلظت فلز مس در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۴۰

شکل ۳-۷. غلظت فلز نیکل در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۴۱

شکل ۳-۸. غلظت فلز مولیبدن در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۴۲

شکل ۳-۹. غلظت فلز روی در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۴۳

شکل ۳-۱۰. میانگین غلظت فلزها در گیاهان پیرامون کارخانه و منطقه شاهد ۴۴

شکل ۳-۱۱. غلظت فلز سرب در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۵۱
شکل ۳-۱۲. غلظت فلز کروم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۵۲
شکل ۳-۱۳. غلظت فلز کادمیوم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب ۵۳
شکل ۳-۱۴. میانگین غلظت کادمیوم در گیاهان منطقه شاهد و پیرامون کارخانه زغالشویی زیراب ۵۶
شکل ۳-۱۵. میانگین غلظت فلزها در گیاه دم اسب و نی در فصل پاییز و تابستان ۵۷
شکل ۴-۱. کشت گلدانی شبدر در گلخانه در سه نوع خاک در چهار تکرار ۶۸
شکل ۴-۲. تفاوت رنگ برگ‌های شبدر کاشته شده در باطله زغال‌شویی و خاک کشاورزی. ۷۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۳- ۱. میانگین غلظت عناصر جزئی و نادر در زغال‌سنگهای کارمزد، لوشان، چین، آمریکا، جهان و کلارک ۲۸

جدول ۳- ۲. گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه کارخانه زغالشویی زیراب ۳۰

جدول۳-۳. غلظت فلزها در گیاهان در فصل پاییز ۳۵

جدول ۳-۴. آزمون میانگین تی- استیودنت غلظت فلزها در گیاهان نمونه برداری شده از خاک‌های پیرامون کارخانه زغال‌شویی و منطقه شاهد ۴۵

جدول ۳-۵. غلظت فلزهای کادمیوم، کروم و سرب در خاک ۴۷

جدول۳-۶. تجزیه واریانس غلظت فلزها در خاک در فصل تابستان ۴۸

جدول ۳-۷. آزمون میانگین دانکن غلظت کروم در خاک پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب و منطقه شاهد ۴۹

جدول ۳-۸. غلظت فلزها در گیاهان در فصل تابستان ۵۰

جدول ۳-۹. تجزیه واریانس غلظت فلزها در گونه‌های گیاهی و خاک در فصل تابستان ۵۴

جدول ۳-۱۰. آزمون میانگین دانکن غلظت کادمیوم و کروم در گونه‌های گیاهی ۵۵

جدول۳-۱۱. همبستگی میان عناصر در گیاهان ۵۷

جدول ۴-۱. غلظت عناصر کل و فراهم در خاک پس از برداشت گیاه شبدر ۶۹

جدول ۴-۲. تجزیه واریانس غلظت کل عناصر در خاک پس از برداشت گیاه ۷۰

جدول ۴-۳. آزمون میانگین دانکن غلظت آهن در خاک پس از برداشت گیاه ۷۰

جدول ۴-۴. تجزیه واریانس غلظت عناصر فراهم در خاک پس از برداشت گیاه ۷۱

جدول ۴-۵. آزمون میانگین دانکن غلظت فسفر و آهن فراهم(میکروگرم بر گرم) در خاک‌ها ۷۱

جدول ۴-۶. تجزیه واریانس غلظت کربن آلی و نیتروژن در خاک ۷۲

جدول ۴-۷. آزمون میانگین دانکن نیتروژن و کربن آلی در خاک (٪) پس از برداشت گیاه ۷۳

جدول ۴-۸. وزن خشک ریشه و اندام هوایی شبدر ۷۳
جدول۴-۹. تجزیه واریانس وزن خشک ریشه و اندام هوایی ۷۴
جدول۴-۱۰. مقدار کلروفیل و کارتینوئید برگ ۷۵
جدول۴-۱۱. تجزیه واریانس کلروفیل و کارتینوئید برگ ۷۶
جدول ۴-۱۲. غلظت عناصر در اندام هوایی و ریشه ۷۶
جدول ۴-۱۳. تجزیه واریانس غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه شبدر ۷۷
جدول ۴-۱۴. آزمون دانکن میانگین غلظت فسفر و کادمیوم در اندام هوایی شبدر کشت شده در خاک-های گوناگون ۷۸
جدول ۴-۱۵. تجزیه واریانس غلظت عناصر در ریشه گیاه شبدر ۷۹
جدول ۴-۱۶. آزمون میانگین دانکن غلظت کروم و فسفر در ریشه ۷۹
جدول ۴-۱۷. تجزیه واریانس فاکتور ترابری عناصر در گیاه شبدر ۸۱
جدول ۴-۱۸. آزمون میانگین فاکتور ترابری عناصر در گیاه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون ۸۱
جدول ۴-۱۹. تجزیه واریانس فاکتور گردآوری عناصر در گیاه شبدر ۸۲
جدول ۴-۲۰. آزمون میانگین فاکتور گردآوری عناصر در گیاه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون ۸۳
جدول ۴-۲۱. تجزیه واریانس فاکتور تغلیظ زیستی عناصر در گیاه شبدر ۸۴
جدول ۴-۲۲. آزمون میانگین فاکتور تغلیظ زیستی عناصر در گیاه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون ۸۴

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

زغال‌سنگ یکی از سوخت‌های بکار رفته در صنایع گوناگون و از منابع مهم تأمین انرژی است. زغال‌سنگ برداشت شده از معادن دارای ناخالصی‌های گوناگونی است که شامل خاکستر و گاهی بخش آلی مانند سولفور آلی می‌باشد. برای کاربرد زغال‌سنگ باید این ناخالصی‌ها تا حد ممکن از آن جدا شود. در فرآیند فرآوری زغال‌سنگ حجم فراوانی از باطله‌ها بدست می‌آید، این باطله‌ها دارای اندازه‌های فراوانی از کانی-های سولفیدی مانند پیریت و مارکاسیت هستند. رهاکردن باطله‌ها در زیستگاه‌های پیرامون کارخانه‌های زغال‌شویی، اکسیژن و ریزش‌های جوی شانس ساخت زهاب اسیدی را بالا می‌برد.

آب پدید آمده از ریزش‌های جوی به درون باطله‌ها فرو می‌رود و کانی‌های سولفیدی که بر رویه باطله‌ها جای دارند در تماس با اکسیژن هوا و آب ریزش‌ها اکسید شده و اسید سولفوریک ساخته می‌شود. اسید سولفوریک با کاهش pH آب‌ها در مسیر خود فلزهای سنگین مانند مس، سرب، جیوه را به شکل محلول درآورده و وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌کند (بیان[1] و همکاران، ۲۰۱۰).

بودن فلزها در خاک طبیعی است ولی اندازه‌های بیشتر از مرز نرمال آنها در خاک پس از جذب در گیاهان و رفتن به زنجیره غذایی، می‌توانند برای جانداران زیانبار باشند. بنابراین آنها از آلاینده‌های محیط زیست به شمار می‌روند. گیاهان در برابر غلظت بالای فلزها در خاک واکنش‌های گوناگونی را نشان می-دهند. بیکر و بروکس[2] (۱۹۸۹) گزارش کردند که افزایش غلظت فلزها در خاک مایه تنش در گیاه و در پی آن کاهش رشد گیاه شده که در پایان به مرگ گیاه می‌انجامد. آلودگی گیاهان با عناصری مانند سرب، روی، مس و نیکل با فعالیت‌های معدن‌کاری مایه نابودی گیاهان حساس و ماندن گیاهان پایدارتر

[1] Bian
[2] Baker and Brooks

و در پی آن رویش گونه‌های ویژه گیاهی در این زیستگاه‌های آلوده می‌شود (اسنور،[1]۱۹۹۷). در زمینه پیامد معادن زغال‌سنگ و باطله‌های ناشی از آن بر روی گیاهان پژوهش‌های زیادی در دنیا صورت گرفته است که از جمله به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

دنیلز[2] و همکاران (۱۹۸۹ و ۱۹۹۰) امکان کاشت درختان برای بازسازی و ایجاد فضای سبز در معادن زغال‌سنگ ویرجینیای آمریکا و کارخانه زغال‌شویی این معادن را بررسی کردند و گزارش کردند که برای حاصلخیزی این باطله‌ها باید به آنها ازت، فسفر و پتاسیم اضافه کرد.

مایتی[3] و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی توانایی رشد و سازگاری گونه‌های گیاهی کاشته شده بر روی دمپ باطله معدن زغال‌سنگ کا. دی. هسلانگ[4]در هند، گزارش کردند که گونه گیاهی دالبرژیاسیسو[5] سیسو نسبت به گونه‌های گیاهی دیگر رشد بهتری در شرایط اسیدی دمپ باطله دارد و برای بازسازی اینگونه باطله‌ها مناسب است. فانگ و وو[6] (۲۰۰۴) با بررسی فرآورده‌های کشاورزی منطقه زغالدار شانگ[7] در ایالت زیانگ[8] چین، غلظت بالایی از سلنیوم در ذرت، فلوئور در چای و مولیبدن و وانادیوم را در چند گونه گیاهی به دست آوردند که فراوانی سلنیوم در ذرت منجر به بروز بیماری سلنوسیس در ساکنین منطقه شده بود. آشا[9] و همکاران، (۲۰۰۸) در بررسی ویژگی باطله معدن زغال‌سنگ لاجکورا[10] در حوزه زغالی ماهاندی[11] در شمال غرب هند بر رشد گیاهان گزارش کردند که این باطله‌ها از نظر فیزیکی، شیمیایی و

[1] Schnoor
[2] Danials
[3] Maiti
[4] KD Heslong
[5] *Dalbergia sissoo*
[6] Fang and Wu
[7] Shung
[8] Ziyang
[9] Asha
[10] Lajkura
[11] Mahanadi

بیولوژیکی برای رشد گیاهان مناسب نیستند. میشرا[1] و همکاران (a ۲۰۰۸، b ۲۰۰۸ و۲۰۰۹) کاربرد گیاهان آبزی در پالایش فلزهای سنگین از پساب‌های پدید آمده از معدن زغال‌سنگ بینا[2] در هند را ارزیابی کردند و گونه‌های گیاهی *لمنا مینر*[3] *و ایچهورنیا کراسیپس*[4] و *پیستیا استراتیوتس*[5] را برای حذف حذف فلزهای سنگین از زهاب اسیدی مناسب دانستند. روی[6] و همکاران (۲۰۱۰) با کاشت گیاه *کجاناس کجان*[7] در باطله معدن حوزه زغالی دهانبد[8] در ایالت جهارخند[9] در هند کاهش عملکرد این گیاه گیاه را گزارش کردند.

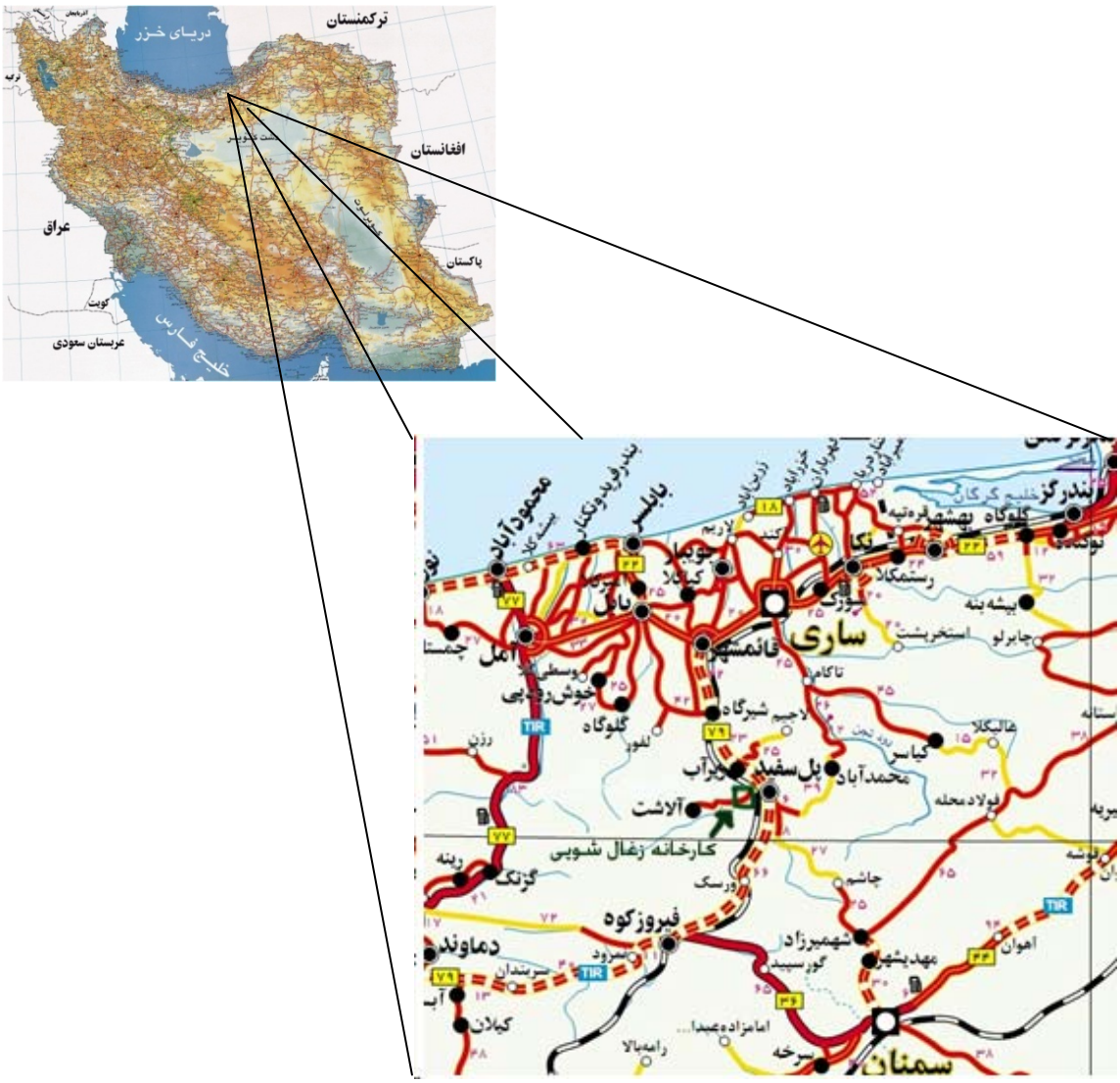
در ایران حیدری‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و حاصلخیزی باطله‌های کارخانه زغال‌شویی زرند کرمان را بررسی کردند و گزارش کردند که با توجه به کمبود عناصر غذایی در باطله‌ها، برای به کاربردن آنها در کشاورزی باید به آنها ماده غذایی اضافه کرد.

در ایران بخشی از معادن زغال‌سنگ در حوضه البرز مرکزی قرار دارند که در مناطق جنگلی جای گرفته-اند. از اینرو بررسی پیامد معادن زغال‌سنگ و کارخانه‌های زغال‌شویی بر گیاهان پیرامون آنها ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش به بررسی گیاهان بومی منطقه کارخانه زغال‌شویی زیراب و پیامد کارخانه بر آنها پرداخته شده است. پیش از این شریعتی (۱۳۸۹) با اندازه گیری غلظت فلزهای سرب، کادمیوم و آرسنیک در آب، خاک، علوفه مورد استفاده برای دام و با نمونه گیری از خون دام‌ها، پیامد معدنکاری زغال‌سنگ البرز مرکزی بر خون و فاکتورهای خونی دام‌های منطقه را بررسی کرده است.

[1] Mishra
[2] Bina
[3] *Lemna minor*
[4] *Eichhornia crassipes*
[5] *Pistia stratiotes*
[6] Roy
[7] *Cajanas cajan*
[8] Dhanbad
[9] Jharkhand

۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این پژوهش بر روی خاک و گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه زیراب انجام شده است. این کارخانه در ۱۸۵ کیلومتری تهران و ۴۵ کیلومتر قائم شهر، در ۳ کیلومتری غرب جاده فیروزکوه در کنار رودخانه دلیلم در زمینی به مساحت ۲/۵ هکتار بنا شده است (شکل ۱- ۱) .



شکل۱- ۱. نقشه راه ارتباطی کارخانه زغالشویی زیراب، محل کارخانه با فلش نشان داده شده است.

(سایت www.iranview.ir)

۱-۳ آب و هوای منطقه

معادن زغال‌سنگ کارمزد، کیاسر، کارسنگ و کارخانه زغال‌شویی در منطقه‌ای با آب و هوای مرطوب با تابستان معتدل و زمستان سرد قرار گرفته‌اند. سطح کوه‌ها پوشیده از جنگل‌های انبوه و درختان پهن برگ (درخت آلاش، بلوط و غیره) می‌باشد (دفتر فنی اکتشاف شرکت البرز مرکزی، ۱۳۶۸).

میزان بارندگی در پیرامون معدن کارمزد سالانه ۷۰۰ میلی‌متر و میانگین دما در منطقه ۱۳ درجه سانتیگراد است. بارش در این منطقه بیشتر به ریخت باران و در فصول سرد به ریخت برف است (هادیان، ۱۳۸۰).

از آنجایی که منطقه مورد بررسی باران خیز است و با توجه به پیامد ریزش‌های جوی در فرایند اکسایش پیریت و پیدایش روان‌آب‌ها، نقش باران همانند یک عامل کمک کننده در پیدایش و جابجایی آلودگی دارای اهمیت است.

رودخانه اصلی در منطقه رودخانه تالار است که به سوی دریای خزر روان است. رودخانه دلیلم از سرشاخه‌های رودخانه تالار است که در کنار کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه روان است. رودخانه دلیلم خود از بهم پیوستن سرشاخه‌های رودخانه‌های چرات، آلاشت و شش رودبار است که در بالادست کارخانه روان هستند. این رودخانه‌ها دائمی و همیشگی است و اندازه دبی آب آنها بستگی به میزان بارندگی دارد و اندازه آن در فصول گوناگون سال ناهمانند است. چنانچه رودخانه چرات بیشترین دبی را در ماه‌های اسفند تا خرداد و کمترین دبی را در ماه‌های تیر تا مهر دارد (قلی پور، ۱۳۸۸a).

۱-۴ زمین شناسی منطقه

معادن کارمزد، کیاسر و کارسنگ که خوراک ورودی کارخانه زغالشویی انجیرتنگه از آنها برآورده می‌شود در پهنه زغال‌دار البرز مرکزی قرار دارند. معادن زغال‌سنگ البرز مرکزی در گستره ته‌نشست‌های سازند شمشک بر رویه فرسایش یافته دولومیت‌های سازند الیکا جا گرفته‌اند. سنگ‌های در برگیرنده این معادن شیل و ماسه سنگ‌های شمشک از سن زمین شناسی تریاس بالایی- ژوراسیک میانی (لیاس) است (شکل ۱-۲).

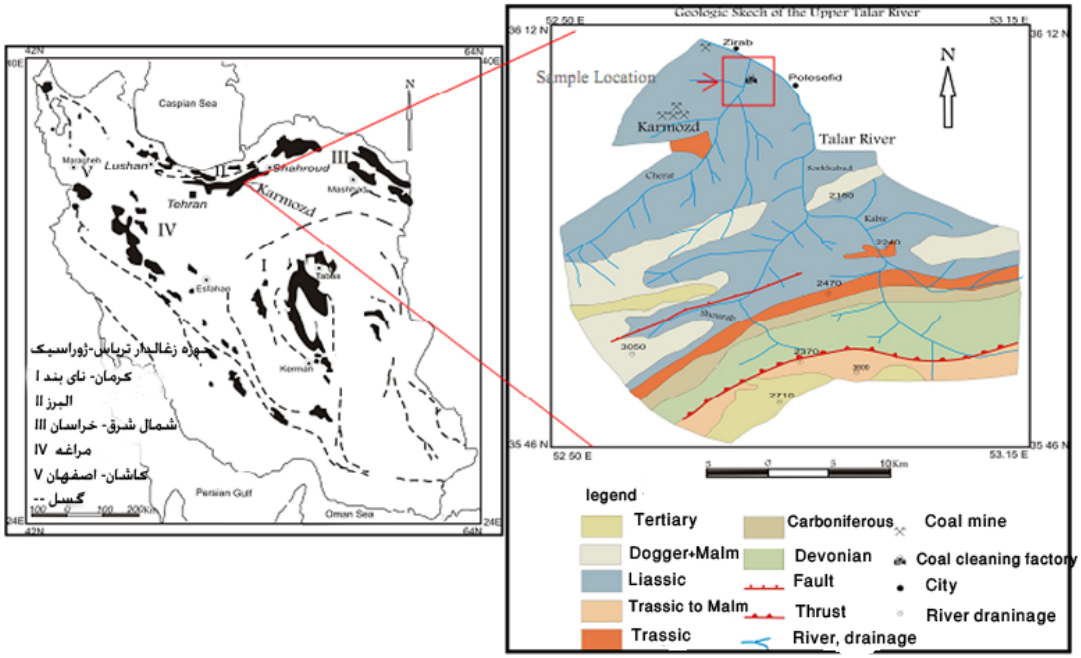
یافته‌های زمین شناختی نشان می‌دهد که سازند شمشک یک واحد زمین‌ساختی- چینه شناختی است که در فاصله زمانی دو رخداد کوهزایی سمیرین پیشین و میانی نهشته شده است و می‌تواند مشتمل بر چند سازند باشد. از اینرو برای چرخه رسوبی بزرگ نام گروه بزرگ شمشک برگزیده شده که به سن نورین- باتورنین است که در البرز شمالی با یک بخش آهنی- بوکسیتی و رس‌های فلینیتی به رنگ سرخ- قهوه‌ای آغاز می‌شود. ولی در البرز جنوبی آغاز گروه شمشک با بازالت تیره رنگ زیردریایی است که با ته-نشست‌های زغال‌دار ادامه می‌یابد (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در البرز مرکزی شرایط ویژه پارینه جغرافیایی و تکتونیک، ناپایداری روند ته نشینی را در مرداب‌های تورب مزوزوئیک پیشین پدید آورده است. بهترین برش نهشته‌های زغال‌سنگ دار مزوزوئیک پیشین که پوشیده نبوده در منطقه آلاشت دیده می‌شود که ۱۷۵۰ متر بلندی دارد (معین السادات و ارمغانی، ۱۳۷۲). پهنه زغال‌دار البرز مرکزی از شرق به جاده فیروزکوه- قائم شهر و از غرب به جاده چالوس-کرج می‌رسد. زغال‌سنگ‌های پهنه زغال‌دار البرز مرکزی بیشتر در تریاس بالایی تا ژوراسیک میانی پدید آمده-اند. ناخالصی‌های کانی این زغال‌سنگ‌ها بیشتر مواد آواری، آرژیلیکی، سولفورهای آهن، کربنات‌ها و کوارتز است. سنگ‌های دربرگیرنده زغال‌سنگ‌ها در این معادن بیشتر ماسه سنگ، شیل، ماسه‌سنگ

آهکی، سیلت و آرژیلیت است. حوضه زغال‌دار البرز با گسترش در محدوده زمین ساختی البرز دارای زمین ساخت پیچیده ای است (یزدی، ۱۳۸۲).

این زغال‌سنگ‌ها در یک رخساره ته‌نشستی- مردابی راکد تا نسبتا آرام پدید آمده‌اند. گیاهان پدید آورنده این زغال‌ها بیشتر گیاهان عالی مانند سیکادوفیت‌ها، سرخس‌ها، ژینکوواسه‌ها و کمی هم گیاهان پست مانند جلبک‌ها هستند. از گیاهان یاد شده می‌توان نتیجه گرفت که زغال‌سنگ‌های این پهنه خواستگاه هومیک دارند (یزدی، ۱۳۸۲).

شیب لایه‌های ته‌نشستی زغال دار در جایگاه معدن کارمزد به سوی شمال است که بخشی از یک ناودیس را می‌سازد. زغال‌سنگ‌های معدن زیرآب از دیدگاه گروه بندی تجاری بیشتر از گروه زغال‌سنگ-های گازدار چرب و کک شو هستند.



شکل ۱- ۲. نقشه زمین شناسی حوزه معدن کارمزد و موقعیت کارخانه زغالشویی زیرآب (برگرفته از دماگ[1]، ۱۹۶۲).

[1] Damage

۱-۵ مروری بر پژوهش‌های انجام شده در منطقه کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه

تاکنون بر روی زغال‌سنگ البرز مرکزی و ترکیب باطله‌ها و پیامد آنها بر روی محیط زیست پیرامون کارخانه پژوهش‌های فراوانی انجام شده است که در زیر به آنها پرداخته می‌شود.

رضایی و مهردادی (۱۳۷۹) حضور کانی‌های کوارتز، کائولینیت و ایلیت را در نرمه‌های زغالی کارخانه زغال‌شویی زیراب گزارش کرده‌اند.

اندارگلی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی کیفیت آب منطقه گزارش کردند که مقدار pH، نیترات، سولفات و آهن در شیرابه باطله دستگاه جیگ، سلول فلوتاسیون کارخانه زغال‌شویی و آب رودخانه در مرز استاندارد است و تنها در چند مورد مقدار سولفات بیش از استاندارد آن در آب است که به دلیل کم بودن دبی این شیرابه‌ها در برابر دبی رودخانه دلیلم پیامد زیانباری بر اندازه یون سولفات در رودخانه ندارد.

مور و اسماعیلی (۲۰۰۸) با نمونه برداری از ته‌نشست‌ها و آب چشمه‌های چرات و شش‌رودبار و رودخانه تالار، غلظت فلزهای کادمیوم، آرسنیک و مولیبدن را اندازه گیری کردند. بررسی آنها غلظت بالای این فلزها را در ته‌نشست‌ها نشان داد که با افزایش فاصله از کارخانه کاهش می‌یافت.

قلی پور و همکاران (۱۳۸۸a) با مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی بر روی باطله‌ها به این نتیجه رسیدند که در فصول خشک در پی تبخیر هیدرو سولفات، محلول نمک‌های ثانویه فلزهای گوناگونی مانند کانی بلودیت پدید می‌آید. آنها کاهش شدید اکسید آهن و اکسید گوگرد در انبارهای باطله را نشانگر فرآیندهای اکسایش پیریت و پیدایش محیط اسیدی دانستند و گزارش کردند میزان Sb, Ca, Sr, Bi, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} در آب‌های زه‌کشی و تراوش شده از باطله‌ها و پساب کارخانه زغالشویی بیش از مرز مجاز رهاسازی در آب‌های سطحی است و می‌تواند مایه آلودگی آب رودخانه چرات شود. در فصول پر

باران بارش‌های فراوان و جریان روان‌آب‌های سطحی بر باطله سبب می‌شود تا اندازه‌های بسیار فراوانی از مواد معلق مانند نرمه‌های زغال و بسیاری از کانی‌ها وارد رودخانه شوند که مایه افزایش تیرگی و کاهش کیفیت آب خواهد شد.

شریعتی(۱۳۸۹) با اندازه‌گیری غلظت عناصر کادمیوم، سرب و آرسنیک در نمونه‌های آب و خاک و گیاه و خون دام‌ها، آثار معدنکاری زغال‌سنگ بر روی خون و فاکتورهای خونی دام‌ها در اطراف معادن البرز مرکزی را بررسی کرد. وی گزارش کرد سنجش این عناصر با استاندارد WHO و FAO آلوده نبودن آب، خاک، گیاه و خون دام به فلزهای کادمیوم، سرب و آرسنیک را نشان می‌دهد.

شاه حسینی و همکاران (۱۳۸۹،۱۳۹۰aو۱۳۹۰b) گزارش کردند که بر پایه داده‌های آنالیز عناصر، نمونه‌های پای دپو در برابر خود دپو غنی شدگی نشان دادند که وابسته به شستشوی روی دمپ در پی بارش‌های جوی و جاری شدن روان آب‌ها در پیرامون است . بر پایه شاخص‌های ژئوشیمیایی بیشترین آلودگی ته‌نشست‌های رودخانه به عناصر کمیاب آرسنیک، کادمیوم، کبالت، مس، جیوه، منگنز، مولیبدن، نیکل، سرب، سلنیوم و روی در نزدیکی جایگاه رها شدن زهاب دمپ به رودخانه دیده شده است و رویهمرفته آلودگی ته‌نشست‌های این منطقه به بیشتر عناصر بسیار شدید و نگران کننده نیست.

۱-۶ ضرورت انجام و هدف از پژوهش

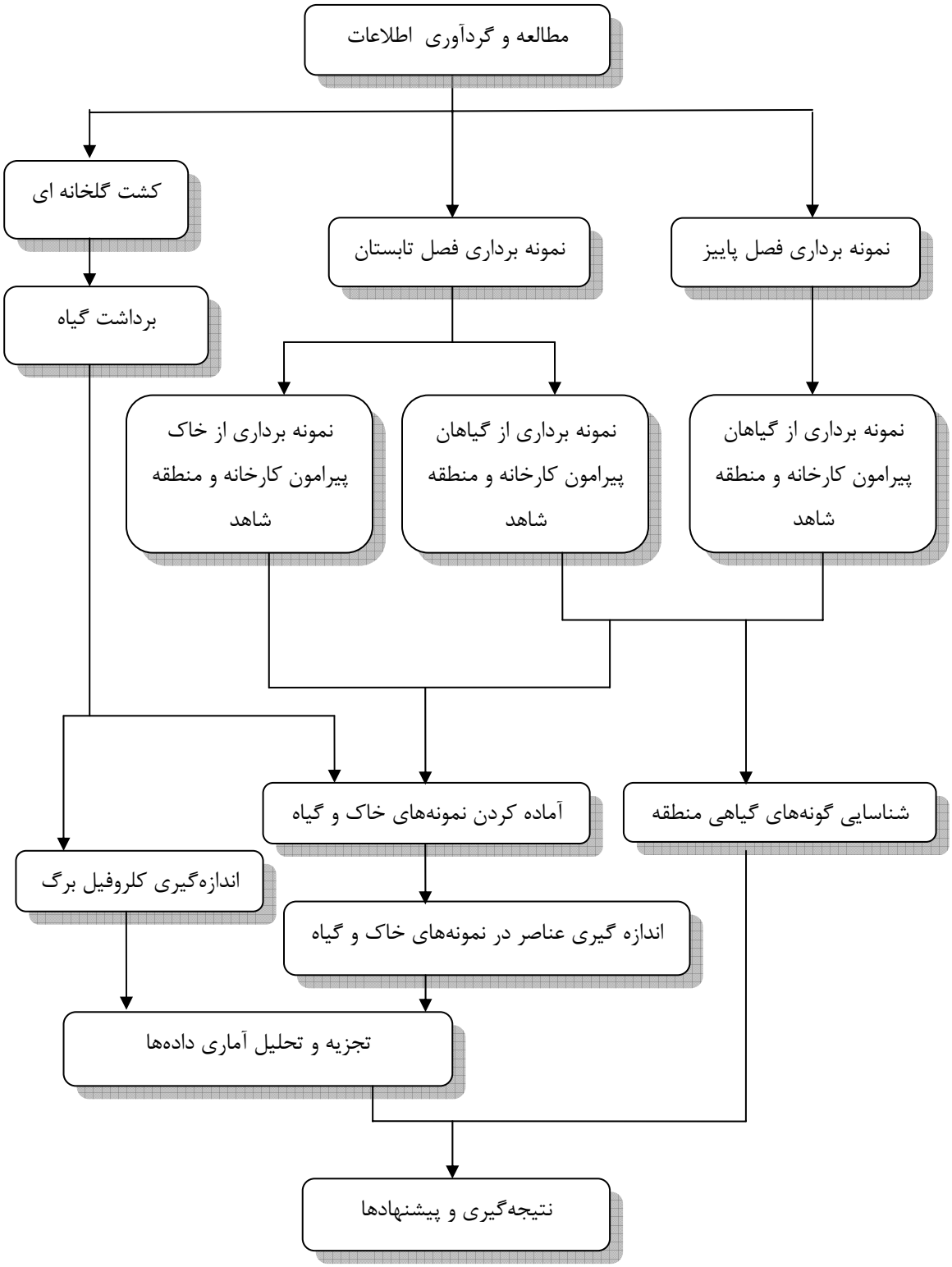
کارخانه زغالشویی زیراب یکی از بزرگترین و کهن‌ترین جایگاه‌های ساخت کنسانتره زغال در البرز مرکزی است که در سال ۱۳۶۷ آغاز به کار کرده است (قلی پور و همکاران، ۱۳۸۸a). این باطله‌ها در کناره‌های رودخانه چرات که یکی از سرشاخه‌های رودخانه تالار در شهرستان سواد کوه است، انباشته می‌شوند. تاکنون نزدیک ۱/۵ میلیون تن باطله در زمینی به مساحت چندین هکتار به بلندی ۸ متر انباشته شده-اند. این باطله‌ها نه تنها فضای فراوانی را می‌گیرند بلکه با داشتن کانی‌های سولفیدی مانند پیریت در آنها،

همانند یک سرچشمه آلودگی محیط زیست نگران کننده هستند. بناکردن کارخانه و انباشتن حجم فراوانی از باطله‌ها در نزدیکی آن، مایه کاهش پوشش گیاهی منطقه در سنجش با مناطق پیرامون آن شده است. در پایین دمپ باطله و درون حوضچه‌های پیرامون آن گیاهانی دیده می‌شوند که از آب و خاک متأثر از دمپ تغذیه می‌کنند. در پی کارهای پیشین که بر روی آب و خاک منطقه انجام شده است، این پژوهش برای اولین بار در این منطقه با هدف ارزیابی پیامد فعالیت کارخانه زغال‌شویی و دمپ باطله زغال در نزدیکی کارخانه بر آلودگی و چگونگی رشد گیاهان منطقه انجام شد.

از اهداف این پژوهش می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- شناسایی گونه‌های گیاهی در منطقه.
- اندازه‌گیری غلظت عناصر کمیاب در خاک و گیاهان منطقه.
- بررسی ناهمانندی غلظت عناصر کمیاب در گیاهان پیرامون کارخانه (آلوده) با گونه‌های مشابه در منطقه‌ای دور از کارخانه (غیر آلوده) به عنوان شاهد.
- شناسایی گونه یا گونه‌های گیاهی توانمند در جذب عناصر برای پالایش آلودگی احتمالی.

۱-۷ روش مطالعه



فصل دوم

نمونه برداری

۲-۱ مقدمه

برای رسیدن به اهداف پژوهش، دو بررسی انجام شده است. نخست با نمونه برداری از خاک و گیاه منطقه و تجزیه عنصری آنها یک بررسی میدانی انجام شد. سپس با کاشت گیاه شبدر در گلخانه در باطله‌ها، چگونگی رشد گیاه و جذب عناصر در گیاه آزمایش شد. در این فصل به معرفی کارخانه زغال‌شویی، روش نمونه‌برداری، آماده سازی و آنالیز نمونه‌ها پرداخته شده است.

۲-۲ کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه زیراب

کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه در سال ۱۳۶۷ بنا و راه اندازی شده است. در این کارخانه سالانه نزدیک ۷۰۰ هزار متر مکعب پساب به همراه ۴۰۰ تن نرمه زغال ساخته می‌شود (رضایی و مهردادی، ۱۳۷۹). بازیابی کارخانه ۶۰ در صد است و ۴۰ درصد از خوراک کارخانه به باطله‌های کم عیار زغال تبدیل می‌شود. گنجایش اسمی کارخانه نزدیک ۱۲۰ تن در ساعت و میزان آب کاربردی آن ۴۰ متر مکعب در ساعت است. مواد اولیه این کارخانه از معادن کارسنگ، کارمزد و کیاسر برآورد می‌شود. کنسانتره پایانی برای کاربرد در کارخانه ذوب آهن اصفهان باید دارای ویژگی‌هایی شایسته و بهینه ای از رطوبت (۶-۸ درصد)، خاکستر (۱۰-۱۲ درصد)، مواد فرار (۲۸-۳۰ درصد) و گوگرد (۱ درصد) باشد (رضایی، ۱۳۸۰). نمایی از کارخانه زغالشویی در شکل (۲- ۱) آمده است.

شکل ۲- ۱. نمایی از کارخانه زغالشویی و باطله‌های کارخانه

۲-۳ نمونه برداری از خاک و گیاه در بررسی میدانی

نمونه برداری از خاک و گیاه در دو زمان در آبان ماه سال ۱۳۸۹و تیرماه سال ۱۳۹۰ انجام شد. نمونه برداری از خاک و گیاهان پیرامون کارخانه (F) جایگاه با احتمال آلودگی بیشتر و منطقه طبیعی دور از کارخانه به عنوان شاهد (C) انجام شد.

نمونه‌گیری به گونه تصادفی از گونه‌های گیاهی گوناگون در دو منطقه انجام شد. تعداد ۱۲ نمونه گیاه در یک تکرار در فصل پاییز برداشته شد که از بین آنها ۶ نمونه برداشت شده از پیرامون کارخانه و ۳ نمونه از منطقه شاهد برای آنالیزدر نظر گرفته شد. در فصل تابستان از ۹ گونه گیاه در سه تکرار نمونه برداری شد که از بین آنها تعداد ۵ نمونه از پیرامون کارخانه و ۴ نمونه از منطقه شاهد برای آنالیز آماده گردید. گیاهان با کمک بیلچه به همراه ریشه از خاک بیرون آورده شده و جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی گذاشته و شماره گذاری شدند. از خاک پیرامون کارخانه و خاک

منطقه شاهد نیز در فصل تابستان ۳ نمونه در سه تکرار نمونه برداری شد. نمونه‌برداری خاک از ژرفای ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر انجام گردید. نمونه‌های خاک نیز جداگانه در پاکت پلاستیکی گذاشته و شماره گذاری شدند. در شکل (۲-۲) نمایی از گیاهان رشد یافته در حوضچه کنار دمپ آورده شده است.

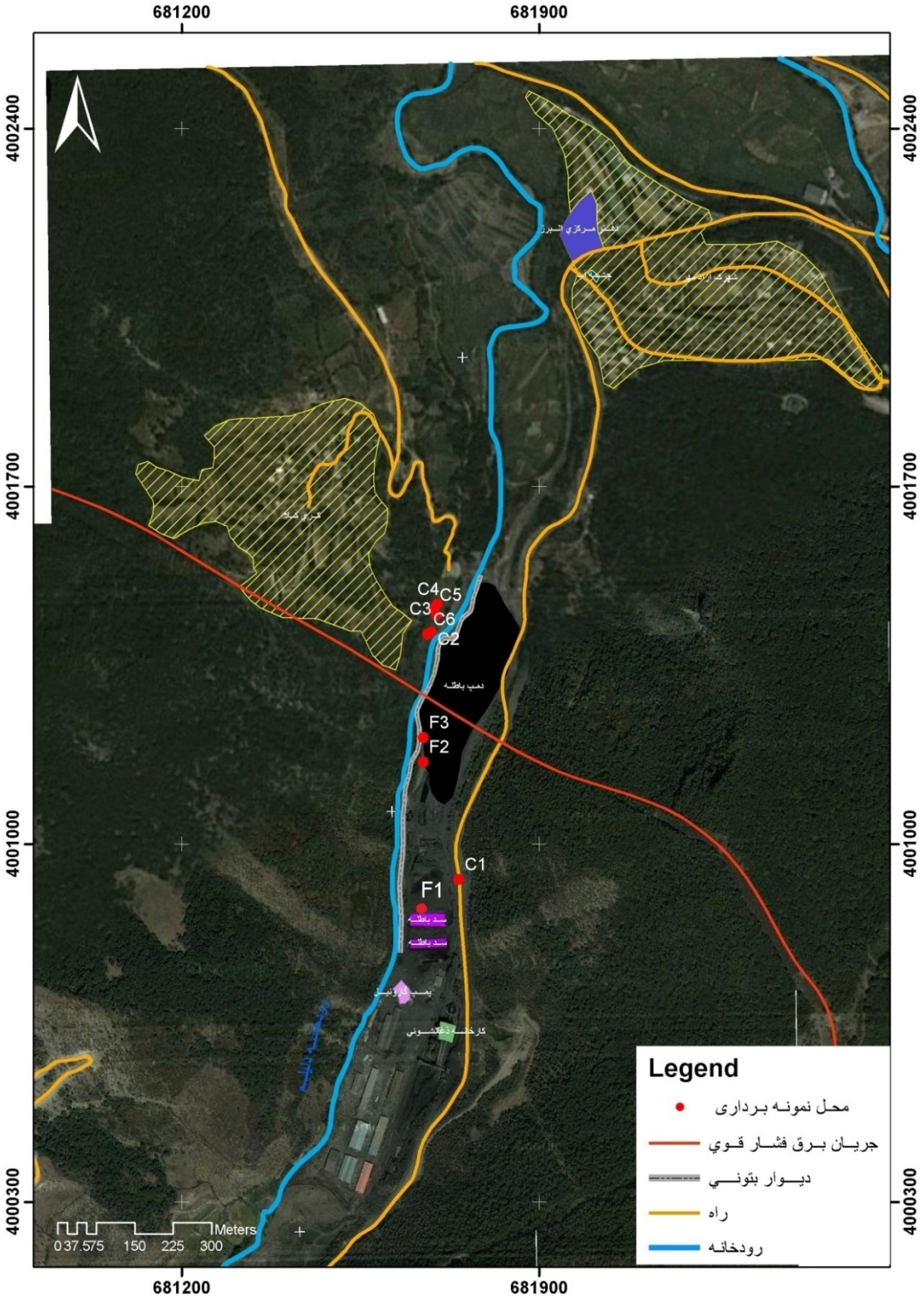
شکل ۲-۲. نمایی از گیاهان رشد یافته در پایین دمپ باطله

۲-۳-۱ جایگاه نمونه برداری

مختصات و جایگاه نقاط نمونه‌برداری در جدول (۲-۱) و شکل (۲-۳) و نمایی از گیاهان رشد یافته در محل نمونه برداری در شکل‌های (۲-۴ و ۲-۵) آورده شده است.

جدول ۲- ۱. مختصات نقاط نمونه برداری

جایگاه نمونه برداری	مختصات نقاط نمونه برداری		
	طول	عرض	ارتفاع
F1	۴۰۰۰۸۵۸	۶۸۱۶۲۵	۵۷۴
F2	۴۰۰۱۱۶۰	۶۸۱۶۷۴	۵۷۱
F3	۴۰۰۱۲۰۸	۶۸۱۶۷۴	۵۴۹
C1	۴۰۰۰۹۳۰	۶۸۱۷۴۳	۵۴۶
C2	۴۰۰۱۴۱۵	۶۸۱۶۹۰	۵۳۱
C3	۴۰۰۱۴۴۸	۶۸۱۷۰۰	۵۳۱
C4	۴۰۰۱۴۶۹	۶۸۱۷۰۱	۵۳۲
C5	۴۰۰۱۴۵۸	۶۸۱۶۹۴	۵۳۳
C6	۴۰۰۱۴۱۰	۶۸۱۶۸۲	۵۳۴



شکل ۲- ۳. جایگاه نمونه برداری گیاهان در منطقه کارخانه زغال‌شویی زیراب

۲-۴. نمایی از گیاهان دم اسب و پنجه‌مرغی رشد یافته کنار حوضچه ته‌نشینی

شکل ۲-۵. نمایی از گیاهان دم اسب و نی رشد یافته در حوضچه کنار دمپ

۲-۳-۲ آماده سازی نمونه‌های گیاهی

بخشی از نمونه‌های گیاهی برای شناسایی گونه‌های گیاهی به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ارسال و شناسایی شدند. بخش دیگر نمونه‌های گیاهی برای تجزیه شیمیایی به گونه زیر آماده گردید. برای پاک کردن گرد و غبار، در آغاز نمونه‌ها با آب معمولی شسته شدند و سپس با محلول ۰/۱ نرمال اسید کلریدریک شستشو داده شده و در پایان با آب مقطر آب کشی شدند. اسید رقیق، آلاینده‌های فلزی را از روی گیاه پاک می‌کند و آب مقطر نیز محلول اسید را می‌شوید.

ریشه و اندام هوایی گیاهان از هم جدا شده و نمونه‌های شسته شده جداگانه درون پاکت کاغذی گذاشته شدند و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت درون آون خشک شدند (شکل ۲-۶).

شکل ۲-۶. آماده سازی نمونه‌های گیاهی

ریشه و اندام هوایی گونه‌های گیاهی با هاون و آسیاب جداگانه خرد و از الک ۰/۵ میلی متر گذرانده شدند. برای یکسان بودن اندازه ریشه و اندام هوایی برای همه نمونه‌ها، اندام هوایی و ریشه با نسبت ۲ به ۱ با هم آمیخته شده و برای آنالیز آماده شدند(شکل ۲- ۷). یادآوری می‌شود آماده سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه فرآوری دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد.

شکل ۲-۷ . آماده سازی نمونه‌های گیاهی برای آنالیز

۲-۳-۳ آماده سازی نمونه‌های خاک

نمونه‌های خاک در آزمایشگاه فرآوری دانشکده معدن دانشگاه صنعتی شاهرود در دمای اتاق هواخشک و خرد شدند. سپس از الک ۲ میلی متر گذرانده شده و برای آنالیز آماده گردیدند. سپس عناصرکروم، کادمیوم و سرب در نمونه‌ها اندازه گیری شد.

۲-۳-۴ خاک بکار رفته برای کشت گلدانی

از باطله‌های پدید آمده از کارخانه زغال‌شویی به عنوان محیط کشت برای کشت گیاه استفاده گردید. ۵۰ کیلوگرم از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی که به ژرفای ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شده بودند به آزمایشگاه فرآوری دانشکده معدن منتقل گردید. در آنجا باطله‌های گردآوری شده

پس از هوا خشک شدن با دستگاه سنگ شکن خرد شده و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده و برای کشت گیاه آماده گردید. کشت گیاه شبدر در ۱۲ گلدان در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد.

۲-۳-۵ نمونه برداری گیاهان پس از کشت

پس از گذشت ۲ ماه، بوته‌های گیاهان از خاک بیرون آورده شدند. هر یک از نمونه‌ها را نخست با آب معمولی شسته شده و سپس با آب مقطر آبکشی شدند. ریشه و اندام هوایی در هر نمونه جدا شده و نمونه‌ها جداگانه در پاکت گذاشته شدند. نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه درون آون خشک گردید. سپس هر یک از نمونه‌ها وزن شده و وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید. نمونه‌ها با هاون خرد شده و در ظروف ویژه نگهداری نمونه برای تجزیه نگهداری شدند.

۲-۳-۶ نمونه برداری از محیط کشت گلدان‌ها پس از کشت

پس از برداشت گیاهان، از خاک هر گلدان پس از آمیختن یک نمونه برای آنالیز شیمیایی برداشته شد. این نمونه‌ها در دمای اتاق هوا خشک شدند و برای آنالیز از الک ۲ میلی متر گذرانده شدند.

۲-۴ روش آنالیز

نمونه‌ها پس از آماده‌سازی در چند مرحله برای آنالیز به آزمایشگاه میکرو شیمی دامغان فرستاده شدند. در مرحله اول اندازه‌گیری غلظت فلزهای کروم، کادمیوم، سرب، روی، مس، نیکل، کبالت و مولیبدن در نمونه‌های گیاهی برداشت شده در فصل پاییز به روش ICP-OES انجام گردید. در مرحله دوم غلظت فلزهای کروم، سرب، کادمیوم در خاک و گیاه برداشت شده در فصل تابستان به همین روش اندازه‌گیری شد. در مرحله سوم در نمونه‌های خاک و گیاه برداشت شده پس از کشت

گلدانی گیاه، برای اندازه‌گیری غلظت کل فلزهای کروم، کادمیوم، آهن از روش ICP-OES و برای بررسی زیست فراهمی این عناصر از محلول DTPA برای عصاره‌گیری خاک بهره‌گیری شد (لیندسی و نورول[1]، ۱۹۶۹) . در این مرحله اندازه‌گیری فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و سومر[2]، ۱۹۹۰)، نیتروژن کل خاک به روش کجدال (وسترما[3]، ۱۹۹۰)، کربن آلی در خاک به روش اکسیداسیون تر (واکلی و بلاک[4]، ۱۹۳۴) انجام گردید.

۲-۵ اندازه‌گیری کلروفیل در برگ

اندازه‌گیری کلروفیل برگ در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گردید. برای سنجش کلروفیل از بافت تازه برگ نمونه برداری شد. به ۰/۰۱ گرم از بافت برگ ۷ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید افزوده و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. پس از گذشت این زمان نمونه‌ها را از آون بیرون آورده و پس از سرد شدن با گذاشتن در اسپکتروفتومتر مدل Jenway 6305 (شکل ۲-۸) میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ و ۴۷۰ نانو متر در نمونه‌های دارای کلروفیل خوانده شد و سپس به کمک فرمول‌های (۲-۱، ۲-۲، ۲-۳ و ۲-۴) اندازه کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتینوئید برآورد گردید (هیسوکس و ایسریلستام[5]، ۱۹۷۹) برآورد گردید.

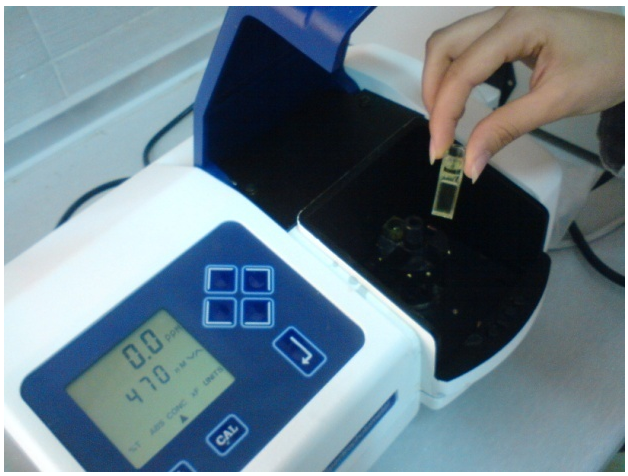
$$^{6}Chl\text{a}\ (\mu g/ml) = (\ ۱۲/۲۵A۶۶۳\ ) - (\ ۲/۵۵A۶۴۵\ ) \qquad (۲-۱)$$

$$Chl\text{b}\ (\mu g/ml) = (۲۰/۳۱A۶۴۵\ ) - (\ ۴/۹۱\ A۶۶۳) \qquad (۲-۲)$$

$$Chl(\text{total}) = Chl\text{a} + Chl\text{b} \qquad (۲-۳)$$

[1]- lindsay and Norvell
[2] Olsen and Summers
[3] Westerma
[4] Walkley and Blak
[5] Hiscox and Israelstam
[6]Chlorophyll

$$\text{Carotenoids } (\mu g/ml) = (1000\ A470 - 1.90\ Chla - 63.14\ Chlb)/\ 214 \qquad (۴-۲)$$



شکل ۲-۸. اندازه گیری کلروفیل در برگ

۲-۶ تجزیه آماری

طرح‌های آماری بکار رفته در آزمون آماری داده‌های بدست آمده در هر یک از آزمایش‌های یاد شده در بالا، کاملا تصادفی بود. داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای اکسل و SAS پردازش شدند. برای ارزیابی اثر متغیرهای هر گام از پژوهش، از جدول تجزیه واریانس بهره‌گیری شد و در جایی که پیامد متغیرهای آزمون شده از دیدگاه آماری چشم گیر بود از آزمون چند دامنه ای دانکن برای ارزیابی میانگین هر یک از پارامترهای بررسی شده بهره‌گیری شد.

فصل سوم

بررسی میدانی کارخانه زغال شویی

۳-۱ مقدمه

میزان عناصر جذب شده در گیاهان علاوه بر گونه گیاهی به مقدار زیادی به میزان عناصر موجود در خاک و آب در محل رشد گیاه بستگی دارد، از اینرو برای بررسی احتمال آلودگی گیاهان رشد یافته بر روی دمپ باطله کارخانه زغال‌شویی ابتدا لازم است میزان عناصر موجود در زغال‌سنگ مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور در این فصل ابتدا به بررسی ژئوشیمی زغالسنگ پرداخته و سپس در ادامه گونه‌های گیاهی موجود در منطقه معرفی می‌شوند و نقش باطله‌های زغال‌شویی، گونه گیاه و فصل رشد به عنوان پارامترهای کارامد در جذب عناصر گیاهان در منطقه مورد بررسی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۲ ژئوشیمی زغال‌سنگ‌ها

زغال‌سنگ‌ها از تدفین، تجزیه و دگرگونی گیاهان پدید می‌آیند. بنابراین ترکیب ژئوشیمیایی زغال‌سنگ‌ها باید مشابه ترکیب همان گیاهانی باشد که زغال‌سنگ‌ها از آنها پدید آمده اند. ولی ژئوشیمی یک محیط هنگام پیدایش ته‌نشست‌ها مایه دگرگونی ترکیب ژئوشیمیایی زغال‌سنگ‌های پدید آمده از گیاهان می-شود. از اینرو ویژگی‌های ژئوشیمیایی زغال‌سنگ‌ها در محیط‌های ته‌نشستی گوناگون ناهمانند است (یزدی، ۱۳۸۲).

رویهمرفته عناصر آلی زغال‌سنگ‌ها از کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن پدید آمده است. از این گروه عنصر کربن بیش‌ترین بخش را در ترکیب زغال‌سنگ دارد.

کانی‌های معدنی در زغال‌سنگ‌ها می‌تواند رس‌ها، کربنات‌ها، سولفیدها، سولفات‌ها، سیلیس‌ها و دیگر کانی‌هایی مانند تورمالین، آپاتیت و فلوریت باشد. این کانی‌ها در برگیرنده عناصر معدنی زغال‌سنگ‌ها هستند. برای نمونه کوارتز و کانی‌های رسی دارنده عناصر پتاسیم، تیتانیوم، سیلسیوم و آلومینیوم، و

کربنات‌ها دارنده عناصری مانند کلسیم و منیزیم است. پیریت دارنده عناصری مانند فسفر، بیسموت، سلنیوم، تیتانیوم، مولیبدن، آرسنیک، گوگرد و آهن است. کانی‌های فسفاته مانند آپاتیت دارنده عناصری مانند فسفر، باریوم و استرنسیوم هستند. برخی عناصر مانند ژرمانیوم افزون بر کانی‌ها در ماسرال‌های زغال‌سنگ و عناصری نیز مانند کلر و سدیم در محلول‌های درون حفرات زغال‌سنگ‌ها پیدا می‌شوند، اگر چه اندازه آنها در برابر عناصر دیگر در کانی‌های زغال‌سنگ بسیار کم است (بوسکا[1]، ۱۹۸۱).

غلظت عناصر جزئی و کمیاب در زغال‌سنگ برای مناطق مختلف همانطور که در جدول (۳-۱) نشان داده شده است متفاوت است. تفاوت در غلظت این عناصر به شرایط زمین شناسی و محیط تشکیل آنها وابسته است. بررسی ژئوشیمی زغال‌سنگ معدن کارمزد نشان می‌دهد که غلظت عناصر سرب، روی، نیکل، کروم، کبالت، وانادیوم، روبدیم، نیوبیوم، باریوم، اورانیوم، وانادیوم و مولیبدن در زغال‌سنگ‌های معدن کارمزد بیشتر از زغال‌سنگ‌های آمریکا و جهان است و مقدار عناصر جزئی در زغال‌سنگ این معدن وابسته به اجزای معدنی آن است (قلی پور و همکاران، ۱۳۸۸b).

[1] Bouska

جدول ۳- ۱. میانگین غلظت عناصر جزئی و نادر در زغالسنگ‌های کارمزد، لوشان، چین، آمریکا، جهان و کلارک (برگرفته از قلی پور و همکاران، b ۱۳۸۸). (یزدی و اسماعیلی نیا* ۲۰۰۴ و **۲۰۰۳، ***رن[1] و همکاران ۱۹۹۹،**** کریستانیس[2] و همکاران ۱۹۹۸).

ppm	کارمزد		* لوشان	**شاهرود	***چین	***آمریکا	***جهان	*** کلارک
	دامنه	میانگین						
Sr	۲۶۰-۳۳۷۲	۱۱۱/۸	۴۴۰	۲۵۰۰	۱۷۵/۹۶	۱۳۰	۱۳۰	۲۷۵
Ba	۵۶-۲۲۵۵	۸۵۰	۲۵۱	۱۷۰۰	۱۶۹/۰۱	۱۷۰	۱۳۰	۴۵۲
Nb	۱۳-۲۴۱	۷۹/۲	۵۳	۱۳۴	۲۲/۰۶	۹/۵	۴/۷	۲۰
Ce	۵۴-۴۰۸	۱۹۹/۲	۱۲۷	۳۰۴	۴۹/۸	۲۱	۱۱/۵	۶۰
Zr	۹۱-۷۴۷	۳۱۴/۶	۹۵۴	۸۹۸	۲۴۶/۷۵	۲۷	۴۱	۱۶۵
Rb	۱۱-۷۹	۳۷/۴	۹۸	۲۲۸	۲۰/۶۸	۲۱	۱۶	۹۰
V	۷۶-۱۸۸	۱۲۸/۴	۱۳۰۰	۱۱۰۰	۹۴/۱۱	۲۲	۲۵	۱۳۵
Cr	۲۹-۱۳۷	۹۷	۴۱۱	۷۴۹	۳۴/۸۷	۱۵	۱۰	۱۰۰
Co	۶۰-۳۹۶	۱۸۷/۴	۴۲۵	۳۵۰	۶/۷۲	۶/۱	۵	۲۵
Ni	۹۸-۵۳۴	۲۷۳	۲۳۰۰	۴۵۶	۲۲/۶۲	۱۴	۱۵	۷۵
Cu	۴۱-۳۵۷	۱۶۶/۶	۷۳۷	۴۸۹	۲۸/۲۲	۱۶	۱۵	۵۵
Zn	۱۴۸-۴۴۵	۲۴۴/۲	۳۲۰	۱۶۰۰	۴۳/۲۴	۵۳	۵۰	۷۰
Pb	۶۳-۱۸۷	۱۱۱/۶	۴۳۰	۵۲۶	۲۴/۷۷	۱۱	۲۵	۱۳
Mo	۹-۲۴	۱۷/۴	۲۱	۳۸	۱۸/۱۵	۱۳	۵	۱/۵
W	۱۱-۴۳	۲۵/۶	۵۱	۷۳	۲/۳۵	۱	۶	۱/۵
Th	۶-۴۹	۲۱/۲	۸۱	۷۳	۶/۹	۳/۲	۶/۳	۷/۲
U	Nd-۱۶	۵	۲۴	۲۵	۷/۵۲	۲/۱	۳	۱/۸
Cl	۴۵-۳۲۳	۱۰۹/۴	۱۱۵	۱۵۰	۴۰۴/۵۸	۶۱۴	۱۰۰۰	-

[1] Ren
[2] Christanis

بررسی‌های صحرایی بر زغال‌سنگ معدن کارمزد نشان می‌دهد که لایه های زغال‌سنگ معدن کارمزد با لایه‌های آرژیلیت به رنگ خاکستری تیره در بخش‌های فوقانی و تحتانی همراه است. این زغال‌سنگ‌ها در در گروه کم خاکستر و کم گوگرد قرار می‌گیرند که خلوص نسبی آن و در صد پایین کانی‌های سولفیدی نشان دهنده شرایط تشکیل درجازا و محیط‌های آب شیرین است. نتایج بررسی پراش پرتو ایکس بر خاکستر زغال‌سنگ‌های کارمزد وجود کوارتز و در باطله‌های زغالی کانی‌های مونتموریونیت، شاموزیت، مسکویت را نشان می‌دهد (قلی پور و همکاران ،۱۳۸۸b).

۳-۳ گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه

در پیرامون کارخانه زغال‌شویی گونه‌های گیاهی گوناگونی مشاهده گردید. گونه‌های گیاهی نمونه برداری شده از منطقه در فصل تابستان و پاییز شناسایی شدند. برای بررسی آلودگی گیاهان پیرامون کارخانه به فلزها، غلظت فلزهای بدست آمده در آنها با غلظت نرمال و بحرانی در گیاهان سنجیده شد و برای بررسی پیامد باطله‌های زغال‌شویی بر گیاهان، غلظت فلزها در گیاهان پیرامون کارخانه با غلظت آنها در گیاهان منطقه شاهد سنجیده شد. در انتها پیامد فصل رشد بر انباشتگی فلزها مورد ارزیابی قرار گرفت.

از بین گونه‌های گیاهی موجود گونه‌های دم اسب، نی، شبدر، پنجه مرغی فراوانترین گیاهان مشاهده شده در فصل پاییز بودند و در فصل تابستان گونه‌های دم اسب، نی، سلمه، هفت بند و ترشک شبدری به تعداد بیشتری نسبت به سایر گیاهان مشاهده شدند.

گونه‌های گیاهی گردآوری شده از منطقه شناسایی شدند که اسامی و محل نمونه برداری از آنها در جدول (۳-۲)و تصاویر آنها در شکل(۳-۱) آورده شده است.

جدول ۳- ۲. گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه کارخانه زغال‌شویی زیراب

نام فارسی	نام علمی	تیره	جایگاه نمونه برداری
پنجه مرغی	*Cynodon dactylon*	Poaceae	F1,C1
دم اسب	*Equisetum* sp	Equistaceae	F2,C5,C3,C2
شبدر	*Trifolium* sp	Fabaceae	F1,C1
ماریتیغال	*Silybum marianum*	Asteraceae	F2,C1
سلمه	*Chenopodium album L*	Chenopodiaceae	F2,C6
ترشک شبدری	*Oxalis* sp	Oxalidaceae	F3,C4,C2
افسنطین	*Artemisia absinthium L*	Astraceae	F3,C3
گاوزبان	*Anchusa* sp	Boraginaceae	F2
دم روباهی	*Setaria* sp	Poaceae	F2
هفت بند	*Polygonom* sp	Polygonaceae	F2
گل گندم	*Centaurea cyanus*	Astraceae	F2
لویی(نی)	*Typha latifolia*	Typhaceae	F2
مرزنجوش	*Origanum majorana L*	Lamiaceae	C1
تمشک	*Rubus ulmifolius*	Rosaceae	F2
پلم	*Sambucus ebulus*	Caprifoliaceae	F2
فرفیون	*Euphorbia* sp	Ephorbiaceae	F2
جگن	*Carex* sp	Cyperaceae	F2
زلف پیر	*Senecio volgaris*	Astraceae	F2
بنداوش	*Paspalum paspaloides*	Poaceae	F2
شبدرک	*Coronilla varia*	Fabaceae	F3
سیزاب	*Veronica* sp	Scrophulariaceae	F2

الف)

ب)

پ)

ت)

ث)

شکل ۳-۱. تصاویر گیاهان شناسایی شده در منطقه: الف) نی، ب) پنجه مرغی، پ) شبدر، ت) مرزنجوش، ث)دم اسب، ج)پلم، چ) هفت بند، ح) سیزاب، خ) بنداوش، د) شبدرک، ذ) افسنطین، ر) تمشک، ز) سلمه، س) فرفیون، ش) گاوزبان، ص) جگن، ض) دم روباهی، ط)زلف پیر، ظ)ماریتیغال، ع) گل گندم، غ) ترشک

ج)

چ)

ح)

ح)

د)

ذ)

ادامه شکل ۳-۱-گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه

ز)

ر)

ش)

س)

ض)

ص)

ادامه شکل ۳-۱-گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه

ظ) ط)

غ) ع)

ادامه شکل ۳-۱-گونه‌های گیاهی شناسایی شده در منطقه

۳-۴ ارزیابی پیامد باطله‌های کارخانه زغال‌شویی بر غلظت فلزها در گیاهان فصل پاییز

با توجه به بالا بودن غلظت فلزهای مولیبدن، نیکل، مس، روی، سرب، کادمیوم، کبالت و کروم در نتایج بدست آمده از مطالعات پیشین انجام شده بر روی خاک و آب منطقه این فلزها برای بررسی آلودگی احتمالی گیاهان گزینش شدند. غلظت این عناصر در نمونه‌برداری فصل پاییز در گیاهان شبدر، پنجه-مرغی، ماریتیغال، نی ، دم اسب و زلف پیر اندازه‌گیری شد. در نمونه برداری تلاش بر آن بود که از گونه-های گیاهی برداشت شده از پیرامون کارخانه در منطقه شاهد نیز نمونه برداری شود که گیاهان شبدر،

پنجه مرغی و ماریتیغال در آنجا موجود بود و نمونه‌برداری انجام شد. ولی گیاهان دم اسب، نی و زلف پیر در منطقه شاهد یافت نشدند و تنها نمونه‌های برداشت شده از پیرامون کارخانه آنالیز شدند.

۳-۴-۱ بررسی انباشتگی فلزها در گیاهان نمونه برداری شده در فصل پاییز

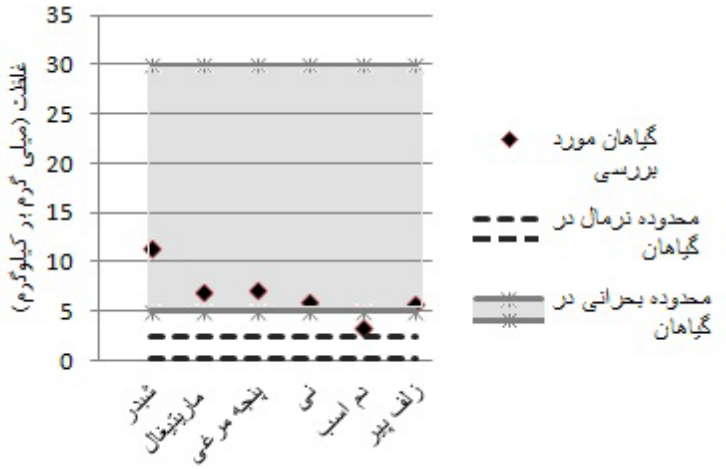
غلظت فلزها در گیاهان پیرامون کارخانه و منطقه شاهد در جدول (۳-۳) آورده شده است. برای بررسی آلودگی گیاهان به فلزها، غلظت‌های بدست آمده برای فلزها با غلظت نرمال و بحرانی آنها در گیاهان سنجیده شد . در ادامه به بررسی غلظت هر عنصر در گیاه پرداخته می‌شود.

جدول۳-۳. غلظت فلزها در گیاهان در فصل پاییز

گونه گیاه	منطقه	غلظت (میکروگرم برگرم)							
		مولیبدن	نیکل	مس	روی	سرب	کادمیوم	کبالت	کروم
شبدر	شاهد	۵/۶	۵/۵	۱۶	۴۳/۴	۹/۳	۵/۷	۴/۱	۴/۸
	پیرامون کارخانه	۱۸/۴	۱۰/۵	۱۷/۳	۴۹	۲۸	۱۱/۳	۸/۹	۷/۱
ماریتیغال	شاهد	۲/۸	۵/۱	۲۱/۶	۱۱۷	۱۲	۷/۸	۴	۴/۶
	پیرامون کارخانه	۴/۱	۵/۶	۱۹/۹	۶۷	۵/۷	۶/۹	۶	۴/۱
پنجه مرغی	شاهد	۲/۱	۶	۱۴	۵۵	۳۷	۶	۴/۱	۵/۱
	پیرامون کارخانه	۲/۷	۷/۱	۱۸/۳	۵۴/۵	۳۷	۷/۱	۴/۹	۵/۶
نی	پیرامون کارخانه	۳/۴	۹/۵	۱۲/۳	۳۹/۸	۹/۳	۵/۹	۱۰/۶	۱/۴
دم اسب	پیرامون کارخانه	۱/۹	۷/۶	۲۷/۸	۵۲/۲	۷/۸	۳/۴	۵/۲	۷/۶
زلف پیر	پیرامون کارخانه	۱/۸	۳/۷	۱۹/۴	۸۶/۷	۵/۴	۵/۸	۳/۷	۲/۸

کادمیوم

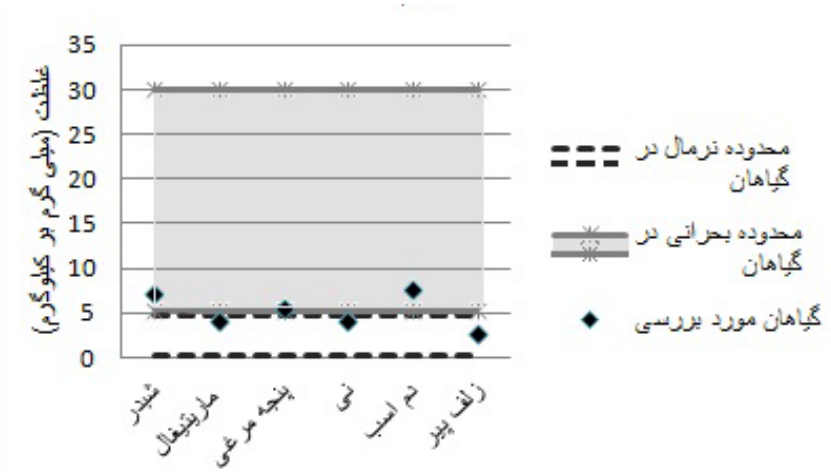
بیشترین غلظت فلز کادمیوم برابر ۱۱/۳ میکروگرم بر گرم در گیاه شبدر و کمترین اندازه آن برابر ۳/۴ میکروگرم بر گرم در گیاه دم اسب مشاهده شد. برای همه گیاهان انباشتگی کادمیوم بیشتر از مرز نرمال این عنصر در گیاهان (۰/۱ تا ۲/۴ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) بدست آمد و به جز گیاه دم اسب، غلظت کادمیوم در دیگر گیاهان به مرز بحرانی (۳۰-۵ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰و پیاس و جونز، ۱۹۹۷و کاباتا پندیاس و پندیاس، ۱۹۹۵) رسیده بود (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲. غلظت فلز کادمیوم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

کروم

کمترین غلظت کروم در ماریتیغال و نی برابر ۴/۱ میکروگرم بر گرم و بیشترین اندازه آن در دم اسب برابر ۷/۶ میکرو گرم بر گرم بدست آمد. غلظت این فلز در گیاهان نی، ماریتیغال، زلف پیر در مرز نرمال این عنصر در گیاهان (۰/۲ تا ۵ میکروگرم بر گرم)(ریوس و بیکر[1]، ۲۰۰۰) و در دیگر گیاهان به مرز بحرانی (۳۰-۵ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) رسیده بود (شکل ۳-۳).

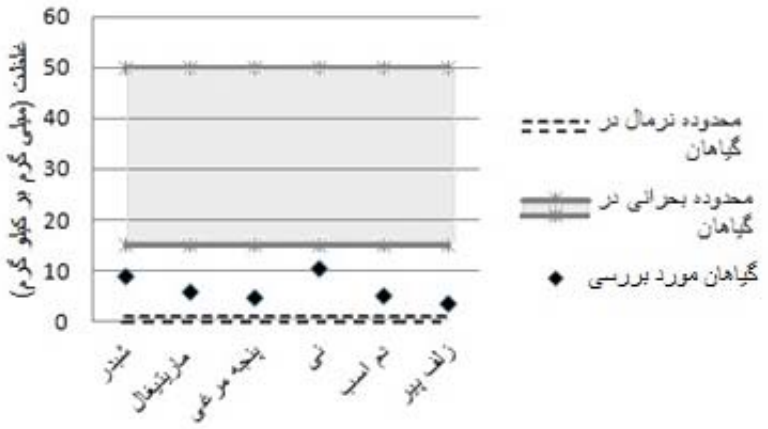


شکل ۳ -۳. غلظت فلز کروم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

[1] Reeves and baker

کبالت

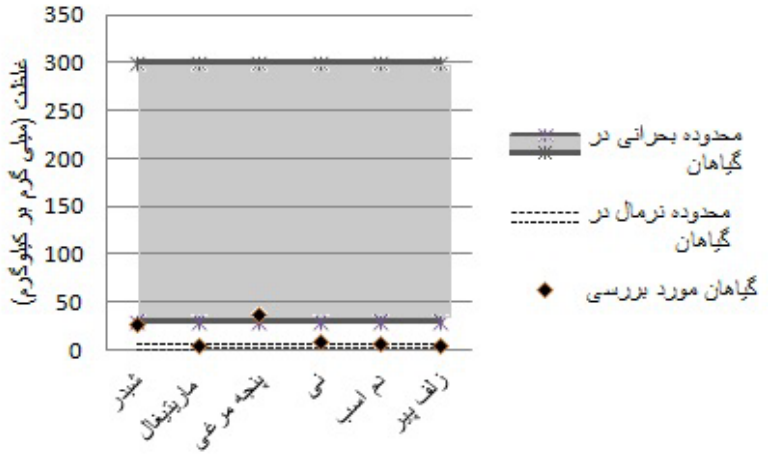
غلظت کبالت در گیاهان از ۳/۷ تا ۱۰/۶ میکروگرم بر گرم بدست آمد. غلظت این فلز در همه گونه‌ها از مرز نرمال(۰/۰۲ تا ۱ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) فراتر رفته، اما به مرز بحرانی(۱۵ تا ۵۰ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) نرسیده بود (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴. غلظت فلز کبالت در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

سرب

غلظت فلز سرب در گیاهان از ۵/۴ تا ۳۷ میکروگرم بر گرم بدست آمد. غلظت این عنصر در همه گیاهان بیش از مرز نرمال(۵-۰/۲ میکروگرم بر گرم)(چانی[1]، ۱۹۸۹و الووی، ۱۹۹۰) بود که در پنجه مرغی این اندازه به مرز بحرانی(۳۰۰-۳۰ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰و پیاس و جونس[2]، ۱۹۹۷و کاباتاپندیاس و پندیاس[3]، ۱۹۹۵) نیز رسیده بود (شکل ۳-۵).



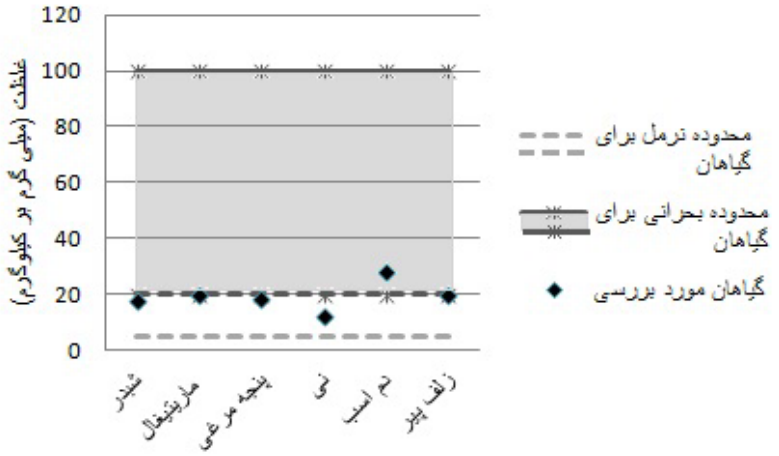
شکل ۳-۵. غلظت فلز سرب در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

[1] Chaney
[2] Pais and jones
[3] Kabata pendias and pendias

مس

بیشترین غلظت مس در گیاه دم اسب با اندازه ۲۷/۸ میکروگرم بر گرم و کمترین آن در گیاه نی با غلظت ۱۲/۳ میکروگرم بر گرم اندازه گیری شد.

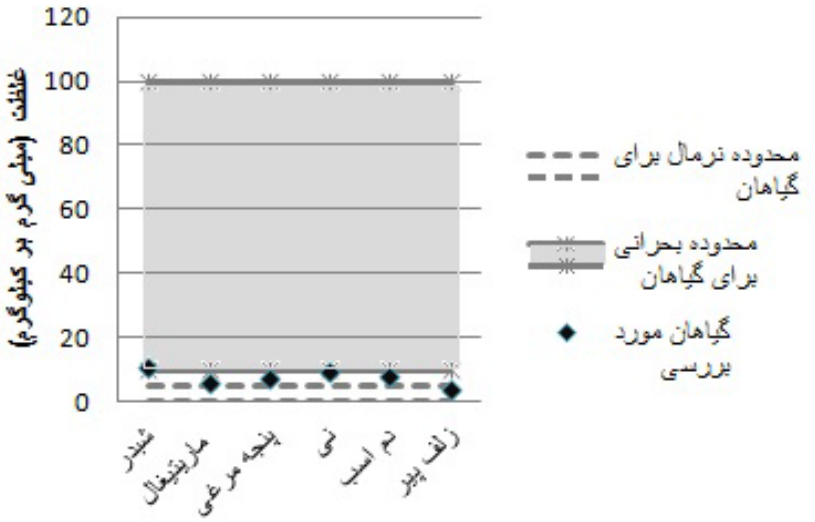
غلظت این فلز در همه گیاهان در دامنه نرمال (۲۰-۵ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) این عنصر در گیاهان بود و تنها گیاه دم اسب بیشتر از مرز نرمال مس را در خود انباشته کرده بود و غلظت مس در این گیاه به مرز بحرانی(۱۰۰-۲۰ میکروگرم بر گرم)(کاباتا-پندیاس، ۲۰۰۱) رسیده بود (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶. غلظت فلز مس در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

نیکل

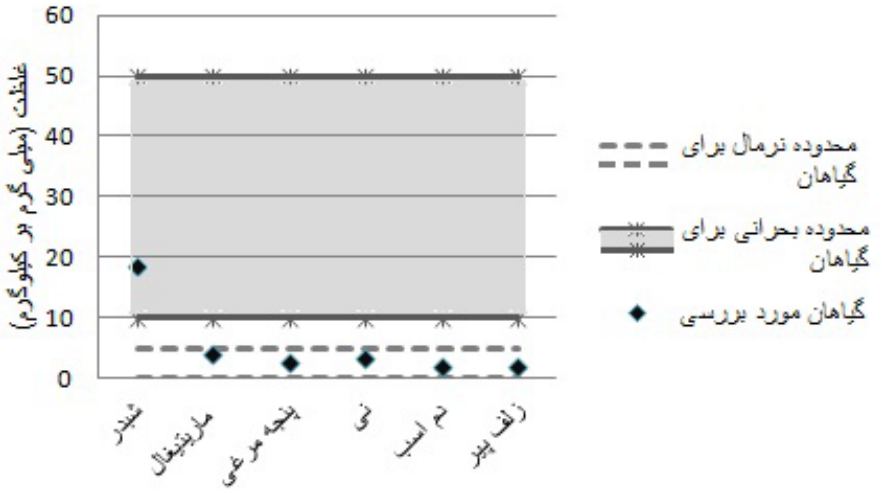
غلظت فلز نیکل برای همه گیاهان از مرز نرمال (۵-۰/۰۲ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) فراتر رفته و تنها غلظت این فلز در گیاه زلف پیر در دامنه نرمال بود. مقدار این فلز در شبدر در مرز بحرانی (۱۰۰-۱۰ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) بدست آمد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷. غلظت فلز نیکل در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

مولیبدن

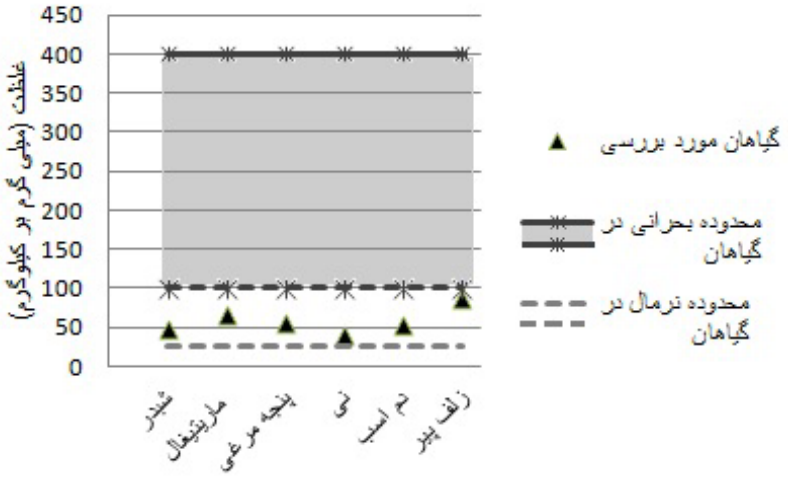
غلظت مولیبدن در همه گونه‌های گیاهی، گذشته از شبدر در مرز نرمال (۵-۰/۰۳ میکروگرم بر گرم)(الووی ۱۹۹۰) بدست آمد. بیشترین غلظت این فلز ۱۸/۴ میکروگرم بر گرم و در گیاه شبدر مشاهده شد که به مرز بحرانی (۵۰-۱۰ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰ و کاباتا پندیاس، ۲۰۰۱) رسیده بود (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸. غلظت فلز مولیبدن در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

روی

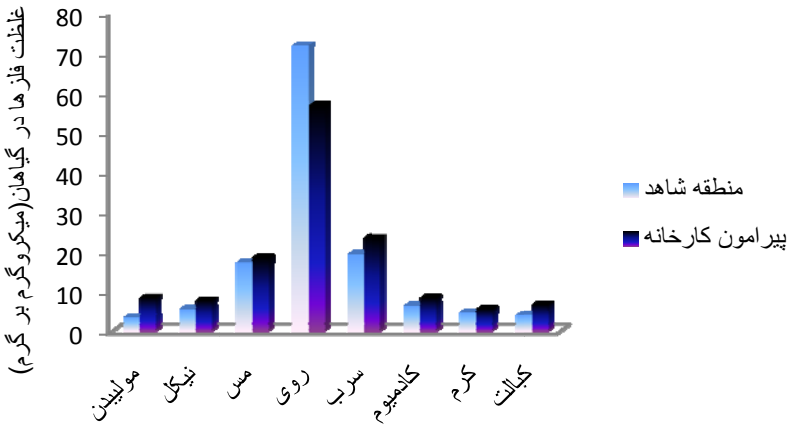
غلظت فلز روی برای همه گیاهان مورد بررسی در مرز نرمال(۱۰۰-۲۷ میکروگرم بر گرم)(کاباتا پندیاس، ۲۰۰۱) و کمتر از مرز بحرانی آن در گیاهان (۴۰۰- ۱۰۰ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰؛ کاباتا پندیاس و پندیاس، ۱۹۹۵ و پیاس و جونس، ۱۹۹۷) بدست آمد. بیشترین اندازه آن برابر ۷۶/۸ میکروگرم بر گرم در گیاه زلف پیر و کمترین اندازه برای گیاه نی و برابر ۳۹/۸ میکروگرم بر گرم مشاهده شد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹. غلظت فلز روی در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

۳-۴-۲ پیامد باطله زغال‌شویی بر غلظت فلزها در گیاهان در فصل پاییز

برای بررسی پیامد فعالیت کارخانه زغال‌شویی بر انباشتگی فلزها در گیاهان، میانگین غلظت فلزها در گیاهان شبدر، پنجه‌مرغی و ماریتیغال پیرامون کارخانه و منطقه شاهد با هم مقایسه گردید. میانگین غلظت فلزها برای همه گیاهان پیرامون کارخانه بیشتر از میانگین غلظت فلز در گیاه منطقه شاهد بود و تنها برای فلز روی درگیاهان منطقه شاهد، به مقدار بیشتری نسبت به گیاهان پیرامون کارخانه انباشته شده بود (شکل۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰. میانگین غلظت فلزها در گیاهان پیرامون کارخانه و منطقه شاهد

به دلیل نداشتن تکرار در نمونه گیری در این فصل، بررسی چشم‌گیر بودن پیامد کارخانه بر غلظت فلزها در گیاهان بر پایه آزمون تی-استیودنت[1] صورت گرفت. این آزمون یکی از روش‌هایی است برای مقایسه میانگین بین دو نمونه استفاده می‌شود و زمانی که اندازه نمونه‌ها کوچک باشد استفاده از این آزمون

[1] Tstudent test

معمول‌تر است. در این آزمون پس از بدست آوردن مقدار t آن را با t جدول مقایسه می‌کنند. برای برداشت t از جدول به سطح احتمال آزمون و درجه آزادی خطا که برابر(۱- تعداد نمونه‌ها) می‌باشد نیاز است.

در این جا فرض بر برابر بودن میانگین غلظت فلزهای گیاهان در دو منطقه قرار گرفت و از آنجایی که داده‌های بدست آمده از این آزمون برای همه عناصر کوچک‌تر از t جدول در پایه آماری ۵ درصد (احتمال ۹۵٪) و درجه آزادی ۲ بود، فرض برابر بودن میانگین‌ها رد نشد و این آزمون ناهمانندی چشم-گیری میان میانگین غلظت فلزها در گیاهان منطقه شاهد و گیاهان پیرامون کارخانه نشان نداد (جدول ۳-۴).

جدول ۳-۴. آزمون میانگین تی- استیودنت غلظت فلزها در گیاهان نمونه برداری شده از خاک‌های پیرامون کارخانه زغال‌شویی و منطقه شاهد

	میانگین غلظت فلزها (میکروگرم بر گرم)							
جایگاه رشد گیاه	کبالت	کروم	کادمیوم	سرب	روی	مس	نیکل	مولیبدن
منطقه شاهد	۴/۰۶	۴/۸۳	۶/۵	۱۹/۴۳	۷۱/۸	۱۷/۲	۵/۵۳	۳/۵
پیرامون کارخانه	۶/۶	۵/۶	۸/۴۳	۲۳/۵۶	۵۶/۸۳	۱۸/۵	۷/۷۳	۸/۴
t بدست آمده از آزمون	۲/۱۳۷	۰/۹۳۵	۱/۰۰۵	۰/۵۵	۰/۸۵	۰/۷۵	۱/۵۵۹	۱/۲۳۸

سطح احتمال: ۵ درصد
درجه آزادی:۲
t جدول: ۴/۳۰۳

۳-۵ ارزیابی پیامد باطله‌های کارخانه زغالشویی بر غلظت فلزها در خاک و گیاهان در فصل تابستان

با توجه به بالا بودن غلظت فلزهای کروم، کبالت و سرب در گیاهان نمونه برداری شده در فصل پاییز، این عناصر برای بررسی دوباره در فصل تابستان سال ۱۳۹۰ برگزیده شدند و غلظت آنها در گونه‌های گیاهی

افسنطین، ترشک شبدری، دم اسب، سلمه و نی اندازه‌گیری شد. همه گیاهان به جز نی که در منطقه شاهد یافت نشد، در دو منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی دقیق‌تر پیامد خاک بر غلظت عناصر در گیاه، این عناصر در خاک دو منطقه نیز اندازه‌گیری گردید.

۳-۵-۱ غلظت فلزها در خاک

غلظت فلزهای کروم، کادمیوم و سرب بدست آمده از آنالیز خاک در جدول (۳-۵) آمده است. میانگین غلظت فلز سرب در خاک پیرامون کارخانه برابر ۱۷/۲۳ میکروگرم بر گرم بدست آمد که این اندازه در دامنه ۲۰۰-۲ میکروگرم بر گرم این عنصر در خاک‌ها (لیندسی و همکاران[1]، ۱۹۶۷) قرار دارد و اندازه آن از مرز بحرانی ۴۰۰ میکروگرم بر گرم (کاباتا-پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۰) این عنصر در خاک بسیار کمتر است.

غلظت فلز کادمیوم در خاک منطقه مورد بررسی برابر ۰/۱۵ میکروگرم بر گرم می‌باشد و در دامنه ۰/۷-۰/۰۱ میکروگرم بر گرم این عنصر در خاک‌ها (لیندسی و همکاران، ۱۹۶۷) قرار دارد و اندازه آن کمتر از مرز بحرانی ۳ میکروگرم بر گرم برای کادمیوم (کاباتا-پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۰) می‌باشد.

غلظت فلز کروم در خاک منطقه مورد بررسی برابر ۱۵/۱۹ میکروگرم بر گرم است که این اندازه در دامنه ۱۰۰-۱ میکروگرم بر گرم (لیندسی و همکاران، ۱۹۶۷) این عنصر در خاک‌ها قرار دارد.

با توجه به داده‌های استاندارد می‌توان دریافت کرد که اندازه فلزهای سرب، کادمیوم و کروم در خاک پیرامون کارخانه در دامنه نرمال این عناصر در خاک است و غلظت این عناصر در منطقه مورد بررسی بالا نیست و فعالیت کارخانه مایه افزایش غلظت فلزهای سرب و کادمیوم در خاک پیرامون خود نشده است.

[1] Lindsay

این یافته‌ها با یافته‌های پژوهش شریعتی (۱۳۹۰) بر روی این عناصر در خاک منطقه هم‌خوانی دارد. شریعتی گزارش کرد که فلزهای کادمیوم و سرب در مرز شایسته آن در خاک و همچنین مرز مجاز برای سلامتی انسان بر پایه استاندارد FAO هستند و پژوهش او نبود آلودگی خاک منطقه به عناصر یادشده را نشان داد.

جدول ۳-۵. غلظت فلزهای کادمیوم، کروم و سرب در خاک

محل نمونه برداری	غلظت فلزها (میکروگرم بر گرم)		
	کروم	کادمیوم	سرب
منطقه	۹/۴۳	۰/۱۲۱	۱۳/۰۷
	۱۱/۲	۰/۱۰۲	۱۷/۲۶
شاهد	۱۳/۵	۰/۱۴	۱۵/۱۳
پیرامون	۱۵/۴	۰/۲	۱۷/۵
	۱۶/۱۸	۰/۱۷	۱۵/۸
دمپ	۱۴	۰/۰۹	۱۸/۴

برای ارزیابی اثر گونه خاک بر غلظت فلزها از جدول تجزیه واریانس بهره‌گیری شد. در تجزیه واریانس[1] شاخصی به نام F محاسبه می‌شود که از نسبت واریانس بین تیمارهای مورد بررسی بر واریانس خطای آزمایش بدست می‌آید. زمانی که F کوچکتر یا مساوی یک باشد تفاوت بین تیمارها (عواملی که اثر آنها در آزمایش مطالعه می‌شود) چشم‌گیر نیست اما زمانی که F بزرگ‌تر از یک باشد معیار سنجش مقدار F بدست آمده، عددی است که از جدول F برداشت می‌شود. در صورتی که F بدست آمده از F جدول بزرگ‌تر باشد تفاوت بین تیمارها چشم‌گیر است (اطمینان، ۱۳۸۸).

[1] Analysis Of Variance

تجزیه واریانس اندازه فلزها نشان می‌دهد که پیامد باطله‌های کارخانه زغال‌شویی بر غلظت فلزهای کادمیوم و سرب چشم‌گیر نیست، اما پیامد این باطله‌ها بر غلظت کروم در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر است (جدول ۳-۶).

جدول۳-۶. تجزیه واریانس غلظت فلزها در خاک در فصل تابستان

	میانگین مربعات		
منبع تغییر	سرب	کادمیوم	کروم
منطقه	۶/۴۸^{ns}	۰/۰۰۱۵^{ns}	۲۱/۸*
میانگین خطا	۳/۰۶۶	۰/۰۰۱۷	۲/۶۹

* نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

جدول تجزیه واریانس در مورد اینکه تفاوت میان کدامیک از تیمارها وجود دارد یا به عبارت دیگر تمام تیمارها با یکدیگر تفاوت دارند یا این تفاوت در میان برخی از آنها وجود دارد اطلاعاتی به ما نمی‌دهند. برای این منظور لازم است از آزمون مقایسه میانگین بهره‌گیری شود. در این پژوهش مقایسه بین میانگین عناصر به کمک آزمون دانکن انجام شد، در این آزمون احتمال اشتباه نوع اول نسبت به آزمون LSD و اشتباه نوع دوم نسبت به آزمون‌های توکی، S.N.K و شفه کمتر است. اشتباه نوع اول زمانی پدید می‌آید که بین میانگین‌ها تساوی وجود داشته باشد اما ما به اشتباه این تساوی را نپذیریم و اشتباه نوع دوم زمانی به وجود می‌آید که بین میانگین تفاوت وجود داشته باشد اما ما به اشتباه میانگین‌ها را مساوی در نظر بگیریم. مقایسه میانگین برای متغیرهایی که در جدول تجزیه واریانس پیامد چشم‌گیری را نشان می‌دهند صورت می‌گیرد (اطمینان، ۱۳۸۸).

از آنجایی که در پیامد باطله بر غلظت فلزها در خاک فقط برای عنصر کروم چشم‌گیر بود آزمون میانگین دانکن برای این فلز انجام شد. آزمون میانگین نشان می‌دهد که غلظت کروم در خاک پیرامون کارخانه با میانگین ۱۵/۱۹۳ به گونه چشم‌گیری بیشتر از غلظت این فلز در خاک منطقه شاهد است (جدول ۳-۷).

جدول ۳-۷. آزمون میانگین دانکن غلظت کروم در خاک پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب و منطقه شاهد

منطقه	میانگین(میکروگرم بر گرم)
شاهد	۱۱/۳۷۷[b]
کارخانه	۱۵/۱۹۳[a]

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

۳-۵-۲ بررسی انباشتگی فلزها در گیاهان نمونه‌برداری شده در فصل تابستان

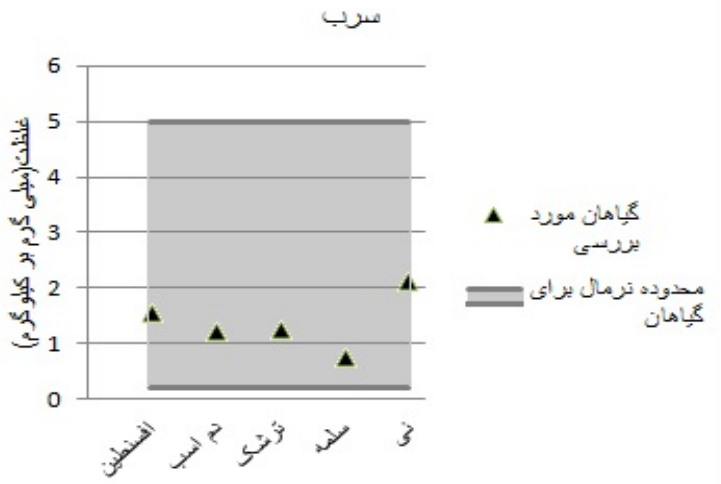
همانطور که در بخش‌های قبلی بیان شد غلظت فلزهای کادمیوم، کروم و سرب در گیاهان نمونه برداری شده در فصل تابستان اندازه‌گیری شد، نتایج بدست آمده در جدول (۳-۸) آورده شده است. در ادامه به بررسی مقایسه غلظت در گیاهان مورد بررسی با مقدار نرمال و بحرانی آنها در گیاهان پرداخته شده است.

جدول ۳-۸. غلظت فلزها در گیاهان در فصل تابستان

گونه گیاه	منطقه نمونه برداری	غلظت فلزها (میکروگرم بر گرم)		
		کروم	کادمیوم	سرب
افسنطین	منطقه شاهد	۰/۸۲	۰/۱۲۹	۰/۹۷
		۰/۴۸	۰/۰۷۷	۱
		۰/۸۹	۰/۱۸	۱/۸۶
	پیرامون کارخانه	۱/۰۴	۰/۲۳	۱/۱۵
		۰/۵۴	۰/۳	۰/۳۹
		۰/۹۱	۰/۲۲	۳/۱۲
دم اسب	منطقه شاهد	۰/۸۸	۰/۱۱	۰/۶۹
		۰/۵	۰/۱۱۵	۱/۷۴
		۰/۶	۰/۱۲	۱/۲۱۵
	پیرامون کارخانه	۰/۶۷	۰/۱۹۴	۰/۸۶
		۰/۴۹	۰/۱۳	۰/۸۵
		۰/۸۵	۰/۱۲	۱/۹۵
پرشک	منطقه شاهد	۰/۴۵	۰/۱۷	۱/۴۷
		۰/۶	۰/۳۳	۰/۸
		۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۷۵
	پیرامون کارخانه	۰/۷۴۸	۰/۷۳	۱/۵۱
		۰/۵۴	۰/۴۹۵	۰/۹۳
		۰/۸۸	۰/۲۶	۱/۳۷
سلمه	منطقه شاهد	۰/۲۵	۰/۰۱۵	۰/۱۸
		۰/۳۳۶	۰/۰۹۶	۰/۱۶
		۰/۳	۰/۰۳	۰/۱۷
	پیرامون کارخانه	۰/۳۸۸	۰/۲۳	۱/۰۳
		۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۷۵۵
		۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۴۸
نی	پیرامون کارخانه	۰/۳۹	۰/۱۲	۳/۱۵
		۰/۶۶	۰/۱۴	۱/۵۴
		۰/۹	۰/۱۳	۱/۷۲

سرب

میانگین غلظت سرب در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب از ۰/۷۶ تا ۲/۱۳۶ میکروگرم بر گرم بدست آمد. غلظت فلز سرب در گیاهان بررسی شده در دامنه نرمال (۵-۰/۲میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰ و چنی، ۱۹۸۹) و کمتر از اندازه بحرانی (۳۰۰-۳۰ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰و پیاس و جونس،[1] ۱۹۹۷و کاباتاپندیاس و پندیاس،[2] ۱۹۹۵) این عنصر در گیاهان بود (شکل ۳-۱۱).

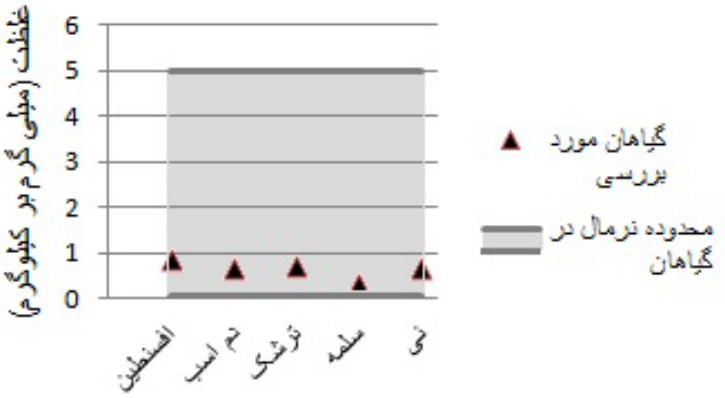


شکل ۳-۱۱. غلظت فلز سرب در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

[1] Pais and jones
[2] Kabata pendias and pendias

کروم

میانگین غلظت کروم در گیاهان پیرامون کارخانه از ۰/۳۰۶ تا ۰/۸۳ میکروگرم بر گرم بدست آمد. غلظت کروم در گیاهان منطقه در محدوده غلظت نرمال این عنصر (۰/۲ تا ۵ میکروگرم بر گرم)(ریوس و بیکر،[1] ۲۰۰۰) و کمتر از غلظت بحرانی این عنصر در گیاهان (۳۰-۵ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) بود (شکل۳-۱۲).

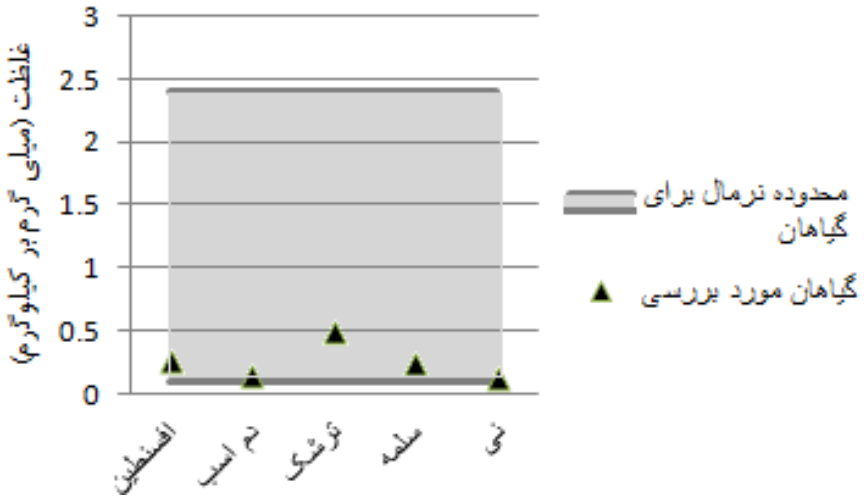


شکل ۳-۱۲. غلظت فلز کروم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

[1] Reeves and baker

کادمیوم

میانگین غلظت کادمیوم در گیاهان بررسی شده در محدوده غلظت نرمال این عنصر در گیاهان (۰/۱ تا ۲/۴ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰) و کمتر از مرز بحرانی کادمیوم در گیاهان (۳۰-۵ میکروگرم بر گرم)(الووی، ۱۹۹۰و پیاس و جونز، ۱۹۹۷و کاباتا پندیاس، ۱۹۹۵) بود (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳. غلظت فلز کادمیوم در گیاهان پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

۳-۵-۳ ارزیابی پیامد گونه گیاه و باطله زغال‌شویی بر غلظت فلزها در گیاهان تابستانه

در این بخش ابتدا بر اساس تجزیه واریانس، پیامد گونه گیاه و باطله زغال‌شویی و برهم‌کنش آنها بر غلظت فلزها در گیاهان بررسی شده است، سپس به بررسی پیامد عوامل کارامد بر غلظت فلز در گیاهان برای هر عنصر به صورت جداگانه پرداخته شده است.

نتایج تجزیه واریانس غلظت فلزها در گیاهان نشان می‌دهد که پیامد گونه گیاه و باطله زغال‌شویی و برهم کنش گونه گیاه و باطله زغال‌شویی بر غلظت عنصر سرب در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر نیست. پیامد گونه گیاه بر غلظت عنصر کروم و کادمیوم در گیاهان در پایه آماری ۱ درصد و پیامد باطله زغال-شویی بر غلظت کادمیوم در گیاهان در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر است (جدول ۳-۹).

جدول ۳-۹. تجزیه واریانس غلظت فلزها در گونه‌های گیاهی و خاک در فصل تابستان

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	سرب	کادمیوم	کروم
گونه گیاه	۳	۱/۰۲۷ ns	۰/۱۰۱**	۰/۲۵۹**
گونه خاک	۱	۰/ ۴۷۸ ns	۰/۰۹۸۴*	۰/۰۲۳ns
گونه خاک×گونه گیاه	۳	۰/۰۸۴ns	۰/۰۰۷ns	۰/۰۰۵ns
خطا	۱۶	۰/۴۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۰

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ns نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

الف) پیامد گونه گیاه بر غلظت فلزهای کادمیوم و کروم در گیاهان در تابستان

یکی از مهمترین فاکتورهایی که در جذب عناصر کارایی دارد، گونه گیاهی است. گونه‌های گوناگون گیاهان دارای ریخت شناسی گوناگونی از ریشه با چگونگی پخش و گسترش در خاک و همچنین غشائی با تراوایی ویژه هستند. هر گونه گیاهی در سنین گوناگون از خود رفتار گوناگونی را با عناصر نشان می-دهد.

با توجه به چشم گیر بودن پیامد گونه‌گیاهی در غلظت فلزهای کروم و کادمیوم در گیاهان، آزمون میانگین دانکن برای این فلزها انجام شد. نتایج بدست آمده از این آزمون در جدول (۳-۱۰) آورده شده

است. بیشترین غلظت کادمیوم در ترشک با میانگین ۰/۴۰۹ میکروگرم بر گرم بدست آمده که ناهمانندی چشم‌گیری با دیگر گیاهان دارد. غلظت کادمیوم در گیاهان دیگر ناهمانندی چشم گیری نشان نمی‌دهد.

کمترین غلظت کروم در گیاه سلمه با میانگین ۰/۳ میکرو گرم بر گرم بدست آمد که ناهمانندی چشم-گیری با دیگر گیاهان دارد. غلظت کروم در گیاهان دیگر ناهمانندی چشم گیری نشان نمی‌دهد.

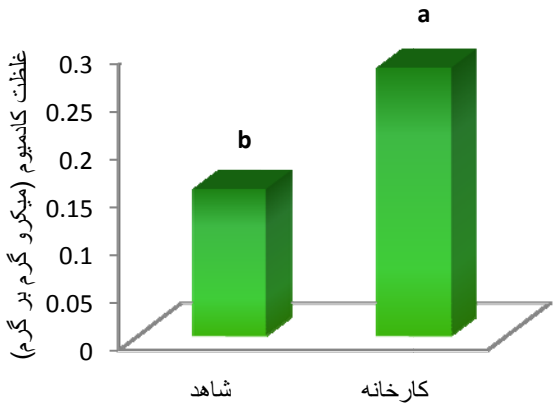
جدول ۳-۱۰. آزمون میانگین دانکن غلظت کادمیوم و کروم در گونه‌های گیاهی

	میانگین غلظت فلزها(میکرو گرم بر گرم)	
گونه گیاهی	کادمیوم	کروم
افسنطین	۰/۱۸۹^{b}	۰/۷۸^{a}
دم اسب	۰/۱۳۱^{b}	۰/۶۶^{a}
ترشک	۰/۴۰۹^{a}	۰/۶۵۸^{a}
سلمه	۰/۱۴^{b}	۰/۳^{b}
میانگین خطا	۰/۰۱۱	۰/۰۳۰۳
درجه آزادی خطا=۱۴		

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

ب) پیامد باطله زغال‌شویی بر غلظت فلز کادمیوم در گیاهان در تابستان

از آنجایی که پیامد باطله‌زغال‌شویی بر غلظت فلز کادمیوم در گیاهان چشم‌گیر است، آزمون میانگین برای این فلز انجام شد. میانگین غلظت فلز کادمیوم در گیاهان مذکور در شکل (۳-۱۴) آورده شده است. غلظت فلز کادمیوم در گیاهان پیرامون کارخانه با میانگین غلظت ۰/۲۸۱ میکروگرم بر گرم به اندازه چشم‌گیری بیشتر از غلظت این عنصر در گیاهان منطقه شاهد با میانگین ۰/۱۵۳ میکروگرم بر گرم می-باشد.

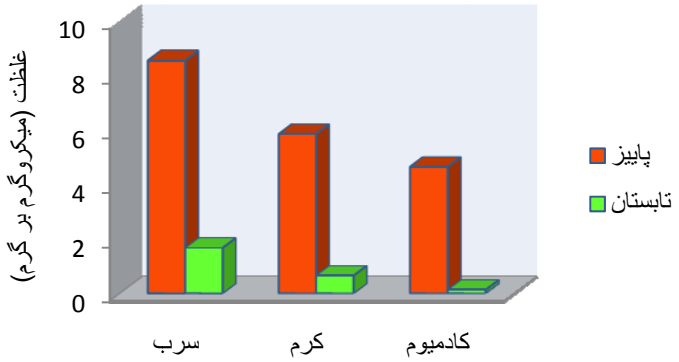


شکل ۳-۱۴. میانگین غلظت کادمیوم در گیاهان منطقه شاهد و پیرامون کارخانه زغال‌شویی زیراب

۳-۶ پیامد فصل رشد بر غلظت فلزها در گیاهان

عناصر شیمیایی گوناگون می‌توانند در زمان‌هایی از سال در بخش‌های گوناگونی از گیاه انباشته شوند. بهترین فصل نمونه برداری برای گیاهان بهار است. اگر چه نمونه‌گیری در تابستان می‌تواند همانند بهار رضایت بخش نباشد اما گاهی به علت شرایط دیگر این کار می‌تواند داده‌های بهتری بدست دهد.

غلظت عناصر سرب، کروم و کادمیوم در دو گیاه دم اسب و نی که در نمونه برداری دو فصل پاییز و تابستان مشترک بودند با هم سنجیده شد. همان گونه که در شکل (۳-۱۵) دیده می‌شود میانگین غلظت همه این عناصر در گیاهان در فصل پاییز بیشتر از میانگین غلظت آنها در فصل تابستان است. این ناهمانندی در غلظت فلزها در گیاهان نمونه برداری شده در تابستان با نمونه‌های برداشت شده در پاییز می‌تواند وابسته به زمان بیشتر برای جذب فلز در گیاه و انباشتگی آنها باشد. صفری سنجانی (۲۰۰۷) نیز با بررسی دگرگونی زمانی غلظت سرب در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه ساسولا کالی در خاک‌های پیرامون بزرگراه رزن همدان گزارش کرد که زیست انباشتگی این فلز در فصل پاییز بسیار بیشتر از آن در فصل بهار است.



شکل ۳-۱۵. میانگین غلظت فلزها در گیاه دم اسب و نی در فصل پاییز و تابستان

۳-۷ همبستگی میان عناصر در گیاهان در فصل تابستان

همبستگی میان عناصر برای جذب در گیاهان در جدول (۳-۱۱) آمده است، میان جذب همه عناصر در گیاهان همبستگی مثبت وجود داشت. بیشترین همبستگی میان فلزهای سرب و کروم دیده شد که در سطح ۱ درصد چشم گیر بود.

جدول۳-۱۱. همبستگی میان عناصر در گیاهان

	همبستگی بین فلزها		
	سرب	کادمیوم	کروم
سرب	۱	۰/۱۳^{ns}	۰/۵۹**
کادمیوم	۰/۱۳^{ns}	۱	۰/۲۳^{ns}
کروم	۰/۵۹**	۰/۲۳^{ns}	۱

** نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

۳-۸ نتیجه‌گیری

بررسی میدانی کارخانه زغال‌شویی نشان داد که غلظت فلزها در خاک پیرامون کارخانه به اندازه‌ای نیست که مایه آلودگی گیاهان منطقه شود اما در گیاهان پیرامون کارخانه در سنجش با گیاهان منطقه شاهد، میزان کادمیوم بیشتری بدست آمد. گونه گیاهی و فصل رشد از عوامل کارا در جذب عناصر در گیاهان منطقه به شمار می‌آیند.

فصل چهارم

کشت گلخانه ای گیاه در باطله زغال شویی

۴-۱ مقدمه

یکی از روش‌های کارامد برای کنترل آلودگی در خاک و آب استفاده از گیاهان است. گیاه بهسازی روشی کارا و کم هزینه در کاهش و کنترل آلاینده‌های آلی و فلزهای سنگین می‌باشد (پرابها[1] و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش با دو هدف بررسی توانایی گیاه شبدر در بهسازی باطله‌های کارخانه زغال‌شویی و نیز پیامد باطله‌ها بر رشد این گیاه، اقدام به کشت گلخانه‌ای شبدر گردید. توانایی شبدر در جذب عناصر (فردی و همکاران، ۱۳۸۷ و هوشمندفر، ۱۳۹۰) و بومی بودن آن در منطقه از دلایل گزینش این گیاه می‌باشد.

در این فصل ابتدا به معرفی گیاه بهسازی و روش‌های آن پرداخته می‌شود، در ادامه ویژگی خاک‌های مورد آزمایش در این پژوهش و پیامد آنها بر ویژگی‌های گیاه شبدر بررسی می‌گردد و در پایان امکان کاربرد روش استخراج گیاهی و پایدارسازی گیاهی در منطقه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۴-۲ گیاه بهسازی

گیاه بهسازی بهره‌گیری از گیاهان برای زدودن، جابجایی، تثبیت و کاهش آلودگی در خاک، ته‌نشست‌ها و آب است (هوگس و همکاران[2]، ۱۹۹۷). گیاه بهسازی برگرفته از واژه فیتورمدیشن (فیتو به معنای گیاه و رمدیشن یک پسوند لاتین به معنای بهسازی و بهبود) می‌باشد. این روش کم هزینه با قابلیت دسترسی ساده است که در آن از گیاهانی مانند علوفه، گونه‌های چوبی و بوته‌ها برای برداشت، نگهداری و بی زیان کردن آلاینده‌های زیست محیطی مانند فلزهای سنگین، ترکیب‌های آلی و مواد رادیواکتیو در آب و خاک بهره گیری می‌شود. ایده بهره‌گیری از گیاهان و برداشت فلزها از خاک‌های آلوده را

[1] Prabha
[2] Hughes

یوتسونامیا[1](۱۹۸۰) و چانی[2](۱۹۸۳) پیشنهاد دادند. نخستین آزمایش‌های برداشت گیاهی عناصر کادمیوم و روی از خاک توسط بیکر و همکاران(۱۹۹۱) انجام شد.

۴-۲-۱ روش‌های گیاه بهسازی

بسته به شدت و گونه آلودگی، شرایط زیستگاه آلوده، اندازه پالایش دلخواه و گونه گیاهی، روش گیاه بهسازی می‌تواند برای تثبیت آلودگی یا برداشت آلودگی از زیستگاه به کار رود (تانگاول و سابهورما[3]، ۲۰۰۴). گیاه بهسازی به روش‌های استخراج گیاهی، پایدارسازی گیاهی، ریشه پالایی وگازی‌سازی گیاهی انجام می‌شود که در این پژوهش روش استخراج گیاهی و پایدارسازی گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

الف. استخراج گیاهی

استخراج گیاهی یا برداشت آلاینده با گیاه عبارت است از جذب فلزهای سنگین در ریشه و ترابری آنها به بخش‌های هوایی گیاه و سپس برداشت اندام‌های هوایی گیاهان برای پاک‌سازی خاک و زیستگاه‌های دیگر (اشمیت[4]، ۲۰۰۳).

در این روش از گیاهان بیش اندوز یا فراانباشت کننده[5] برای جذب فلزهای سنگین از خاک بهره‌گیری می‌شود. گونه گیاهی بر پایه توان رشد، ساخت اندام هوایی، انباشتگی فلز، پایداری در خاک و سازگاری با آلودگی و زیستگاه برگزیده می‌شود. گیاهانی که در این روش به کار می‌روند باید دارای ویژگی‌های زیر باشند (تانگاول و سابهورما، ۲۰۰۴):

[1] Utsunamyia
[2] Chaney
[3] Tangavel and Subhuram
[4] Schmidt
[5] Hyperaccumulatores

- به خوبی در منطقه رشد کنند.
- سیستم ریشه ای گسترده ای بسازند.
- توانایی و بردباری بالایی در برابر غلظت بالایی از فلزها را داشته باشند.
- بتوانند چندین فلز را به اندازه فراوانی در اندام هوایی انباشته کنند.
- رشد خوب و زیستوده[1] بالایی داشته باشند.
- در برابر بیماری‌ها و آفات پایدار باشند.
- در زیستگاه آلوده سازگار باشند.
- از گیاهان خوراکی و پر مصرف نباشد.

دست‌یابی به غلظت بالای فلز در گیاه وابسته به زیست فراهمی آن در خاک می‌باشد. از سویی زیست فراهمی فلزها در خاک وابسته به ویژگی‌های گوناگونی مانند گنجایش تبادل کاتیونی، pH و عوامل کی-لیت کننده می‌باشد، که برای بهبود فرآیند استخراج گیاهی می‌توان در راستای دگرگونی و بهبود هر یک از این ویژگی‌ها کار کرد (اوانگلو[2] و همکاران، ۲۰۰۴؛ صفری سنجانی و خلیلی خواه، ۲۰۱۰).

در این روش پس از گذشت چندین هفته یا ماه از کاشت گیاه، آن را برداشت می‌کنند. گیاهکاری و برداشت پی در پی گیاهان می‌تواند سطح آلودگی را به اندازه چشم‌گیری کاهش دهد. زمان لازم برای اینکار بسته به گونه، درجه آلودگی فلز، مدت رشد و راندمان برداشت فلز با گیاه از خاک و آب ناهمانند است که می‌تواند نزدیک ۱ تا ۲۰ سال باشد. این روش برای سرزمین‌های گسترده با آلودگی کم فلزها در عمق کم خاک شایسته است (کومار،[3] ۱۹۹۵و بلای لاک و هانگ،[4] ۲۰۰۰). برداشت وزن فراوانی از گیاهان

[1] Biomass
[2] Evangelou
[3] Kumar
[4] Blay lock and Hung

که دارای اندازه‌های فراوان و زیانباری از فلزها هستند به کاهش آلودگی خاک و آب می‌انجامد که باید به گونه شایسته‌ای این گیاهان خاکستر و دفن شوند تا زیان زیست محیطی آنها کم شود. حجم گیاهان را می‌توان با سوزاندن یا کمپوست کردن کاهش داد و برای فراوری انرژی از آن بهره برد (بروکس، ۱۹۹۸). همچنین از خاکستر بدست آمده از سوزاندن گیاهان می‌توان فلزهای انباشته شده در آنها را استخراج کرد (تانگاول و سابهورما[1]، ۲۰۰۴).

ب. پایدارسازی گیاهی[2]

این روش عبارت است از به کاربردن گونه‌های گیاهی ویژه برای تثبیت آلودگی در خاک از راه جذب و انباشتن آلودگی در ریشه‌ها یا جذب سطحی بر ریشه‌ها و ته نشینی آن در منطقه ریشه گیاه (پرابها، ۲۰۰۷).

در برابر دیگر روش‌های گیاه بهسازی، در این روش گیاه آلودگی را از خاک جدا نمی‌کند و گیاه با انباشته کردن آن در ریشه یا تثبیت در منطقه پیرامون ریشه توان جابجایی آلودگی را کاهش می‌دهد. پایدارسازی گیاهی با افزایش اندوخته مواد آلی خاک، کارایی ویژه ای در بهبود ساختمان خاک دارد، این روش برای بهسازی منطقه گسترده‌ای که آلودگی سطحی دارد سودمند است (کانینگهام و همکاران، ۱۹۹۷ و برتی و کانینگهام[3] ۲۰۰۰) و برای مناطقی با آلودگی بالا که رشد و زنده ماندن گیاه در آن ممکن نیست کاربرد ندارد. این روش در برابر روش‌های دیگر بهسازی خاک کم هزینه‌تر و انجام آن آسان‌تر است (برتی و کانینگهام۲۰۰۰). این روش برای آلاینده‌های فلزی در مناطقی که تثبیت آلاینده‌ها در همان جا بهترین راهکار است، کاربرد دارد. افزایش پوشش گیاهی باعث افزایش گنجایش نگهداری آب

[1] Tangavel and Subhuram
[2] Phytostabilization
[3] Berti and cuningham

خاک و تبخیر و تعرق شده و از آبشویی آلودگی جلوگیری می‌کند. افزون بر آن گیاهان فرسایش خاک را می‌کاهند و از جابجایی دانه‌های گرد و غبار با جریان باد جلوگیری می‌کنند (پالفورد و واتسون[1]، ۲۰۰۳).

گیاهی که در این روش بکار می‌رود باید توانایی رشد در غلظت بالای فلزها را داشته باشد، زیست توده بالایی بسازد و بتواند آلودگی را از راه جذب در ریشه خود بی‌جنبش کند و در برابر گیاهانی که در استخراج گیاهی بکار می‌روند، از ترابری فلزها به اندام هوایی جلوگیری کند.

یون[2] و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی ۱۷ گونه گیاه که در منطقه آلوده رشد کرده بودند، گیاهانی با فاکتور تغلیظ زیستی[3] (نسبت عنصر در ریشه به خاک) بالا و فاکتور ترابری[4] (نسبت عنصر در اندام هوایی به ریشه) پایین را برای پایدارسازی گیاهی شایسته دانستند. اسمیت و برادشاو ۱۹۹۲[5] با بررسی گندمیان[6] بر روی تثبیت آلودگی مس، سرب و روی در باطله‌های معدنی، گونه‌های *اگروتیس تنویس کالتیوار کوجینان*[7] در باطله‌های اسیدی سرب و روی، گونه *اگروتیس تنویس کالتیوار پاریس*[8] برای باطله‌های معدن مس و گونه *فستوکا رابرا*[9] برای باطله‌های آهکی معدن روی و سرب شایسته دانستند.

در این روش با انجام یکسری کارها می‌توان ریخت کمپلکس نامحلول فلزها را بالا برد و زیست فراهمی[10] و جذب گیاهی را کاهش داد. از جمله می‌توان به افزودن مواد آلی مانند کود آلی به همراه آهک اشاره کرد. آهک با افزایش pH خاک، مایه بی‌جنبش شدن فلزها می‌شود (ویلیامسون و جانسون،[11] ۱۹۸۱).

[1] Pulford and Watson
[2] Yoon
[3] Bio-concentration factor
[4] Translocation factor
[5] Smith and Bradshaw
[6] Grasses
[7] *Agrostis tenuis cv.Coginan*
[8] *tenuis cv. Parys Agrostis*
[9] *Festuca rubra cv. Merlin*
[10] biological availability
[11] Williamson and Johnson

افزودن یون فسفات نیز جذب سطحی فلز را افزایش می‌دهد و آن را در خاک ته‌نشین می‌کند (بولان[1] و همکاران، ۲۰۰۳). ترکیب‌هایی مانند فسفوریت، زئولیت، مونت موریلونیت و مواد هومیک با پیوند با عناصر فلزی آنها را بی‌جنبش می‌کنند (ادواردز[2] و همکاران، ۱۹۹۹).

ج. ریشه پالایی[3]

جذب، انباشتگی و ته‌نشینی فلزهای سنگین در ریشه را ریشه پالایی می‌گویند. ریشه‌های گیاهان می توانند فلزهای روی و کرم فراوانی را از زیستگاه خود جذب نمایند. این روش بیشتر در پاکسازی آب‌های سطحی و زیرزمینی کاربرد دارد.

در این روش بهره‌گیری از گیاهان خشکی‌زی بر گیاهان آبزی برتری دارد. زیرا گیاهان خشکی‌زی با ساخت ریشه الیافی، بخش بزرگی از منطقه را پوشش می‌دهند. همچنین اندازه آب بالای گیاهان آبزی، کمپوست کردن، خشک کردن و خاکستر کردن آنها را دشوار می‌کند. آفتاب گردان[4] و خردل هندی[5] گیاهان شایسته برای گرفتن و برداشت فلزها از آب هستند. ریشه‌های خردل هندی در نگهداشتن کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی کارا است (داشنکو و همکاران،[6] ۱۹۹۵) و آفتاب‌گردان سرب، وانادیوم را از محلول‌های هیدروپونیک جذب می‌کند (داشنکو و همکاران، ۱۹۹۷a و b).

[1] Bolan
[2] Edwards
[3]-Rhzofilteration
[4] Helianthus annus L
[5] Brassica juncea Czern
[6] Dushenkov

د. گازی‌سازی گیاهی[1]

گیاهان به گونه طبیعی یا به گونه بهسازی شده ژنتیک می‌توانند فلزها را از خاک جذب کرده و به ریخت گازی وارد اتمسفر کنند، این فرایند گازی‌سازی گیاهی گفته می‌شود. این روش برای عناصر جیوه، آرسنیک و سلنیوم کاربرد دارد. آزاد شدن ترکیب‌های سلنیوم به گونه گازی از گیاهان بیش اندوز را نخستین بار لوئیس[2] و همکاران (۱۹۶۶) گزارش شد. برخی گیاهان آبزی مانند نی[3] پتانسیل گیاه بهسازی سلنیوم را دارند (پیلون-اسمیتس[4] و همکاران، ۱۹۹۹).

از برتری‌های این روش می‌توان یادآور شد که سمیت ترکیب‌های سلنیوم گازی مانند دی متیل سلنید[5] $\frac{1}{600}$ تا $\frac{1}{500}$ ترکیب‌های غیرآلی و کانی سلنیوم در خاک است (دی سوزا[6] و همکاران، ۲۰۰۰) و از سوی دیگر در این روش نیازی به برداشت گیاهان کاشته شده نیست (هیتون[7] و همکاران ۱۹۹۸).

از بدی‌های این روش دشواری کنترل و گردآوری گازهای آزاد شده است، بنابراین این روش نباید در مناطق نزدیک به شهرهای پرجمعیت و مناطقی با شرایط آب و هوایی ویژه که سرعت پخش آلودگی فراوان است به کار گرفته شود. از سوی دیگر با توجه به پیامدهای ناگوار پخش فلزها در اتمسفر، برگزیدن این روش به عنوان یک ابزار شایسته در زیست بهسازی خاک باید بخوبی بررسی و ارزیابی شود.

[1] Phytovolatilization
[2] Lewis
[3] *Typha latifolia*
[4] Pilon-Smits
[5] Dimethyl selenide
[6] DeSouza
[7] Heaton

۴-۳ کاشت گیاه شبدر در باطله زغال‌شویی

برای کشت گلدانی شبدر، سه گونه خاک شامل خاک گردآوری شده از دمپ باطله، خاک زمین کشاورزی گردآوری شده از دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود و آمیخته ای از این دو خاک با نسبت وزنی یکسان (۱:۱) به کار برده شد. برای کشت، دانه گیاه شبدر برسیم[۱] آماده و کشت گیاه در مهرماه انجام شد. در آغاز در هر گلدان ۱۲۰ دانه شبدر کاشته شد که پس از گام جوانه زنی شمار گیاهچه آنها به ۲۰ بوته در هر گلدان کاهش یافت. کاشت برای همه تیمارها در ۴ تکرار انجام شد. در دوره رشد گیاهان به همه گلدان‌ها ماده غذایی لانگ اشتون[۲] بدون فسفر افزوده شد (شکل ۴-۱).

در این بخش از پژوهش برای بررسی مسمومیت گیاه به فلزها و بررسی توانایی گیاه شبدر در بهسازی فلزهای کادمیوم و کروم باطله‌ها ، غلظت فلزهای کادمیوم و کروم در خاک و گیاه اندازه گیری شد. وجود فلزهای سنگین در برگ، فرایند فتوسنتز را دچار مشکل می‌کند و اندازه کلروفیل در گیاه کاهش می‌یابد (موریتا[۳]و همکاران، ۲۰۰۶، وانگ[۴] و همکاران، ۲۰۰۴ ، اسچ و کلیجستر[۵]، ۱۹۹۰)، از طرفی فلزهای سنگین پیامد نامطلوبی بر وزن خشک گیاه دارند (کاباتا- پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱)، از اینرو میزان کلروفیل،کارتینوئید و وزن خشک گیاه شبدر نیز مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. علاوه بر آن برای بررسی کمبود مواد مغذی در باطله زغال‌شویی غلظت عناصر نیتروژن و کربن آلی در خاک و نیز فسفر و آهن در خاک و گیاه اندازه‌گیری شد.

[1] *Trifolium alexanderium*
[2] Long Ashton
[3] Morita
[4] Wang
[5] Assach and Clijester

شکل ۴-۱. کشت گلدانی شبدر در گلخانه در سه نوع خاک در چهار تکرار

۴-۴ غلظت عناصر در خاک گلدان‌ها پس از برداشت

بطور طبیعی و تحت تأثیر شرایط محیطی مقادیر مشخصی از عناصر در محیط رشد گیاهان قرار دارد اما همه این عناصر برای جذب گیاه فراهم نمی‌باشد و گیاهان نمی‌توانند تمام ریخت‌های عناصر موجود در خاک را جذب کنند بلکه این ترکیبات باید به ریخت فراهم برای گیاه در آیند تا بوسیله ریشه‌ها جذب شوند. از اینرو پس از برداشت گیاه از خاک اضافه بر غلظت کل فلزهای کروم، کادمیوم و آهن و عناصر فسفر، کربن آلی و نیتروژن خاک، برای بررسی زیست فراهمی عناصر در باطله زغال‌شویی غلظت فراهم کادمیوم، کروم، آهن و فسفر در آن اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز غلظت کل و فراهم عناصر در خاک در جدول ۴-۱ آورده شده است. نتایج بدست آمده همانند فصل قبل به کمک نرم افزار SAS پردازش شد.

جدول ۴-۱. غلظت کل و فراهم عناصر در خاک پس از برداشت گیاه شبدر

	غلظت فراهم عناصر در خاک (میکروگرم بر گرم)				غلظت کل عناصر در خاک میکروگرم بر گرم)				غلظت کل عناصر در خاک (٪)		
	کادمیوم	آهن	کروم	فسفر	کادمیوم	کروم	فسفر	آهن	کربن	نیتروژن
کشاورزی	۰/۰۰۴۳	۱/۲۶	۰/۰۰۱۳	۳/۵	۰/۱۵۴	۱۷/۴۹	۰/۰۴۸	۲/۰۷۷۷	۰/۵۸	۰/۰۷۴
	۰/۰۰۳۳	۱/۲۸	۰/۰۰۳۴	۴/۳	۰/۱۴۶	۲۴/۶۴	۰/۰۵۳	۲/۱۴۹	۰/۳۹	۰/۰۸۲
	۰/۰۰۴۲	۱/۱۴	۰/۰۰۴	۴/۶	۰/۱۵	۲۲/۳۸	۰/۰۴۵	۲/۱۰۲	۰/۳۹	۰/۰۷۴
آمیخته	۰/۰۰۵۹	۲/۵۷	۰/۰۰۱۹	۲/۶۹	۰/۱۲۳	۲۳/۵۸	۰/۰۴۹	۱/۷۱۷	۳/۲۴	۰/۲۱۳
	۰/۰۰۶۶	۲/۵۶	۰/۰۰۲۷	۳/۴۳	۰/۱۲۲	۲۵/۹۳	۰/۰۵۴	۱/۹۴۴	۴/۲۱	۰/۱۹۷
	۰/۰۰۶۸	۲/۴۶	۰/۰۰۲	۱/۸۳	۰/۱۲	۲۱/۱۳	۰/۰۶۷	۱/۶۴۷	۴/۲۱	۰/۱۸۹
باطله	۰/۰۰۴۱	۴	۰/۰۰۱۲	۱/۱۱	۰/۱۱۳	۲۱/۵۵	۰/۰۷۹	۱/۶۶۴	۶/۶۷	۰/۴۲۶
	۰/۰۰۴۸	۳/۹۶	۰/۰۰۱۳	۰/۹۸	۰/۶۸۸	۲۶/۵۶	۰/۰۵	۱/۶۸۱	۵/۵۸	۰/۴۰۲
	۰/۰۰۷۴	۷/۰۷	۰/۰۰۱۴	۱/۵۸	۰/۲۹۹	۳۱/۹۸	۰/۰۵	۱/۹	۶/۰۱	۰/۴۲۶

۴-۴-۱ غلظت کل عناصر در خاک پس از برداشت گیاه

برای بررسی پیامد باطله زغال‌شویی بر غلظت کل عناصر در خاک تجزیه واریانس انجام شد. تجزیه واریانس‌غلظت کل عناصر در خاک نشان می‌دهد که گونه خاک پیامد چشم‌گیری در پایه آماری ۵ درصد بر غلظت آهن در خاک پس از برداشت گیاه دارد. اما پیامد گونه خاک پس از برداشت گیاه بر غلظت عناصر فسفر، کروم و کادمیوم چشم‌گیر نیست (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲. تجزیه واریانس غلظت کل عناصر در خاک پس از برداشت گیاه

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۰/۰۰۰۰۹۹^{ns}	۰/۱۲۳*	۲۰/۵۳۴^{ns}	۰/۰۵۳۸^{ns}
خطا	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۱۴	۱۵/۴۴	۰/۰۲۸

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

میانگین غلظت آهن در خاک گلدان‌ها پس از برداشت گیاه در جدول (۴-۳) آمده است. بیشترین غلظت آهن در خاک کشاورزی با میانگین ۲/۱۰۹ درصد و کمترین غلظت آن در باطله با میانگین ۱/۷۴۸ درصد بدست آمد. غلظت عناصر فسفر، کروم و کادمیوم در تیمارها ناهمانندی چشم‌گیری نشان نمی‌دهد.

جدول ۴-۳. آزمون میانگین دانکن غلظت آهن در خاک پس از برداشت گیاه

گونه خاک	میانگین غلظت آهن(٪)
کشاورزی	۲/۱۰۹^{a}
آمیخته	۱/۷۶۹^{b}
باطله	۱/۷۴۸^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۴-۲ زیست فراهمی عناصر پس از برداشت گیاه

برای بررسی زیست فراهمی عناصر در باطله‌های زغال‌شویی غلظت فراهم عناصر در باطله در برابر خاک کشاورزی سنجیده شد. تجزیه واریانس نشان می‌دهد که پیامد آمیختن باطله‌های زغال‌شویی بر غلظت فسفر فراهم در خاک، در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است. پیامد این باطله بر آهن فراهم در پایه آماری

۵ درصد نیز چشم‌گیر بوده و باطله‌ها بر غلظت فراهم کادمیوم و کروم در خاک پیامد چشم‌گیری نداشتند (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴. تجزیه واریانس غلظت عناصر فراهم در خاک پس از برداشت گیاه

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۶/۳۵**	۱۱/۰۸*	۱/۹×۱۰$^{-۶ ns}$	۰/۰۰۰۰۰۴۷^{ns}
خطا	۰/۳۵۴	۱/۰۶	۷/۳۶×۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰۰۰۱۱

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

میانگین غلظت فسفر و آهن فراهم در خاک در جدول(۴-۵) آورده شده است. بیشترین غلظت فسفر فراهم در خاک کشاورزی با میانگین ۴/۱۳ میکروگرم بر گرم و کمترین اندازه آن در باطله زغال‌شویی با میانگین ۱/۲۲ میکروگرم بر گرم دیده می‌شود. بیشترین اندازه آهن فراهم در باطله زغال‌شویی با میانگین ۵/۰۱ میکروگرم بر گرم و کمترین اندازه آن در خاک کشاورزی با میانگین ۱/۲ میکروگرم بر گرم می‌باشد.

جدول ۴-۵. آزمون میانگین دانکن غلظت فسفر و آهن فراهم(میکروگرم بر گرم) در خاک‌ها

گونه خاک	فسفر	آهن
کشاورزی	۴/۱۳^{a}	۱/۲^{b}
آمیخته	۲/۶۵^{b}	۲/۵^{b}
باطله	۱/۲۲^{c}	۵/۰۱^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۴-۳ غلظت کربن آلی و نیتروژن کل در خاک پس از برداشت

نیتروژن در بین عناصر ضروری برای گیاهان وضعیت منحصر به فردی دارد و به مقدار زیادی برای رشد بهینه گیاهان لازم است (حسین پور، ۱۳۸۷). کربن نیز با ترکیب با اکسیژن تولید دی اکسید کربن می‌کند که برای رویش گیاهان، ضروری می‌باشد. غلظت کربن آلی و نیتروژن اندازه‌گیری شده و در جدول(۴-۶) آورده شده است. برای بررسی مقدار کربن آلی و نیتروژن باطله زغال‌شویی در سنجش با خاک کشاورزی تجزیه واریانس انجام شد. تجزیه واریانس نشان می‌دهد که پیامد آمیختن باطله کارخانه زغال‌شویی بر غلظت نیتروژن و کربن آلی در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است.

جدول ۴-۶. تجزیه واریانس غلظت کربن آلی و نیتروژن در خاک

منبع تغییر	میانگین مربعات	
	نیتروژن	کربن آلی
گونه خاک	۰/۰۸۹**	۲۴/۱۸**
خطا	۰/۰۰۰۱	۰/۲

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

میانگین غلظت کربن آلی و نیتروژن کل در خاک در جدول (۴-۷) آورده شده است. بیشترین غلظت نیتروژن در باطله زغال‌شویی با میانگین ۰/۴۱۸ درصد و کمترین اندازه آن در خاک کشاورزی با میانگین ۰/۰۷۶ درصد بدست آمد. بیشترین اندازه کربن آلی در باطله با میانگین ۶/۰۸ درصد و کمترین اندازه آن در خاک کشاورزی با میانگین ۰/۴۵ درصد بدست آمد.

جدول ۴-۷. آزمون میانگین دانکن نیتروژن و کربن آلی در خاک پس از برداشت گیاه

گونه خاک	درصد نیتروژن	درصد کربن آلی
کشاورزی	۰/۰۷۶^{c}	۰/۴۵^{c}
آمیخته	۰/۱۹۹^{b}	۳/۸۸^{b}
باطله	۰/۴۱۸^{a}	۶/۰۸^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۵ وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه

پس از برداشت گیاه و خشک شدن آن، وزن خشک اندام هوایی و ریشه به طور مجزا اندازه‌گیری شد. وزن خشک ریشه و اندام هوایی شبدر در جدول ۴-۸ آورده شده است.

جدول ۴-۸. وزن خشک ریشه و اندام هوایی شبدر

گونه خاک	وزن خشک (گرم)	
	ریشه	اندام هوایی
کشاورزی	۰/۳	۰/۵۵
	۰/۲۲	۰/۴۲
	۰/۳	۰/۴۱
آمیخته	۰/۱۹	۰/۲۸
	۰/۲۳	۰/۲۴
	۰/۳۴	۰/۳۶
باطله	۰/۳۳	۰/۲۴
	۰/۲۱	۰/۲۵
	۰/۳۴	۰/۴

تجزیه واریانس برای وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه شبدر انجام گردید. تجزیه واریانس نشان می‌دهد که پیامد آمیختن باطله‌های کارخانه زغال‌شویی بر وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه گیاه در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر نمی‌باشد (جدول ۴-۹). یافته‌های این پژوهش با یافته‌های روی و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی ندارد. آنها برای گیاه کاشته شده در باطله‌زغال نسبت به خاک

معمولی وزن خشک و تعداد و وزن دانه کمتری بدست آوردند. کاباتا-پندیاس و پندیاس(۲۰۰۱) کاهش کارکرد گیاه را وابسته به آلودگی و جذب فلزها می‌دانند. هم‌خوانی نداشتن یافته‌های این پژوهش با یافته‌های آنها می‌تواند به این دلیل باشد که در این پژوهش غلظت فلزهای سنگین باطله‌ها در اندازه‌ای نیست که مایه کاهش وزن خشک گیاه شود.

جدول۴-۹. تجزیه واریانس وزن خشک ریشه و اندام هوایی

منبع تغییر	میانگین مربعات	
	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
گونه خاک	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۰۱۲^{ns}
خطا	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۴۴

^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

۴-۶ کلروفیل و کارتینوئید برگ

رنگیزه‌های درون کلروپلاست از دو نوع کلروفیل نوع a و b و دو نوع رنگیزه نارنجی و زرد (کاروتن و گزانتوفیل) که به کارتینوئید معروفند تشکیل شده اند. کلروفیل بخش زیادی از نور آبی و قرمز را جذب و نور سبز را منعکس می‌کند. رنگ سبز گیاهان به دلیل انعکاس نور سبز از کلروفیل‌هاست. برخی کارتینوئیدها غیر فعال بوده و برخی فعالند که پس از جذب نور در توسعه فتوسنتزی نقش دارند و سرعت تخریب ساختمان کلروفیل را در مقابل شدت نور زیاد کاهش می‌دهند. تنها رنگیزه فتوسنتزی که می‌تواند به طور مستقل عمل فتوشیمیایی انجام دهد کلروفیل a می‌باشد و رنگیزه‌های دیگر کمکی هستند و میزان جذب طول موج‌ها را افزایش می‌دهند و امواج جذب شده را به یک مرکز منتقل می‌کنند (شیرانی راد، ۱۳۸۴).

نتایج بدست آمده از اندازه گیری کلروفیل و کارتینوئید در برگ شبدر در این پژوهش در جدول (۴-۱۰) آورده شده است.

جدول۴-۱۰. مقدار کلروفیل و کارتینوئید برگ

گونه خاک	کلروفیل و کارتینوئید (میلی گرم در گرم برگ)			
	کارتینوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a
کشاورزی	۰/۴	۲/۴	۰/۶	۱/۸
	۰/۴	۲/۱	۰/۵	۱/۶
	۰/۳	۱/۷	۰/۵	۱/۲
آمیخته	۰/۶	۲/۹	۰/۷	۲/۱
	۰/۴	۱/۹۸	۰/۶	۱/۴
	۰/۳	۱/۶	۰/۴	۱/۲
باطله	۰/۶	۲/۳	۰/۷	۱/۶
	۰/۶	۲/۷	۰/۸	۱/۹۸
	۰/۶	۳/۳	۰/۹۹	۲/۳

تجزیه واریانس کلروفیل نوع a، کلروفیل نوع b، کلروفیل کل و کارتینوئید نشان می‌دهد که پیامد باطله-ها بر کلروفیل نوع a، کلروفیل نوع b، کلروفیل کل و کارتینوئید در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر نمی-باشد (جدول۴-۱۱).

در سنجش با نتایج یافته‌های روی و همکاران(۲۰۱۰) که در گیاهان کاشته شده در باطله‌های زغال‌سنگ نسبت به خاک معمولی کلروفیل کمتری بدست آوردند، در این پژوهش بین میزان کلروفیل برگ گیاهان کاشته شده در باطله زغال‌شویی و خاک زراعی و آمیخته این دو خاک تفاوتی مشاهده نشد. هم‌خوانی نداشتن یافته‌های این پژوهش با یافته‌های آنها می‌تواند از اینرو باشد که در این پژوهش غلظت فلزهای سنگین در اندازه‌ای نیست که در فرایند کلروفیل سازی گیاه پیامد چشم گیری داشته باشد.

جدول۴-۱۱. تجزیه واریانس کلروفیل و کارتینوئید برگ

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	کلروفیل نوع a	کلروفیل نوع b	کلروفیل کل	کارتینوئید
گونه خاک	۰/۱۵۴^{ns}	۰/۰۶۹^{ns}	۰/۴۳۱^{ns}	۰/۰۴۲^{ns}
خطا	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۲۶۸	۰/۰۱۱۷

^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

۴-۷ غلظت عناصر در اندام هوایی شبدر در کشت گلدانی در خاک‌های گوناگون

برای بررسی پیامد باطله زغال‌شویی بر غلظت عناصر در گیاه شبدر و ارزیابی توانایی این گیاه در بهسازی کادمیوم و کروم در باطله‌ها، غلظت عناصر کادمیوم، کروم، فسفر و آهن در اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر به صورت مجزا اندازه گیری شد که نتایج آن در جدول ۴-۱۲ آورده شده است.

جدول ۴-۱۲. غلظت عناصر در اندام هوایی و ریشه

گونه خاک	غلظت (میکروگرم بر گرم)				غلظت (٪)			
	کادمیوم		کروم		فسفر		آهن	
	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
کشاورزی	۱/۷۲۲	۰/۵۲۴	۵/۲۹۴	۱/۳	۰/۲۴۴	۰/۱۳۹	۰/۲۵	۰/۰۳۵
	۱/۷۲۲	۰/۶۶۸	۴/۲۹	۱/۴۸	۰/۱۱۶	۰/۱۳۳	۰/۱۴	۰/۰۳۴
	۱/۲۲۷	۰/۷۳۲	۴/۵۹۹	۱/۷۵	۰/۱۷۷	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۲۶
آمیخته	۱/۶۵۳	۱/۱۰۴	۴/۰۳۴	۲/۳۷۴	۰/۱۲۲	۰/۰۸۵	۰/۱۴۱	۰/۰۳۶
	۱/۶۹۵	۱/۲۸۶	۴/۱۴۴	۲/۷۵۶	۰/۰۸۳	۰/۰۷۵	۰/۱۵۲	۰/۰۵۴
	۱/۱۲۵	۰/۸۴۷	۲/۹۵۹	۱/۸۶۴	۰/۱۱۷	۰/۱۱	۰/۱۳۹	۰/۰۴۳
باطله	۱/۳۲۵	۱/۴۸۳	۲/۵۰۴	۲/۹۴۳	۰/۰۵۸	۰/۰۵۷	۰/۱۱۲	۰/۰۴۲
	۱/۷۶۸	۱/۲۳۳	۲/۴۲۴	۲/۱۲	۰/۰۶۲۵	۰/۰۶۳	۰/۱۲۷	۰/۰۴۸
	۲/۲۱۲	۱/۰۷۹	۲/۳۴۵	۰/۱۵۴	۰/۰۶۷	۰/۰۷۹	۰/۱۴۳	۰/۰۵۸

تجزیه واریانس داده‌های اندازه گیری غلظت عناصر در گیاه نشان می‌دهد که پیامد گونه خاک یا باطله-های زغال‌شویی بر غلظت فلزهای آهن و کروم در اندام هوایی شبدر در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر نیست، اما پیامد آن بر غلظت عنصر فسفر در پایه آماری ۱ درصد و کادمیوم در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر است (جدول۴-۱۳).

جدول ۴-۱۳. تجزیه واریانس غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه شبدر

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۰/۰۰۴۷**	۰/۰۰۰۲ns	۰/۵۳۸ns	۰/۳۰۷*
خطا	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۷۶۸	۰/۰۳۳

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ns نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

میانگین غلظت عناصر فسفر و کادمیوم اندام هوایی در هریک از تیمارها در جدول(۴-۱۴) آورده شده است. بیشترین غلظت فسفر در شبدر کشت شده خاک کشاورزی با میانگین ۰/۱۴۴ درصد و کمترین آن در تیمار کشت گیاه در باطله زغال‌شویی با میانگین ۰/۰۶۶۳ درصد بدست آمد. نتایج نشان می‌دهد که فسفر موجود در باطله‌ها برای گیاهان فراهم نیست و اندازه فسفر فراهم در باطله‌ها در برابر خاک کشاورزی کم‌تر است.

در این پژوهش، کمبود فسفر در برگ‌های گیاه مایه دگرگونی رنگ و کبود شدن برگ‌های شبدر در کشت آن در باطله زغال‌شویی و خاک آمیخته شد (شکل ۴-۲). نتایج این پژوهش با یافته‌های آشا و همکاران (۲۰۰۸) هم خوانی دارد، آنها با بررسی ویژگی باطله معدن زغال‌سنگ لاجکورا برای رشد گیاهان، گزارش کردند که باطله‌های معدن شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شایسته‌ای برای رشد گیاهان ندارند و کمبود فسفر از عوامل کاهنده رشد گیاهان در دمپ‌های باطله است.

الف)

ب)

شکل ۴-۲. تفاوت رنگ برگ‌های شبدر کاشته شده در باطله زغال‌شویی و خاک کشاورزی الف)باطله زغال‌شویی ب) خاک کشاورزی.

بیشترین غلظت کادمیوم در گیاه در تیمار باطله زغال‌شویی با میانگین ۱/۲۶۵ میکروگرم بر گرم بدست آمد و کمترین آن در شبدر کشت شده در خاک کشاورزی با میانگین ۰/۶۴۱ میکروگرم بر گرم اندازه گیری شد.

جدول ۴-۱۴. آزمون دانکن میانگین غلظت فسفر و کادمیوم در اندام هوایی شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون

گونه خاک	فسفر(٪)	کادمیوم(میکروگرم بر گرم)
کشاورزی	۰/۱۴۴^{a}	۰/۶۴۱^{b}
آمیخته	۰/۰۹^{b}	۱/۰۷۹^{a}
باطله زغالشویی	۰/۰۶۶^{b}	۱/۲۶۵^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۸ غلظت عناصر در اندام زیرزمینی شبدر در کشت گلدانی در خاک‌های گوناگون

تجزیه واریانس داده‌های غلظت عناصر ریشه شبدر نشان می‌دهد که پیامد گونه خاک و باطله‌های زغال-شویی در پایه آماری ۵ درصد بر غلظت فسفر ریشه و در پایه آماری ۱ درصد بر غلظت کروم در ریشه

شبدر چشم‌گیر می‌باشد، اما پیامد گونه خاک بر غلظت آهن و کادمیوم ریشه چشم‌گیر نیست (جدول ۴-۱۵).

جدول ۴-۱۵. تجزیه واریانس غلظت عناصر در ریشه گیاه شبدر

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۰/۰۱۰۴*	۰/۰۰۱۶ns	۳/۹۹۷**	۰/۰۶۲ns
خطا	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۲۳۳	۰/۱۲۶

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ns نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

آزمون میانگین غلظت فسفر و کروم در ریشه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون در جدول(۴-۱۶) آورده شده است. بیشترین غلظت فسفر در ریشه شبدر خاک کشاورزی با میانگین ۰/۱۷۹ درصد و کمترین غلظت فسفر ریشه در کشت آن در باطله زغال‌شویی با میانگین ۰/۰۶۲ درصد بدست آمد که به دلیل کمتر بودن غلظت فسفر فراهم در باطله هاست. بیشترین غلظت کروم در ریشه شبدر خاک کشاورزی با میانگین ۴/۷۲ میکروگرم بر گرم و کمترین آن در شبدر کشت شده در باطله زغال‌شویی با میانگین ۲/۴۲ میکروگرم بر گرم دیده شد.

جدول ۴-۱۶. آزمون میانگین دانکن غلظت کروم و فسفر در ریشه

گونه خاک	میانگین غلظت عناصر	
	فسفر(٪)	کروم(میکروگرم بر گرم)
خاک کشاورزی	۰/۱۷۹a	۴/۷۲a
خاک مخلوط	۰/۱۰۴ab	۳/۷۱۲b
باطله	۰/۰۶۲b	۲/۴۲c

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۹ بررسی توانایی گیاه شبدر در بهسازی فلزها در خاک

در این بخش از پژوهش با اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر و بدست آوردن فاکتور ترابری، فاکتور گردآوری و فاکتور تغلیظ زیستی فلزها در گیاه شبدر توانایی آن در بهسازی فلزهای کادمیوم و کروم خاک منطقه بررسی می‌شود.

اندازه‌های فاکتور ترابری، فاکتور گردآوری و فاکتور تغلیظ زیستی بزرگتر از ۱ در ارزیابی توانایی گونه-های گیاهی در استخراج گیاهی و پایدارسازی گیاهی بهره گیری می‌شود (یون و همکاران، ۲۰۰۶ و لی و همکاران، ۲۰۰۷). بیکر و بروکس (۱۹۸۹) گزارش کردند که فاکتور گردآوری و فاکتور ترابری در گیاهان بیش اندوز بیشتر از ۱ است که از این گیاهان می‌توان برای روش استخراج گیاهی بهره‌گیری کرد. یون و همکاران (۲۰۰۶) گیاهانی با فاکتور تغلیظ زیستی بالا و فاکتور ترابری پایین را برای پایدارسازی گیاهی مناسب دانستند.

۴-۹-۱ فاکتور ترابری عناصر

فاکتور ترابری پارامتری است که توان جابه‌جایی فلز از ریشه به اندام هوایی را نشان می‌دهد. در ارزیابی کارایی توان پالایش عناصر فلزی از خاک به کمک گیاه به دو پارامتر باید نگاه ویژه‌ای شود : ۱) غلظت عنصر در اندام هوایی گیاه و ۲) وزن خشک اندام هوایی. اگرچه افزایش فاکتور ترابری در راستای اهداف فرایند گیاه بهسازی است ولی توان برداشت فلز از خاک در اندام هوایی گیاه جایگاه ویژه‌ای دارد. زیرا گاهی بزرگی فاکتور ترابری وابسته به کم بودن غلظت فلز در ریشه می‌باشد.

تجزیه واریانس فاکتور ترابری عناصر در گیاه شبدر در کشت گلدانی نشان می‌دهد که پیامد گونه خاک و باطله زغال‌شویی بر فاکتور ترابری عناصر فسفر، کروم، کادمیوم و کروم چشم‌گیر نیست، اما پیامد این باطله‌ها در فاکتور ترابری آهن در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است (جدول ۴-۱۷).

جدول ۴-۱۷. تجزیه واریانس فاکتور ترابری عناصر در گیاه شبدر

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۰/۰۳۴۶^{ns}	۰/۰۲۷**	۰/۱۲۲ ^{ns}	۰/۱۰۲^{ns}
خطا	۰/۰۳۵	۰/۰۰۲	۰/۱۱۱	۰/۰۴۲

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

بیشترین فاکتور ترابری آهن در شبدر کشت شده در باطله زغال‌شویی با میانگین ۰/۳۸۶ و کمترین آن در شبدر کشت شده در خاک کشاورزی با میانگین ۰/۱۹۴ بدست آمد. بالا بودن فاکتور ترابری آهن در تیمار باطله می‌تواند وابسته به بالا بودن غلظت آهن در اندام هوایی شبدر در این تیمار باشد.

کروم به آسانی در گیاه جابجا نمی‌شود و بیشتر در ریشه انباشته می‌شود (کاباتا-پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۷). غلظت کادمیوم نیز معمولا در ریشه فراوان است و غلظت آن در اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (ولچ و نورول[1]، ۱۹۹۹). در این پژوهش فاکتور ترابری کروم و کادمیوم کوچکتر از یک بدست آمده و با این نتایج هم‌خوانی نشان می‌دهد. به هر حال میانگین‌های بدست آمده نشان می‌دهد که ترابری فسفر بیشتر از کادمیوم و کادمیوم بیشتر از کروم است و کمترین فاکتور ترابری را عنصر آهن در گیاه شبدر داشته است (جدول ۴-۱۸).

جدول ۴-۱۸. آزمون میانگین فاکتور ترابری عناصر در گیاه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون

گونه خاک	میانگین فاکتور ترابری			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
کشاورزی	۰/۸۷۳	۰/۱۹۴^{b}	۰/۳۲	۰/۴۲۹
آمیخته	۰/۸۶۷	۰/۳۰۶^{a}	۰/۶۲	۰/۷۲۶
باطله	۱/۰۵۶	۰/۳۸۶^{a}	۰/۷۰۵	۰/۷۶

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

[1] Welchand and Norvel

۴-۹-۲ فاکتور گردآوری

فاکتور گردآوری یا انباشتگی از نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت کل عنصر در خاک بدست می‌آید. این پارامتر توان و کارایی نسبی گیاهان و یا تیمارهای گوناگون را در پالایش عناصر فلزی از خاک نشان می‌دهد.

تجزیه واریانس داده‌های فاکتور گردآوری نشان می‌دهد که پیامد گونه خاک و باطله‌های کارخانه زغال-شویی بر فاکتور گردآوری عناصر فسفر و آهن در سطح آماری ۱ درصد چشم‌گیر است، اما پیامد این باطله‌ها بر فاکتور انباشتگی کروم و کادمیوم چشم‌گیر نمی‌باشد (جدول ۴-۱۹).

جدول ۴-۱۹. تجزیه واریانس فاکتور گردآوری عناصر در گیاه شبدر

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۲/۶۳۰۱**	۰/۰۰۰۱۴**	۰/۰۰۰۶۸ ^{ns}	۱۵/۸۳^{ns}
خطا	۰/۱۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۱۵	۱۳/۵۶۴

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

میانگین فاکتور گردآوری عناصر در جدول (۴-۲۰) آورده شده است، بیشترین فاکتور گردآوری فسفر در شبدر کشت شده در خاک کشاورزی با میانگین ۲/۹۵ بدست آمد که وابسته به بیشتر بودن غلظت فسفر در اندام هوایی شبدر و کمتر بودن غلظت فسفر کل در این خاک است. کمترین فاکتور گردآوری در تیمار باطله با میانگین ۱/۱۷ بدست آمد.

بیشترین فاکتور گردآوری آهن در کشت گیاه در باطله زغال‌شویی با میانگین ۰/۰۲۸ و کمترین این فاکتور در گیاه کشت شده در خاک کشاورزی با میانگین ۰/۰۱۵ بدست آمد که وابسته به بیشتر بودن

غلظت آهن در اندام هوایی شبدر در تیمار باطله و کمتر بودن غلظت کل آهن در باطله می‌تواند باشد. میانگین فاکتور گردآوری عناصر کروم و کادمیوم ناهمانندی چشم‌گیری میان تیمارها نشان نمی‌دهد.

جدول ۴-۲۰. آزمون میانگین فاکتور گردآوری عناصر در گیاه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون

گونه خاک	میانگین فاکتور گردآوری			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
زراعی	۲/۹۵[a]	۰/۰۱۵[b]	۰/۰۷۱	۴/۲۸
مخلوط	۱/۵۷[b]	۰/۰۲۵[a]	۰/۰۹۸	۸/۸۵۸
باطله	۱/۱۷[b]	۰/۰۲۸[a]	۰/۰۷۳	۶/۱۷۵

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۹-۳ فاکتور تغلیظ زیستی[1]

فاکتور تغلیظ زیستی عناصر از نسبت غلظت عنصر در ریشه به غلظت کل عنصر در خاک بدست می‌آید. این فاکتور توان گیاه یا تیمارهای به کار رفته را در جذب عنصر از خاک و انباشتن آن در ریشه نشان می‌دهد.

تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پیامد گونه خاک و باطله زغال‌شویی بر فاکتور تغلیظ زیستی عناصر آهن و کادمیوم چشم‌گیر نیست. اما پیامد این باطله‌ها بر فاکتور تغلیظ زیستی عناصر فسفر و کروم در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر است (جدول ۴-۲۱).

[1] Biological concentration factor

جدول ۴-۲۱. تجزیه واریانس فاکتور تغلیظ زیستی عناصر در گیاه شبدر

منبع تغییر	میانگین مربعات			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
گونه خاک	۵/۴۰۸*	۰/۰۰۰۰۸۷ ^{ns}	۰/۰۱۳۴ *	۱۹/۲۱^{ns}
خطا	۷/۸	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۱۷	۱۰/۳۰۳

*و** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و۱ درصد و ^{ns} نشانگر چشم‌گیر نبودن پیامد تیمارها است.

میانگین فاکتور تغلیظ زیستی عناصر در جدول (۴-۲۲) آورده شده است. بیشترین فاکتور تغلیظ زیستی کروم در شبدر کشت شده در خاک کشاورزی با میانگین ۰/۲۷۷ و کمترین اندازه آن در شبدر در تیمار باطله زغال‌شویی بدست آمد، که وابسته به غلظت کمتر کروم در ریشه شبدر باطله زغال‌شویی در برابر خاک کشاورزی است.

بیشترین فاکتور تغلیظ زیستی فسفر در شبدر با میانگین ۳/۷ در خاک کشاورزی و کمترین اندازه آن با میانگین ۱/۰۹ در باطله زغال‌شویی دیده شد. فاکتور تغلیظ زیستی کادمیوم و آهن شبدر در تیمارهای گوناگون ناهمانندی چشم‌گیری را نشان نمی‌دهد.

جدول ۴-۲۲. آزمون میانگین فاکتور تغلیظ زیستی عناصر در گیاه شبدر کشت شده در خاک‌های گوناگون

گونه خاک	میانگین فاکتور تغلیظ زیستی			
	فسفر	آهن	کروم	کادمیوم
کشاورزی	۳/۷۰^{a}	۰/۰۸۲	۰/۲۲۷^{a}	۱۰/۳۸۵
آمیخته	۱/۸^{b}	۰/۰۸۱	۰/۱۵۶^{ab}	۱۲/۲۳۶
باطله	۱/۰۹^{b}	۰/۰۷۳	۰/۰۹۳^{b}	۷/۲۳۱

در هر ستون میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

۴-۱۰ نتیجه‌گیری

در این پژوهش شبدر به دلیل فاکتور ترابری، فاکتور گرداوری و فاکتور تغلیظ زیستی پایین برای فلز کروم نمی‌تواند گیاه مناسبی برای حذف یا بی‌جنبش کردن این فلز در خاک باشد، اما در مورد فلز کادمیوم شبدر با داشتن فاکتور تغلیظ زیستی بالا و فاکتور ترابری پایین این فلز می‌تواند گیاه شایسته‌ای برای پایدارسازی عنصر کادمیوم در خاک باشد. می‌توان با کاشت شبدر در این منطقه و مناطق همانند، کادمیوم را در خاک چنین باطله‌های بی‌جنبش و پایدار ساخت و از رسیدن آن به آب‌ها و زیستگاه‌های دیگر جلوگیری کرد.

فصل پنجم

خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱ خلاصه

بررسی پیامد باطله کارخانه زغال‌شویی بر گیاهان پیرامون آن در دو مرحله صورت گرفت، در ابتدا بررسی میدانی در محدوده کارخانه زغال‌شویی انجام شد و سپس با کشت گلخانه‌ای گیاه شبدر در باطله‌ها چگونگی رشد و جذب عناصر در گیاه و توانایی گیاه در بهسازی باطله‌ها بررسی گردید. در بررسی میدانی برای ارزیابی پیامد باطله‌ها بر گیاهان نمونه‌های برداشت شده از پیرامون کارخانه با نمونه‌های منطقه‌ای دور از کارخانه که به عنوان شاهد در نظر گرفته شد، سنجیده شدند.

نمونه برداری در دو فصل پاییز و تابستان صورت گرفت. گونه‌های گیاهی دم اسب، پنجه مرغی، شبدر، ماریتیغال، زلف پیر و نی از پیرامون کارخانه و شبدر، پنجه مرغی، ماریتیغال در منطقه شاهد برای آنالیز در نظر گرفته شدند. در فصل تابستان گیاهان افسنطین، نی، دم اسب، سلمه و ترشک از پیرامون کارخانه و افسنطین، ترشک، دم اسب و سلمه از منطقه شاهد مورد آنالیز قرار گرفتند. با توجه به پژوهش‌های پیشین انجام شده در منطقه بر آلودگی آب و خاک عناصر کادمیوم، کروم، کبالت، نیکل، مس، روی ،سرب، مولیبدن برای بررسی انتخاب شدند. غلظت این عناصر در گیاهان نمونه برداری شده در فصل پاییز اندازه‌گیری شد و با توجه به بالا بودن غلظت فلزهای کروم، کادمیوم و سرب در گیاهان این سه فلز برای آنالیز نمونه‌های خاک و گیاه فصل تابستان گزینش شدند.

در کشت گلخانه‌ای، بذر شبدر در باطله زغال‌شویی، خاک کشاورزی و آمیخته‌ای از این دو خاک در چهار تکرار کاشته شد. پس از دو ماه از کشت گیاه، برداشت انجام شد و غلظت عناصر کادمیوم، کروم، آهن و فسفر در ریشه و اندام هوایی و غلظت کربن آلی و نیتروژن و غلظت کل و فراهم عناصر کادمیوم، کروم، فسفر و آهن در خاک در سه تکرار از گلدان‌ها اندازه‌گیری گردید.

۵-۲ نتیجه‌گیری

- زغال‌سنگ‌های خوراک کارخانه از نوع کم گوگرد و کم خاکستر هستند. در کارخانه جداسازی خاکستر از زغال‌سنگ، با بهره‌گیری از دستگاه جیگ و فرآیند فلوتاسیون انجام می‌شود که در طی این فرآیند به جز روغن کاج و گازوئیل که به عنوان کف ساز و آبران به کار می‌روند، ماده دیگری اضافه نمی‌شود. به نظر می‌رسد عناصری که در گیاهان پیرامون کارخانه انباشته می‌شوند نشأت گرفته از عناصر اولیه موجود در زغال‌سنگ باشند که بسته به فراهم بودن این عناصر در خاک، میزان جذب در گونه‌های گیاهی متفاوت است.
- غلظت کادمیوم در منطقه در اندازه‌ای نیست که مایه آلودگی خاک و گیاهان شود اما غلظت این فلز در گیاهان پیرامون کارخانه نسبت به گیاهان منطقه شاهد بیشتر است که می‌تواند به دلیل زیست فراهمی بیشتر این فلز در خاک پیرامون کارخانه باشد. در بین گونه‌های گیاهی ترشک تواناترین گیاه در جذب کادمیوم شناخته شد.
- غلظت کروم در منطقه نیز به اندازه‌ای نیست که مایه آلودگی خاک و گیاهان پیرامون کارخانه شود اما خاک پیرامون کارخانه در سنجش با منطقه شاهد کروم بیشتری دارد. در بین گونه‌های گیاهی، سلمه کم‌ترین تمایل را برای جذب فلز کروم را نشان داد.
- خاک و گیاهان منطقه مورد بررسی به فلز سرب آلوده نیستند و مقدار سرب در خاک و گیاهان پیرامون کارخانه و شاهد تفاوتی ندارد.
- وجود کارخانه و اختصاص دادن فضای زیادی از اطراف آن به باطله‌ها باعث کاهش پوشش گیاهی در سنجش با مناطق پیرامون خود شده است که از جنبه زیبایی‌شناختی به منطقه آسیب وارد کرده است.

- اندازه فسفر فراهم در باطله‌های زغال‌شویی کم است و گیاهانی که در این باطله‌ها رشد می‌کنند دچار کمبود فسفر می‌شوند، این کمبود آنچنان شدید است که گاه کبود شدن رنگ برگ گیاهان را بدنبال دارد.
- بررسی روش‌های گیاه بهسازی در باطله‌های زغال‌شویی نشان داد که گیاه شبدر می‌تواند کادمیوم را از خاک جذب کند و آن را در ریشه انباشته کند. از این رو می‌توان از این گیاه برای پایدارسازی کادمیوم در این باطله‌ها و جلوگیری از رسیدن این عنصر به آب‌های سطحی و زیرزمینی و بدنبال آن خاک‌های دیگر جلوگیری کرد.

۵-۳ پیشنهادها

- انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی و میدانی بر روی دیگر عناصر کمیاب در باطله‌های کارخانه‌های زغال‌شویی و نمونه برداری از گونه‌های گیاهی دیگر منطقه می‌تواند آگاهی‌های بدست آمده از این پژوهش را استوارتر کند.
- غلظت‌های بالایی از فلوئور در زغال‌سنگ‌های چین و سایر نقاط دنیا گزارش شده است که در ایران بر غلظت فلوئور در زغال‌سنگ‌های کشور پژوهشی انجام نشده است، با توجه به گزارش غلظت بالایی از فلوئور در چند نمونه از آب منطقه کارخانه زغال‌شویی زیراب، انجام پژوهش‌هایی بر روی این عنصر و اثرات زیست محیطی آن پیشنهاد می‌شود.
- در منطقه مورد بررسی به دلیل بارندگی زیاد، گرد و غبار زغال‌سنگ بر روی گیاهان مشاهده نشد اما در سایر معادن و کارخانه‌های زغال‌شویی کشور مانند شاهرود که میزان بارندگی کم است ذرات زغال‌سنگ بر روی گیاهان دیده می‌شود که علاوه بر جذب عناصر به وسیله ریشه ممکن است جذب از راه برگ هم انجام شود. از اینرو انجام پژوهش‌های مشابه بر گیاهان این مناطق نیز پیشنهاد می‌شود.

- از آنجایی که کربن و نیتروژن کل در خاک این گونه باطله‌ها فراوان است شاید بخش بندی کربن آن آگاهی‌های نوینی را در باره بیوژئوشیمی کربن در باطله‌های کارخانه‌های زغال‌شویی بدست دهد.
- انجام پژوهش‌هایی در زمینه پیامد باطله‌های زغال‌شویی بر زیست فراهمی عناصر کمیاب می‌تواند آگاهی‌های سودمندی را در پی داشته باشد.
- از آنجایی که درصد کربن آلی و نیتروژن کل در اینگونه باطله‌ها بالا است، از آنها می‌توان برای بهبود برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های سرزمین‌های خشک و نیمه خشک بهره-گیری کرد.

منابع

منابع

آقانباتی ع،(۱۳۸۳)، " زمین شناسی ایران"، چاپ دوم، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اطمینان ع، (۱۳۸۸) " طرح‌های آزمایشی در کشاورزی"، چاپ دوم، انتشارات پوران پژوهش، تهران، ص ۲۲۴.

اندارگلی م، مشرفی س، (۱۳۸۵)، "مطالعه و بررسی میزان آب‌های اسیدی پدید آمده از باطله‌های معدنی و کارخانه زغالشویی شرکت البرز مرکزی و پیامدهای زیست محیطی آن".

حسین پور ع، (۱۳۸۷)، "شیمی و حاصلخیزی خاک"، دانشگاه پیام نور تهران، ص ۲۱۴.

حیدری زاده م، نقوی ه، مقدم م، (۱۳۸۵)، " بررسی خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و حاصلخیزی باطله‌های زغال‌سنگ کارخانه زغال‌شویی زرند کرمان جهت تثبیت و احیاء"، همایش تخصصی مهندسی محیط زیست.

دفتر فنی اکتشاف زغال‌سنگ البرز مرکزی، (۱۳۶۸)؛ " گزارش وضعیت زمین شناسی معادن کارمزد"، شرکت زغال‌سنگ البرز مرکزی.

رضایی ب، (۱۳۸۰)، "*تکنولوژی زغال‌شویی*"، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ص ۳۹۸.

رضایی، بهرام و مهردادی ناصر، (۱۳۷۹). " مطالعه و بررسی کاهش پیامدهای زیست محیطی پدید آمده از پساب کارخانه زغالشویی زیرآب" مجله محیط شناسی، شماره ۲۵، ۲۳-۲۸.

شاه حسینی م، شفائی تنکابنی ض، دولتی ارده جانی ف، (۱۳۸۹)، "بررسی آلودگی فلزهای سنگین در ته‌نشست‌ها کارخانه زغالشویی انجیرتنگه با بهره گیری از شاخص ژئوشیمیایی"، گردهمایی علوم زمین، تهران.

شاه حسینی م، دولتی اردجانی ف، شفائی ض،(۱۳۹۰a)، "پیامدهای زیست محیطی دپوی باطله کارخانه زغالشویی انجیرتنگه زیراب در استان مازندران"، کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود.

شاه حسینی، م. پایان نامه کارشناسی ارشد،(۱۳۹۰b)، " مطالعات زیست محیطی و مدل سازی ریاضی اکسایش پیریت و تولید آلودگی در باطله‌های حاصل از کارخانه ذغال شویی انجیرتنگه، البرز مرکزی "، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرودص۲۱۲ .

شریعتی ش، (۱۳۸۹)، "بررسی زمین شناسی پزشکی و آثار معدنکاری زغال‌سنگ بر روی خون و فاکتورهای خونی دام‌ها در پیرامون معدن البرز مرکزی ایران"، گردهمایی علوم زمین، تهران.

شیرانی راد ا، (۱۳۸۴)، "فیزیولوژی گیاهان زراعی"، چاپ سومانتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران ص ۳۵۸.

فردی غ، ایزدی یار م، عظیمی ع، یار قلی ب، (۱۳۸۷)، "بررسی میزان جذب و تجمع کادمیوم در گیاهان علوفه‌ای شبدر و اسپرس"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران.

قلی پور م. مظاهری ا. رقیمی م. شمعانیان غ، (۱۳۸۸a)، "بررسی اثرهای زیست محیطی زهاب اسیدی معدن در باطله-های کارخانه زغالشویی زیراب استان مازندران"، *مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران*، شماره ۲، ص ۱۷۳ تا ۱۸۶.

قلی پور م. مظاهری ا. رقیمی م. شمعانیان غ، (۱۳۸۸b)، " بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی شناسی زغال‌سنگ‌های حوزه زغالی کارمرزد، البرز مرکزی، استان مازندران"، *مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران*، شماره ۴، ص ۶۵۵ تا ۶۷۰.

معین السادات ح، رضوی ارمغانی م،(۱۳۷۲) "*زمین شناسی ایران، زغالسنگ*" چاپ اول، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ص ۲۸۰.

هادیان ع، (۱۳۸۰)، "جغرافیای استان مازندران".

هوشمند فر ع، ارادتمند اصلی د،(۱۳۹۰)، "بررسی میزان پالایش فلزات سنگین در pH های مختلف به وسیله گیاه شبدر"، اولین همایش فناوری‌های پالایش در محیط زیست، ساوه.

یزدی م، (۱۳۸۲)، "*زغال‌سنگ از (منشأ تا پیامدهای زیست محیطی)*"، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، ص ۲۶۳.

Alloway B. J. (1990) “Heavy metal in soil” , Blackie and Son Ltd, p339, London.

Asha A. Juwarkar , Hemlata P. Jambhulkar. (2008) “Phytoremediation of coal mine spoil dump through integrated biotechnological approach” J.of . *Bioresource Technology*., 99: 4732–4741.

Assach F.V. and Clijester H. (1990) “Effect of metals on enzyme activity in plants” J.of .*Plant Cell Environ.* 13, 195-206.

Bian Z. Hilary I. Inyang H. Danials J. (2010) “Environmental issues from coal mining and their solutions” J.of . *Mining Science and Technology* . 0215–0223 .

Baker A. J. M. and Brooks R. R. (1989) “Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements a review of their distribution” J. of . *ecology and photochemistry*. *Biorecovery*., 1: 81-126

Baker A. J. M. Reeves R. D. McGrath S. P. (1991) “In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal accumulating plants – A feasibility study”. In R. E. Hinchee & R. F. Olfenbuttel (Eds.), In-situ bioremediation (pp. 539–544). Stoneham, M. A: Butterworth-Heinemann.

Berti, W. R. Cunningham S. D. (2000) “Phytostabilization of metals”. In Raskin.I. Ensley B. D (Eds.) Phyto remediation of toxic metals: Using plants to clean-up the environment (pp. 71–88). New York: Wiley.

Blaylock M. J. Huang J. W. (2000) “Phytoextraction of metals”. In I. Raskin & B. D. Ensley (Eds.), Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean-up the environment (pp. 53–70). New York: Wiley.

Bolan N. S. Adriano. D. C. Naidu R. (2003) “Role of phosphorus in (im)mobilization and bioavailability of heavy metals in the soil-plant system. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology”, 177,1–44.

Bouska V. (1981). Geochemistry of coal, Academia, Prague, PP 128-141.

Brooks R. R. (1998) “Plants that hyperaccumulate heavy metals” , Wallingford: CAB International p384.

Chaney R.L. (1983) “Plantuptakeofinorganicwaste constitutes” J. of . Parr, P. B. Marsh, & J. M. Kla(Eds.), *Land treatment of hazardous wastes* (pp. 50–76). Park Ridge, NJ: Noyes Data Corp.

Chaney RL. (1989) “Toxic accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food-chains”. In: Bar-Yosef B,Barrow NJ, Goldschmid J (eds) Inorganic contaminants in the vadose zone. Springer-Verlag, Berlin, pp 140–158.

Christanis K. Georgako Poulos A. Freandez Turiel J.L. Bouzinos A. (1998) "Geological factors Turiel J.L., Bouzinos, A."Geological factors the Philppi peatland, eastern Macedonia, Greece ," Coal geology 36:295-313. In Gholipour M. Mazaheri A. Raghimi M. Shamanian GH. (2010) “Study of geochemistry and mineralogy in Karmozd coal Basin Central Alborz, Mazandran Province”. Iranian. J.of *Crystallography and mineralogy.*

Cunningham S. D. Shann J. R. Crowley, D. E. Anderson T. A. (1997) “Phytoremediation of contaminated water and soil” . In E. L. Kruger, T. A. Anderson. J. R. Coats (Eds.) “Phytoremediation of soil and water contaminants”. ACS Symposium series 664 (pp. 2–19). Washington, DC: American Chemical Society.

Damage Aktiongeselischaft. (1962) “The coal Deposits of Zirab- Karmozd Iran. Part 1” J.of .*Geology and Coal Reserves*.181.

Daniels W. L. Haering K. C. Dove D. C. (1998) “Long-term strategies for reclaiming and managing coal refuse disposal areas”,J.of. *Virginia Coal and Energy*. 1(1):45-59, Virginia Center for Coal and Energy Research, Virginia Tech, Blacksburg.

Daniels W.L. Haering K.C. Stewart B.R. Ruark R.V. Dove D.C. (1990) “New technologies for the stabilization and reclamation of coal refuse materials”, p. 1-20 In: Proceedings , Powell River Project Symposium, Powell River Project, Virginia Tech, Blacksburg.

Desouza M. P. Pilon-Smits E. A. H.Terry N. (2000) "The physiology and biochemistry of selenium volatilization by plants". In I. Raskin. and B. D. Ensley (Eds.), Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean-up the environment (pp. 171–190). New York: Wiley.

Dushenkov. V. Kumar. P. B. A. N. Motto. H. Raskin I. (1995) "Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams" J. of .*Environmental Science and Technology*, 29, 1239–1245.

Dushenkov S. Vasudev D. Kapulnik Y. Gleba D. Fleisher D. Ting, K. C. et al. (1997a) "Removal of uranium from water using terrestrial plants" J. of .*Environmental Science and Technology*. 31(12), 3468–3474.

Dushenkov. S. Vasudev. D. Kapulnik. Y. Gleba. D. Fleisher,D. Ting, K. C. et al. (1997b). "Phytoremediation: A novel approach to an old problem". In D. L. Wise (Ed.), Global environmental biotechnology (pp. 563–572). Amsterdam:Elsevier.

Edwards. R. Rebeka. I. Lepp. N. W. and Lovell. A. J. (1999) " An investigation into the mechanism by which synthetic zeolites reduce labile metal concentration in soils ".J. of *Environ. Geochem. Health* 21: 157-168.

Evangelou, MM. H. Daghan, H. and Schaeffer, A. (2004) "*The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil*". Chem.:207-213.

Fang W.X and Wu. P.W. (2004) "Elevated selenium and other mineral element concentrations in soil and plant tissue in bone coal sites in Haoping area, Ziyang County, China J. of *Plant and Soil* 261: 135–146.

Heaton, A. C. P., Rugh, C. L., Wang, N., & Meagher, R. B. (1998). Phytoremediation of mercury- and methyl mercury polluted soils using genetically engineered plants. J. of *Soil Contamination*, 74, 497–510.

Hiscox, J. D. and Israelstam, G. F. (1979) "A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration". Canadian J. of *Botany*, 57:1332–1334.

Hughes, J. B. Shanks J. Vanderford M. Lauritzen, J. Bhadra, R. (1997) "Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures".J. of *Environmental Science & Technology,* 31, 266–271.

Kabata-pendias. A. and pendias, H. (1995) "Biogeochemia pierwiastkow sladowych". PWN, Warszawa, 53.

Kabata-pendias. A. and pendias, H. (2000) "*Trace Elements in Soils and plant*". Crcpress Boaca Raton Ann Arbor Landon, P. 223.

Kabata-Pendias A. (2001) "Trace elements in soils and plants". 3rd Edn. CRC Press. New York.

Kabata-Pendai A. Mukherjee. A. B . (2007) "Trace elements from soil to human". Springer-Verlag, Heidelberg , Germany : 550 p.

Kumar P. B. A. N. Dushenkov, V., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. J.of *Environmental Science and Technology*, 29(5), 1232–1238.

Lewis B. G. Johnson C. M. Delwiche, C. C. (1966) "Release of volatile selenium compounds by plants:Collection procedures and preliminary observations" J. of *Agricultural and Food Chemistry*, 14, 638–640.

Li. M.S. Luo. Y.P, Su. Z.Y,(2007) "Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China"J. of *Environmental Pollution.* 147 :168e175.

Lindsay. W. L., Hodgson, J. F. and Norvell, W. A. (1967) "*The physicochemical equilibrium of metal chelates in soils and their influence on the availability of micronurrient cations*". Int. Soil Soc. Trans. Comm. II, IV: 305-316.

Lindsay W. L. and Norvell, W. A. (1969) " Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper ". J. of *Soil Sci*. Soc Am. J 42 : 421-428.

Maiti S K. Sinha I N. Nandhini S. De, Kh. Das d (2004) "Micronutient mobility and heavy metal uptake in plants growing on acidic coalmine dumps'. *Proceedings of the National Seminar on Environmental Engineering with special emphasis on Mining Environment*.

Mishra, V. K. Upadhyaya A. R. Pandey S. K. Tripathi, B. D. (2008a) "Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management due through naturally occurring aquatic macrophytes". J of *Bioresource Technology* , 99,930–936

Mishra, V. K. Upadhyaya A. R. Pandey S. K. Pathak V Tripathi B. D. (2008b) "Phytoremediation of Mercury and Arsenic from Tropical Opencast Coalmine Effluent Through Naturally Occurring Aquatic Macrophytes".J. of *Water Air Soil Pollut* , 192:303–314

Mishra V.K. Ki-Hyun Kim, Tripathi, B.D. (2009). "Removal and accumulation of mercury by aquatic macrophytes from an opencast coal mine effluent". J.of *Hazardous Materials* ; 172 : 749–754.

More. F .and Esmaeili A.(2008) "Environmental impacts of zirab coal washing plant, Mazandaran, Iran" .j of . vol:11.

Morita, A. H. Yokota M.R. Ishka and F. Ghanati. (2006) "Changes in peroxidase activity and lignin content of cultured tea cells in response to excess manganese".J of *Soil Sci*. Plant Nutr., 52, 26-31.

Olsen, S. R. and Sommers, L. E. (1990) "phosphorous". In pagew, A. L. (ed) J. of *Method of Soil Analysis* .Part 2. Znded Agron Monogr., ASA, Maduson WI., P. 403-431.

Pias. I and Jons. J,B (1997). "The hand book of trace elements". St.Lucie Press.223 p.

Pilon-Smits. E. A. H. Desouza M. P. Hong G. Amini A. Bravo, R. C. Payabyab, S. T., et al. (1999) " Selenium volatilization and accumulation by twenty aquatic plant species". J. of *Environmental* Quality, 28(3), 1011–1017.

Prabha K. Padmavathiamma. Loretta Y. Li, (2007) "Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants". J. of *Water Air Soil Pollut* ; 184:105–126.

Pulford, I. D. and Watson, C. (2003) "*Phytoremediation of heavy metal contaminated land by tress e a review*". Environ. Inter. 29:529-540.

Reeves RD, Baker AJM (2000) "Phytoremediation of toxic metals. In: Raskin I, Ensley BD (eds) Using Plants to Clean Up the Environment". Wiley and Sons Inc, New York.

Ren D. Zhao f. Wang Y. Yang S. (1999) "Distribution of minor and trance element in Chinese Coal", J. of *Coal Geology* 40 : 109-118. In Gholipour M. Mazaheri A. Raghimi M. Shamanian GH. (2010) "Study of geochemistry and mineralogy in Karmozd coal Basin Central Alborz, Mazandran Province". Iranian. J.of *Crystallography and mineralogy.*

Roy B. K. Prasad R. Gunjan. (2010) "Heavy metal accumulation and changes in metabolic parameters in Cajanas cajan grown in mine spoil". J. of *Environmental Biolog* ; 31(5) 567-573.

Safari Sinegani A.A. (2007) "Temporal and spatial variability of lead levels in Salsola kali near Razan-Hamadan highway, Iran". J of *Appl. Sci. Environ. Manage*. 11 (3). 143-146.

Safari Sinegani A.A., and Khalilikhah F. (2010) "Effects of EDTA, sheep manure extract and their application time on Cd uptake by Helianthus annuus from a calcareous mine soil". J. of *Soil and Sediment Contamination*: An International Journal. 19: 3, 378-390.

Schmidt U. (2003) "Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals". J.of *Environ, Qual*. 32:1939-1945.

Schnoor, J. L. (1997) "phytoremediation" , The University of Iowa, Department of Civil and Environmental Engineering and Center for Global and Rgional Environmental Research.

Smith R. A. H. Bradshaw, A. D. (1992) “Stabilization of toxic mine wastes by the use of tolerant plant populations”. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 81, A230–A237.

Thangavel, P. Subhuram, C. V. (2004) “Phytoextraction Role of hyper accumulators in metal contaminated soil”. Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B, 70(1), 109–130.

Utsunamyia T. (1980). Japanese patent application no. 55-72959. Viard, B., Pihan, F., Promeyrat, S., & Pihan, J. C. (2004). Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails. Chemosphere, 55(10), 1349–1359.

Walkley A. I. A. Black . (1934) “An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method”. J. of *Soil Sci*. 37: 29-38.

Wang S.H. Z.M. Yang H. Yang, B. Lu, S. Q. Li and Y. P. Lu. (2004) “Copper-induced stress and antioxidative responses in root of Brassica junceaL”. Bot. Bull. Acad. Sin., 45, 203-212.

Welch RM. Norvell WA. (1999) . “Mechanisms of cadmium uptake, translocation and deposition in plants”. In: McLaughlin MJ, Singh BR (eds) Cadmium in soils and plants, 85. Kluwer Publ, pp 125–150.

Williamson A. Johnson M. S. (1981) “Reclamation of metalliferous mine wastes”. In N. W. Lepp (Ed.), Effect of heavy metal pollution on plants, vol. 2 (pp. 185–212). Barking, Essex, UK: Applied Science Publishers.

Westerma, R. E. L. (1990) “Soil Testing and plant Analysis”. SSSA. Madison Wisconsin. USA.

Yazdi M. Esmaeilnia S.A. (2003) "Dual- energy gama- ray technique for quantitative measurement of coal ash in the Shahroud min, Iran", J. of *Coal. Geoilogy* . 151-156.

Yazdi M. Esmaeilnia A.S.(2004) "Geochemical properties of coal in the Lushan coalfield of Iran," J. of *Coal Geology* 60 73-79.

Yoon J. Cao X. Zhou, Q. Ma L. Q. (2006) "Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site".J. of *Science of The Total Environment*, 368(2–3), 456–464.

Abstract

Anjir –tangeh coal washing plant was built since 1988 for coal washing of Karmozd, Kiasar and Karsang coal mine. The results of factory activity about 1.5 million tons of tailing damp near Delilam river. This study was carried out to investigate the effects of tailing damp on the environment around the factory, such as the effects of factory on plant species on metal uptake in different growing seasons.The results showed that metals concentrations in soils and plants is in normal range and tailing was not polluted soil and plant in around. This tailing increased concentration of Cr in soil , Cd in plants and not significant effects in concentration of other metals in near factory and control area. Results showed that the plant species has significant effects on metal uptake. *Rubus ulmifolius* is uptake Cd and *Chenopodium album L* has showed minimum availability for uptake of Cr in summer. The concentration of metals in plants in autumn was more than summer.

The greenhouse experiment showed that the bio-avalibity of phosphorus decreased in plant grown in tailing soil. Trifolium sp showed that a low translocation factor for Cd which is important in phytoremediation. The plant can accumulate Cd in roots and the shoot have lower concentration of Cd. The results may important in remediation of tailing damps.

Key words: Coal, Heavy metals, Plants, Phytoremediation

shahrood university
of technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

The impact of coal washing operation on the bioaccumulation of some trace elements in the native plants of Anjir –tangeh coal washing plant region

Samanaeh Safari Senejani

Supervisors:

Dr. Arezoo Abedi

Dr. Hamidreza Asghari

Advisors:

Dr. Faramarz Dolati Ardejani

Dr.Ali Akbar Safari Senejani

February 2012