

مقدمه

معدن‌کاری و صنایع وابسته به آن اگرچه نقش ارزشمند و مثبتی در ابعاد اقتصادی و اجتماعی توسعه پایدار با ایجاد اشتغال و تولید ثروت دارد، اما از جهت نقش آن در بُعد سوم توسعه پایدار یعنی محیط‌زیست (و منابع طبیعی) با انتقادهای جدی روبرو است [۱۳]. معمولاً فعالیت‌های معدنی از دیدگاه منابع طبیعی و محیط‌زیست با چالش‌های عمده و عدیده‌ای مواجه است. معدن و فعالیت‌های معدنی علی‌رغم آثار و نتیجه مثبتی که روی ابعاد اقتصادی و اجتماعی مناطق پیرامون خود دارند، متأسفانه آثار منفی و مخربی به‌ویژه روی محیط‌زیست و عرصه‌های منابع طبیعی و همچنین بُعد اجتماعی مناطق هدف خود خواهند شد. به‌منظور از بین بردن یا حداقل رساندن آثار منفی و مخرب این فعالیت‌ها، لازم است طرح‌های بازسازی و احیا معدن در حین فعالیت و نیز پس از خاتمه فعالیت‌های معدنی به صورتی جدی، نظام‌مند و اثرگذار در سایت‌های معدنی طراحی و پیاده شوند [۱۳]. در رابطه با روش‌ها و تکنیک‌های احیا و بازسازی معدن باید به چند نکته اساسی توجه داشت. نخست اینکه، لزوماً بازسازی‌ها به بازگرداندن شکل زمین به حالت اولیه و پیش از فعالیت معدنی منجر نمی‌گردد و بلکه تلاش می‌شود، زمین‌های تخریب‌شده به شرایط بادآوری و تولید خود شبیه آنچه بیش از عملیات معدن‌کاری وجود داشته است، برگردانده شود. دوم اینکه، به‌طور کلی روش‌ها و تکنیک‌های بازسازی لزوماً روش‌ها و تکنیک‌های استاندارد و قالب‌بندی شده‌ای نمی‌باشند و خلاقیت و نوآوری در طراحی این روش‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کند. از این رو، روش‌ها و تکنیک‌های جمع‌آوری شده یا پیشنهادشده در این مجموعه کلیه روش‌های بازسازی نمی‌باشند و می‌توان با اندکی خلاقیت، روش‌ها و تکنیک‌هایی با اندک تفاوتی به روش‌ها و تکنیک‌های ذکرشده افزود. سوم، انتخاب روش‌های احیا و بازسازی به کار گرفته‌شده در یک معدن یا سایت فعالیت معدنی به عوامل مختلف و متعددی بستگی دارد [۱۳]. از جمله این عوامل می‌توان به شرایط محیطی، اقلیمی، اجتماعی-اقتصادی، فرهنگی و سیاسی منطقه هدف اشاره کرد. چهارم اینکه، طرح‌های استفاده‌شده در بازسازی و احیا معدن می‌توانند تک‌گزینه‌ای یا چندگزینه‌ای باشند. به گفته دیگر، ممکن است بازسازی یک معدن تنها با یک روش امکان‌پذیر باشد یا بسته به شرایط محیطی و دیگر عوامل لازم می‌شود از چندین روش یا تکنیک برای احیا و بازسازی محدوده‌ی معدنی استفاده کرد. در دهه‌های اخیر روش‌های اخیر روش‌ها و تکنیک‌های زیادی

 بازسازی معدن (بخش سوم): روش‌ها و تکنیک‌های
 احیا و بازسازی معدن
حسن مقیم^۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۱/۰۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

DOI: WMJI.2024.2025434.1059/10.22034

چکیده

با توجه به نقش مهم و تأثیرگذار معدن‌کاری و صنایع وابسته به آن در توسعه کشور و همچنین اهمیت عرصه‌های منابع طبیعی و محیط‌زیست و لزوم حفظ و نگهداری از آن، تنها راه بهره‌مندی از اثرات مثبت معدن‌کاری توأم با حفظ و پاسداری از منابع طبیعی و محیط‌زیست، برقراری تعادل و ایجاد تعامل بین این دو مقوله می‌باشد. با توجه به اجماع جهانی کارشناسان و صاحب‌نظران هر دو حوضه، بازسازی و احیا معدن و بازگرداندن حداکثری عرصه‌های معدن‌کاری باهدف پایداری عرصه‌های منابع طبیعی و محیط‌زیست می‌باشد. به گفته‌ی دیگر، در یک نگاه کلی نقطه‌ی اشتراک و درک متقابل این دو بخش نسبت به یکدیگر، تنها توجه و عمل به مفهوم واقعی «توسعه پایدار» می‌باشد. از نگاهی نو و با توجه به برداشت‌های نوین علمی و در چارچوب مفهوم واقعی و علمی توسعه پایدار، یکی از مهم‌ترین اقداماتی که می‌تواند تقابل دو بخش منابع طبیعی و معدن‌کاری را به حداقل برساند، انجام احیا و بازسازی معدن پس از بهره‌برداری می‌باشد. در این مقاله روش‌ها و تکنیک‌های احیا و بازسازی معدن باهدف پایداری منابع طبیعی و محیط‌زیست شامل روش‌های مدیریت مواد باطله، احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان، روش گیاه‌پالایی، روش‌های ساماندهی رودخانه یا آبراهه، روش‌های حفاظت از درختان باقی‌مانده، ساخت مکان‌های ورزشی - تفریحی و روش‌های زیباسازی معرفی و تشریح شده است. انتخاب روش برای بازسازی معدن بستگی به شرایط معدن و نوع و میزان آسیب‌دیدگی آن دارد.

واژه‌های کلیدی: آبخیزداری، توسعه پایدار، سلامت حوزه آبخیز، مدیریت جامع، معدن‌کاری

۱- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس.
 Email: hassan_Moghimi@yahoo.com

برای بازسازی و احیا معادن و محدوده‌های معدنی در سراسر جهان معرفی، طراحی و اجرا شده‌اند. از جمله روش‌ها و تکنیک‌های اجرا شده در سراسر جهان می‌توان به مواردی از جمله تبدیل کاربری اراضی به کشاورزی، جنگل‌کاری (گیاه‌کاری)، دریاچه یا استخر، کاربردهای تفریحی - ورزشی، کاربری ساخت‌وساز، زیباسازی، حیات‌وحش، واحدهای مسکونی و مؤسسات آموزشی - تفریحی اشاره کرد. در این نوشتار تلاش گردیده، روش‌ها و تکنیک‌هایی از نظر اقتصادی ارزان و باصرفه، از نظر اجتماعی قابل قبول، از نظر زیباسازی چشم‌انداز و از نظر محیط‌زیست و منابع طبیعی سازگار، همسو و تأثیرگذار در حفظ، احیا و پایدار نگه‌داشتن عرصه‌های منابع طبیعی و محیط‌زیست معرفی گردند.

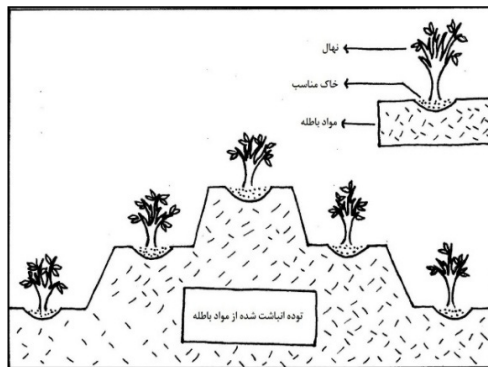
روش‌های مدیریت مواد باطله

مدیریت مواد باطله ناشی از فعالیت‌های معدنی یکی از مسائلی است که همواره در عملیات بازسازی معادن مورد نظر می‌باشد. طبق تعریف، مواد باطله عبارت است از موادی که در نتیجه استخراج یا کانه‌آرایی از کانه جدا می‌گردد. به‌طور کلی حجم مواد باطله بسیار زیاد بوده و انباشت این مواد علاوه بر نازیباسازی منطقه، باعث می‌شوند، حجم زیادی مواد سمّی و ترکیبات شیمیایی که معمولاً دارای فلزات سنگین می‌باشند به عرصه‌های منابع طبیعی و محیط‌زیست وارد شوند. از این رو، مدیریت مواد باطله یکی از مهم‌ترین مسائل در بازسازی معادن به شمار می‌آید. ویژگی مواد باطله در معادن مختلف، متفاوت است و به‌طور مستقیم به خواص فیزیکی و شیمیایی معدن بستگی دارد. برای هرگونه مدیریت مواد باطله در گام نخست لازم است، خواص فیزیکی و شیمیایی این مواد مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. خواص فیزیکی مهم باطله‌های معدنی که به‌منظور بازسازی منطقه معدن‌کاری شده باید ارزیابی شوند، عبارت‌اند از بافت فیزیکی مواد باطله، ساختار ملکولی مانند چسبندگی و قابلیت خرد شدن و بالاخره میزان دسترسی به آب. از سوی دیگر، خواص شیمیایی سنگ‌های باطله نیز ممکن است در نوع و روش بازسازی منطقه معدن‌کاری شده و میزان تأثیر و موفقیت بازسازی اثر قابل توجهی داشته باشد. اطلاعات کافی درباره میزان اسیدی یا بازی بودن مواد باطله، وجود فلزها و نمک‌های سمّی در آن و بسیاری موارد دیگر موجب می‌شود که روش بازسازی مناسب، با توجه به این خواص انتخاب گردد [۱۶]. متداول‌ترین روش انباشت باطله در معادن، جمع‌آوری بر سطح زمین یا درون حوضچه‌های مخصوص این کار است. روش‌های مدیریت مواد باطله معادن متنوع می‌باشد که می‌توان آن‌ها را در سه دسته حمل مواد، تثبیت فیزیکی، تثبیت شیمیایی و تثبیت بیولوژیکی دسته‌بندی کرد.

روش‌های بازسازی مواد باطله

روش‌های بازسازی مواد باطله ناشی از معادن در چهار روش زیر طبقه‌بندی می‌شوند. الف) روش جابجایی و پخش کردن مواد باطله:

حمل و جابجایی مواد باطله یکی از ساده‌ترین روش‌های رسیدگی به مواد انباشت شده باطله معادن می‌باشد. این روش در خصوص معدنی که دارای مواد باطله غیر سمّی و فاقد مواد شیمیایی و فلزهای سنگین می‌باشد، کاربرد دارد. معادن سنگ‌های تزئینی و ساختمانی و هم‌چنین شن و ماسه از جمله‌ی این معادن به شمار می‌آیند. مواد باطله این‌گونه معادن که معمولاً پیرامون معدن انباشت می‌شوند، در نگاه اول باعث نازیبا شدن چشم‌انداز منطقه می‌گردند. گذشته از این، محل انباشت مواد باطله‌ی ناشی از این معادن، عرصه‌های منابع طبیعی را به خود اختصاص می‌دهند و در نتیجه پوشش گیاهی این زمین‌ها را از بین می‌برند. حمل و جابجایی مواد باطله عاری از مواد سمّی و ترکیبات شیمیایی مضر، به مکان‌های دیگر می‌تواند در زیباسازی و بازسازی معدن کمک شایانی نماید. مواد باطله حمل شده باید در مکان‌هایی جا داده شوند که باعث آسیب رساندن به محیط‌زیست و عرصه‌های منابع طبیعی نشوند. از مواد باطله این‌گونه معادن می‌توان در عملیات ساختمان‌سازی، جاده‌سازی، ساخت و سازه‌های آبی (از جمله سازه‌های کوچک و بزرگ آبخیزداری)، پُر کردن گودال‌ها، زیرسازی‌ها و غیره استفاده کرد. از دیگر راهکارهای موجود برای بازسازی و زیباسازی محدوده‌های معدنی در رابطه با مواد باطله، پخش کردن آن‌ها می‌باشد. در شرایطی که از نظر اقتصادی و دیگر مواد حمل مواد باطله مقرون‌به‌صرفه نباشد، پخش کردن آن‌ها در محدوده‌ی معدنی بهترین گزینه است. هدف از پخش کردن مواد در سطح زمین، به حداقل رساندن ناهماهنگی ایجاد شده در محیط می‌باشد. پخش کردن مواد باطله باید در اراضی فاقد پوشش گیاهی صورت گیرد. شایان‌ذکر است، این روش صرفاً در خصوص مواد باطله عاری از مواد سمّی و مضر می‌باشد. ب) روش تثبیت فیزیکی: تثبیت فیزیکی عبارت است از پوشاندن سطح باطله‌ها به وسیله موادی که از فرسایش آن‌ها توسط باد یا آب جلوگیری کند یا آن را به حداقل برساند. یکی از روش‌های تثبیت فیزیکی، پوشاندن باطله‌ها با لایه‌هایی از آب است. این کار در مناطق کم آب و نیز روی سدهای باطله شیب‌دار، مقرون‌به‌صرفه نیست. روش دیگر، استفاده از خاک و سنگ موجود است که دو مزیت مهم دارد. یکی اینکه هزینه تثبیت به حداقل می‌رسد و دوّم آنکه زیرسازی مناسبی برای گیاهان بعدی به وجود می‌آید [۱۶]. شایان‌ذکر است، روش‌های تثبیت فیزیکی عمر مفید معینی دارند و یا گذشت زمان معمولاً از درجه‌ی تأثیر آن‌ها کاسته می‌شود. ج) روش تثبیت شیمیایی: تثبیت شیمیایی شامل استفاده از مواد شیمیایی است که با سطح بالایی لایه باطله واکنش شیمیایی ایجاد کرده و در نتیجه این واکنش، پوسته‌های نسبتاً سخت بر سطح مواد باطله به وجود می‌آید که از پراکنده شدن ذرات توسط باد یا آب جلوگیری می‌کند. بزرگ‌ترین برتری روش‌های تثبیت شیمیایی، سرعت زیاد آن در تشکیل لایه‌های سخت روی مواد باطله است. به همین منظور از این‌گونه روش‌ها در جاهایی که آب‌وهوا بسیار سرد و بسیار گرم و کار کردن در آن‌ها دشوار است، استفاده می‌شود. تثبیت شیمیایی برای باطله‌هایی که حاوی مواد بسیار سمّی



شکل ۱: نمایی از نیمرخ تراس‌بندی و کشت گیاه روی مواد باطله [۱۳]

مکان مناسب برای استقرار گیاه، قابلیت دسترسی به گیاهان کاسته و زیبایی چشم‌انداز منطقه نیز می‌شود. شکل ۱، نمایی شماتیک از نیمرخ تراس‌بندی و کشت گیاه روی مواد باطله را نشان می‌دهد.

احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان

احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین اقدامات و روش‌های اجرایی در احیا و بازسازی معادن به شمار می‌آید. با اجرای عملیات احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان در عرصه‌های منابع طبیعی دستکاری شده ناشی از فعالیت‌های معدنی، می‌توان شرایط پوشش گیاهی محدوده‌ی هدف را به شرایط وضعیت پیش از معدن‌کاری تبدیل کرد. چراکه هدف کلی احیای اراضی معدنی، استقرار دائمی پوشش گیاهی و بهبود کیفیت خاک است تا بتواند افزایش کارکردهای بوم‌شناختی را در پی داشته باشد [۳]. گذشته از این، احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان از زیباسازی چشم‌اندازهای طبیعی تأثیر بسزایی دارند. همچنین از نظر سازگاری و همخوانی عملیات بازسازی، روش احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان، بیشترین سازگاری و همخوانی را با شرایط محیطی دارا می‌باشند. ناگفته نماند، احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان در محدوده‌های معدنی برای تثبیت منطقه و کاهش میزان آلودگی، امری ضروری اما مشکل است [۲۵]. سه روش برای احیای رویشگاه‌های تخریب یافته در اثر برداشت ذخایر معدنی وجود دارد [۵، ۸ و ۱۸]. الف) روش خودترمیمی بوم‌سازگان: این روش در واقع روش خودترمیمی بوم‌سازگان بدون مداخله انسان می‌باشد. روش خودترمیمی به‌منزله‌ی اقدام به احیا به شمار می‌آید. غالباً خودترمیمی در رویشگاه‌های اتفاق می‌افتد که به دلیل مختلفی رها شده و متروک مانده‌اند. ب) روش استفاده از احیای فنی با کاشت گونه‌های هدف: روش دوم برای احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان، احیای فنی با کاشت گونه‌های هدف، همراه بهبود یا بازگرداندن شرایط رویشگاه که معمولاً شامل انتقال خاک‌های سطحی حاصلخیز به رویشگاه، کاشت مخلوط گندمیان علفی، نهال‌کاری یا کاشت درختان است. ج) روش دست‌کاری در خودترمیمی بوم‌سازگان: روش دست‌کاری در خودترمیمی بوم‌سازگان، سومین روش برای احیای پوشش گیاهی و استقرار

هستند نیز روش مناسبی است. در هر صورت روش تثبیت شیمیایی همانند تثبیت فیزیکی دارای عمر مفید معینی دارد و با گذشت زمان از درجه‌ی تأثیرگذاری آن کاسته می‌شود. بنابراین در بسیاری از موارد نمی‌توان از آن‌ها به‌عنوان روش‌هایی بلندمدت و قابل‌اعتماد استفاده کرد. از این رو، لازم است پس از تثبیت بازدیدهای دوره‌ای به‌منظور تعمیر و بازسازی مجدد، انجام گیرد. د) روش تثبیت بیولوژیکی (گیاه‌کاری): مؤثرترین و بلندمدت‌ترین روش بازسازی، گیاه‌کاری و تثبیت بیولوژیکی روی باطله‌های معدنی است. برای گیاه‌کاری موفق، باطله‌های معدنی باید فاقد هرگونه مواد سمی باشند و نیز مخلوط مواد در داخل آن‌ها طوری باشد که ریشه گیاهان بتواند به‌آسانی به درون آن نفوذ کند. همچنین خاک موجود باید طوری باشد که گیاه از نظر مواد غذایی دچار کمبود نشود و نیازی به استفاده از کودهای شیمیایی و غیره نباشد. برای این منظور حتی‌الامکان باید از خاک و گیاهان بومی محلی استفاده شود. از این رو، در آغاز باید پوشان سنگی که قبلاً از محل برداشته شده به آنجا باز گردانده شود و در محل‌هایی که سنگ معدن از آنجا استخراج شده ریخته شود [۱۶]. در صورتی که مواد باطله انباشت شده دارای شرایطی هم‌چون وجود مواد سمی و ترکیبات شیمیایی مضر، نبود خاک زارعی مناسب و عدم عمق خاک کافی باشد و نتوان روی آن‌ها گیاه‌کاری کرد، صرفاً به‌منظور زیباسازی محیط و ایجاد چشم‌اندازی طبیعی می‌تواند با ایجاد گلدان‌هایی درون مواد باطله به کشت گیاه (درختان بومی و سازگار) اقدام نمود. برای ایجاد گلدان، می‌توان با ایجاد گودال‌هایی با دهانه و عمق متناسب با گیاه انتخابی، خاک زراعی مناسب و ترجیحاً از خاک‌های بومی منطقه را در آن ریخته و گیاه انتخابی را در آن کشت نمود. در صورتی که مواد باطله دارای موادی باشند که برای رشد گیاه مضر شناخته شوند؛ می‌توان گودال‌های ایجادشده را با گلدان‌های پیش‌ساخته پر کرده و گیاهان انتخابی را در این گلدان‌ها کاشت کرد. در هر صورت، در عملیات بیولوژیکی یا گیاه‌کاری باهدف تثبیت یا زیبایی منظر، برنامه آبیاری گیاهان کاشته شده یکی از مباحث اصلی می‌باشد. شایان‌ذکر است، اگر مواد باطله انباشت شده دارای تثبیت باشند، لازم است قبل از کاشت گیاه، شیب تعدیل و با ایجاد تراس پایداری آن تضمین شود. تراس‌بندی روی مواد باطله شیب‌دار نه تنها باعث پایداری مواد باطله انباشت شده می‌گردد، بلکه موجب ایجاد

دوباره گیاهان می‌باشد. دست‌کاری در خودترمیمی بوم‌سازگان با استفاده از برخی روش‌های فنی به منظور دستیابی به جامعه گیاهی هدف است. از تکنیک‌های فنی احیا می‌توان به مواردی همانند استفاده گیاهان پالایی [۷]، استفاده از خاکستر زغال‌سنگ [۲۰]، روش هیدروسیدینگ^۱ یا بذرکاری همراه با مواد غذایی و مالچ حل‌شده در آب [۱]، کاربرد خاک سطحی طبیعی [۲]، کود کمپوست [۱۵] اشاره کرد.

روش گیاه‌پالایی^۲

یکی از روش‌های احیا و بازسازی معادن، روش گیاه‌پالایی است. از نظر تاریخی، آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین از استخراج معادن و فعالیت کارخانه‌های وابسته به معادن آغاز شده است. ضایعات معادن موجب آلودگی اولیه خاک و محیط‌زیست پیرامون آن می‌گردد. ورود این مواد به آب‌های زیرزمینی آلودگی ثانویه را به همراه دارد. مرحله سوم آلودگی با استفاده از رسوبات رودخانه‌ای و یا استخراج آب‌های زیرزمینی آغاز می‌گردد [۱۲]. فن‌آوری گیاه‌پالایی راهبردی مناسب برای کاهش خطر آلودگی محیط‌زیست می‌باشد. این فن‌آوری در مراحل ابتدایی است و اهداف تجاری بزرگی را پیش رو دارد. این فن‌آوری جدید از نظر اقتصادی با صرفه، دوستدار طبیعت و با رویکردی مناسب از نظر زیباشناسی است. از این رو، در اصلاح خاک می‌تواند در جایگاهی از فن‌آوری‌های قرار گیرد [۱۲]. این روش به‌عنوان ابزار جدیدی برای اصلاح خاک، آب‌وهوا معرفی شده است. در فرآیند گیاه‌پالایی گیاهان سبز به‌عنوان پمپ خورشیدی عمل کرده و می‌توانند فلزات سنگین را از محیط‌زیست و عرصه‌های منابع طبیعی استخراج و جمع‌آوری نمایند [۸]. از این روش برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا استفاده می‌شود. این فن‌آوری می‌تواند برای دفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی آلاینده معدنی و آلاینده آلی بکار گرفته شود. در روش گیاه‌پالایی، گیاهان بر اساس سازوکار جذب طبقه‌بندی می‌شوند و آلودگی خاک به فلزات سنگین به کمک روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی کاهش داده می‌شود. در فن‌آوری استفاده از گیاهان به‌عنوان گیاه‌پالایی، از گیاهان سبز و ارتباط آن‌ها با موجودات ذره‌بینی خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌گردد. این فن‌آوری شیوه‌ای مناسب جهت از بین بردن فلزات سمی خاک شناخته شده است و به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن و مناسب بودن از نظر محیط‌زیست و منابع طبیعی تجدیدشونده و بسیار قابل توجه می‌باشد [۱۱]. لازمه به‌کارگیری این روش، کم بودن دامنه آلودگی و پایدار نبودن آن است. ضمناً این روش نیاز به زمان طولانی دارد [۱۴]. این روش فوراً و با کم‌ترین دست‌خوردگی خاک قابل انجام است و به دلیل طبیعی بودن با محیط‌زیست و عرصه‌های منابع طبیعی سازگار بوده و اثرات جانبی خاصی ندارد [۱۰]. اولین بار چنی^۳ در سال ۱۹۸۳ میلادی استفاده از گیاهان با توان تجمع بالا را برای پاک‌سازی مکان‌های آلوده به

1. Hydro seeding
2. Phytoremediation
3. Chancy

فلز پیشنهاد کرده است [۴]. شایان‌ذکر است، روش گیاه‌پالایی باید به‌عنوان یک اصلاح طولانی‌مدت مورد توجه قرار گیرد، زیرا برای کاهش غلظت فلزات و رسیدن به سطح قابل قبول، نیاز به کشت‌های دوره‌ای است. مدت‌زمان لازم برای پاک‌سازی، به نوع و میزان آلاینده‌های فلزی، طول فصل رشد و بازده حذف فلزات به‌وسیله گیاه بستگی دارد؛ اما به‌طور معمول محدودده آن بین یک تا بیست سال می‌باشد [۱۲].

تعریف گیاه‌پالایی

تعریف گیاه‌پالایی به‌عنوان یکی از روش‌های پاک‌سازی^۴ محیط‌زیست و منابع طبیعی تجدیدشونده، روشی ارزشمند و سازگار با محیط‌زیست و از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. تکنیک سازگار با محیط‌زیست و ارزان‌قیمت که موجب بهبود زیستی فلزات سنگین خاک و آب می‌شود. گیاه‌پالایی روش پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل تجمع و تصعید آلاینده‌ها به کمک گیاهان برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، زیست‌پالایی یا گیاهان پالایی روشی است که احتمال از بین بردن یا بی‌خطر کردن آلودگی‌های مختلف را با استفاده از فعالیت‌های زیستی فراهم می‌کند [۱۴]. در تعریفی جامع‌تر می‌توان گفت، گیاه‌پالایی عبارت است از استفاده مهندسی از گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب‌و‌خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط‌زیست مانند فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو. گیاه‌پالایی یک تکنیک با صرفه اقتصادی، زیست‌محیطی و علمی است که برای کشورهای درحال توسعه بسیار مناسب می‌باشد [۲۰]. به زبان ساده‌تر می‌تواند گفت، استفاده از گیاهان برای ذخیره‌سازی، انتقال و زوال آلاینده‌های محیط‌زیست از جمله فلزهای سنگین، هیدرات‌های کربن و ترکیبات شیمیایی و سمی، فرآیندی است که گیاه و اورگانیزم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌گردد [۱۲].

روش‌های مختلف گیاه‌پالایی

روش‌های گیاه‌پالایی انواع گوناگون دارند که می‌توان بر اساس سازوکار عملکردی‌شان، آن‌ها را در هفت گروه اصلی به شرح زیر دسته‌بندی کرد [۵]. الف- روش کنترل هیدرولیک^۵: در این روش، استفاده از گیاهان به‌منظور جذب سریع همراه با مصرف زیادی آب مدنظر می‌باشد. این عمل باعث مهاجرت یون‌های فلزی با آب می‌گردد. نام دیگر این روش گیاه‌آب‌نیروی^۶ می‌باشد [۸]. ب- روش تخریب توسط گیاه^۷: روش تخریب توسط گیاه یا تبدیل گیاهی، در واقع تجزیه مواد آلاینده توسط فرآیندهای متابولیکی گیاه و با تجزیه مواد در اثر ترشح ترکیبات گیاه مانند آنزیم‌ها دست که مترادف با

4. Remediation
5. Hydraulic Control
6. Phyto-Hydraulic
7. Phyto-Degradation

تغییر شکل توسط گیاه است [۸]. ج- استخراج توسط گیاه: در این روش جذب مواد آلاینده توسط ریشه گیاه و انتقال آن به اندام‌های بالایی و سپس خارج کردن عنصر مضر توسط برداشت و خروج آن از منطقه آلوده (منطقه‌ی هدف) مدنظر می‌باشد. این روش بیشتر برای رفع آلودگی آب‌وخاک از فلزات کمیاب اعمال می‌شود. به عبارت دیگر، این روش برای اصلاح مناطق وسیع که در عمق کم مقادیر کم یا متوسط آلاینده‌های فلزی آلوده شده‌اند، مناسب است. گیاه، فلزات را از خاک جذب کرده و به اندام‌های هوایی انتقال می‌دهد. با برداشت گیاه، حذف فلزات از خاک صورت می‌گیرد [۱۲]. د- تثبیت توسط گیاه: روش تثبیت توسط گیاه با تثبیت گیاهی باهدف غیر متحرک کردن آلاینده‌ها در خاک و یا در سطح ریشه و یا رسوبات منطقه ریشه گیاه، مورداستفاده قرار می‌گیرد. زمانی که به دلیل وسعت منطقه آلوده یا فقدان بودجه کافی راهبردهای از بین بردن آلودگی غیرعملی است، استفاده از گیاهان (گیاه‌پالایی) بسیار سودمند می‌باشد. روش‌های سنتی برای کاهش آلاینده‌های فلزی در محیط شامل غیر متحرک‌سازی و تثبیت فلزات در خاک، مهاجرت فلزات را به حداقل می‌رساند اما به دلیل فرسایش خاک این خطر هم‌چنان وجود دارد که انسان و حیوانات در معرض فلزات قرار گیرند. گیاه با تثبیت فلز از پراکندگی آن به وسیله باد و فرسایش خاک جلوگیری می‌کند و مهاجرت عمودی آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی را متوقف می‌سازد. مزایای تثبیت با گیاه (تثبیت گیاهی) نسبت به سایر روش‌های اصلاحی خاک شامل کاهش هزینه‌ها، آلودگی محیط‌زیستی کم‌تر، ابزار آسان و ارائه‌المان‌های زیباشناسی می‌باشد. این روش شکل اصلاح یافته غیر فعال‌سازی در محل است که عملکرد گیاهان، تنش ثانویه در اصلاح خاک به عهده دارد. در روش مذکور، هدف اصلی حذف آلاینده‌های فلزی از محیط نیست بلکه گیاه با تثبیت فلزات، خطر آن‌ها را برای سلامت انسان و محیط کاهش می‌دهد [۱۲]. ه- فرآر سازی با گیاه: فرآر سازی با گیاه یا تبخیر گیاهی یا تصعید توسط گیاه از دیگر روش‌های گیاه‌پالایی می‌باشد. این روش با سازوکار جذب و انتقال عناصر آلاینده و یا تغییر ترکیبات و سپس رها کردن آن‌ها در اتمسفر، اقدام به پالایش می‌کند [۸]. در سال‌های اخیر بررسی‌هایی برای یافتن گیاهان خودرو یا تراریخته انجام شده است که بتوانند فرم عنصری فلزات سنگین را از خاک جذب و سپس آن‌ها را با روش‌های زیستی به گاز تبدیل و در اتمسفر رها کنند. این فن‌آوری ابزاری نویدبخش برای اصلاح خاک‌های آلوده به سلینیم^۴ (Se) و جیوه^۵ (Hg) است [۱۲]؛ و- تخریب توسط ریزوسفر^۶: روش تخریب توسط ریزوسفر یا تبدیل ریزوسفری در واقع تجزیه آلاینده‌ها توسط جمعیت‌های میکروبی که در نزدیکی ریشه فعالیت دارند و مترادف آن تجزیه به کمک گیاه

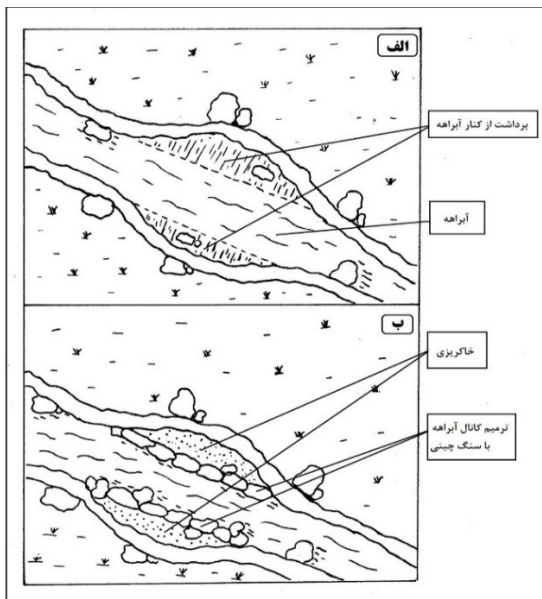
1. Phyto-Extraction
2. Phyto-Stabilization
3. Phyto- Volatilization
4. Selenium
5. Mercury
6. Rhizo - Degradation

است. ز- پالایش ریشه‌ای: جذب آلاینده‌ها از محلول خاک پیرامون ریشه به درون ریشه و یا رسوب آن‌ها روی سطح ریشه است. در روش ریزوفیلتراسیون، از گیاهان خاکی و آبی استفاده می‌شود که آلاینده‌های منابع آبی آلوده به غلظت کم‌تر در ریشه‌های آن‌ها تغلیظ یا رسوب می‌کنند که این روش به‌ویژه برای فاضلاب‌های صنعتی، رواناب کشاورزی و یا فاضلاب معادن اسیدی کاربرد دارد. این روش برای فلزاتی مثل سرب، کادمیم، مس، نیکل، روی و کروم مناسب است [۱۲]. شکل ۲، روش‌های (فرآیندهای) مختلف گیاه‌پالایی را نشان می‌دهد.

مزایا و محدودیت‌های روش‌های گیاه‌پالایی

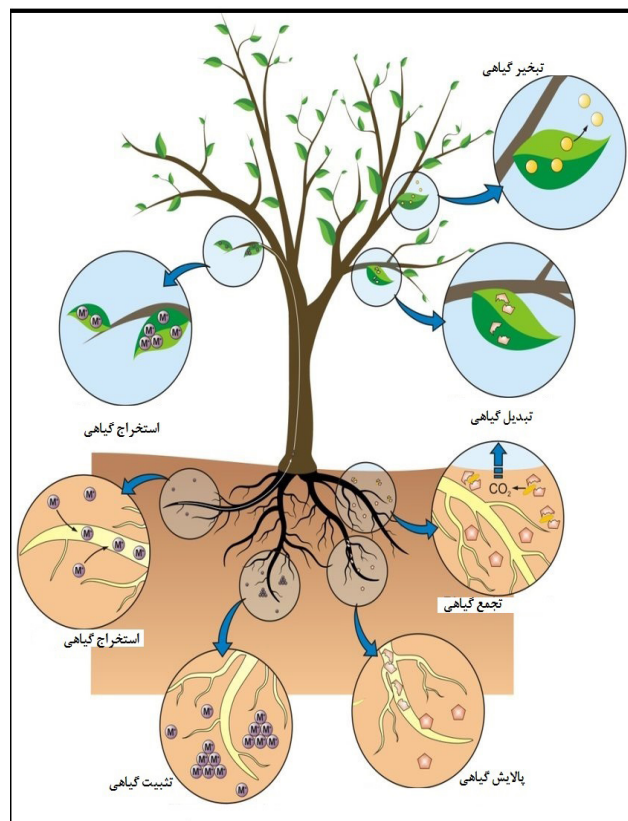
فن‌آوری گیاه‌پالایی همانند دیگر فن‌آوری‌ها می‌تواند دارای مزایا و معایبی نیز باشد. مهم‌ترین مزیت استفاده از گیاهان به‌منظور پاک‌سازی محیط‌زیست (گیاه‌پالایی) شامل بهره‌برداری از صفات ذاتی آن‌ها نظیر زیست‌توده‌ی فراوان، سیستم ریشه‌ای گسترده، توانایی تحمل تنش‌های محیطی و غیره می‌باشد. گیاه‌پالایی از لحاظ زیبایی منظر خوشایند و مطبوع است و محیط‌زیست و عرصه‌های منابع طبیعی را پاک و سبز می‌کند. از آنجایی که گیاه‌پالایی روشی پایدار، درجا، غیرمُخل، خودکفا و مستقل را به‌منظور پاک‌سازی آلاینده‌ها از خاک فراهم می‌آورد. حضور گیاهان در مکان آلوده، فرسایش آبی و بادی خاک را نیز کاهش می‌دهند. با استفاده از روش استخراج گیاهی می‌توان فلزهای گران‌بها و مواد باارزش دیگر را از خاک جمع‌آوری و بازیافت کرد. این امر موجب می‌شود، فرآیند استخراج گیاهی از لحاظ اقتصادی برای سرمایه‌گذاری سودبخش و ترغیب‌کننده باشد. علاوه بر این، گیاهانی که در فرایند زیست‌پالایی مورداستفاده قرار می‌گیرند، خاک سطحی را آشفته نمی‌کنند و بنابراین سبب حفظ سودمندی و کارایی آن نیز می‌گردند. گیاه‌پالایی از تخریب مناظر طبیعی نیز جلوگیری می‌کند و موجب افزایش فعالیت و تنوع ریز جانداران و خاک و ارتقای سلامت اکوسیستم‌های می‌گردد. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های مربوط به فن‌آوری گیاه‌پالایی، شامل سرعت پایین این فرایند در مقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی اصلاح خاک‌های آلوده می‌باشد. ممکن است، پاک‌سازی یک مکان آلوده توسط گیاهان، به دلیل رشد آهسته‌ی آن‌ها که وابسته به محدودیت‌های اقلیمی و تنوع‌های گونه‌ای است، نیازمند فصول رشد زیادی باشد. گیاهانی که دارای ریشه‌های کم‌عمق هستند، تنها قادر به پاک‌سازی خاک یا منابع آب سطحی می‌باشند؛ اما نمی‌توانند از عهده‌ی پاک‌سازی و اصلاح سفره‌های آب زیرزمینی و افق‌های عمیق‌تر خاک برآیند. خطر آلوده شدن زنجیره‌های غذایی توسط گیاهان جذب‌کننده‌ی مواد سمی نیز همواره وجود دارد، چرا که ممکن است حیوانات ساکن در منطقه‌ی آلوده از این گیاهان تغذیه نمایند؛ اما بزرگ‌ترین نگرانی مربوط به گیاه‌پالایی آن است که پس از برداشت گیاهان آلوده‌ی غنی از فلز، سرنوشت آن‌ها چگونه باید

7. Rhizo - Filtron
8. In-Site



شکل ۳: نمایی شماتیک از بازسازی کانال طبیعی با روش سنگ چین کردن [۱۳]

الف- خاکریزی: در فعالیت خاکریزی به منظور ترمیم و بازسازی کانال طبیعی رودخانه یا آبراهه، کافی است از خاک‌های دپو شده حاصل از فعالیت‌های معدنی و یا خاک‌های پیرامون رودخانه یا آبراهه استفاده کرده و با ایجاد خاکریزهای موازی (یا نسبتاً موازی) در هر یک از دو ضلع رودخانه یا آبراهه و با رعایت عرض متناسب با جریان عبوری (الگوبرداری از شرایط قبل از تخریب)، مورفولوژی پیش از تخریب رودخانه یا آبراهه را بازسازی نمود [۱۳]. تراکم خاکریز، ارتفاع خاکریز، دانه‌بندی مناسب خاک، عرض رودخانه یا آبراهه، چگونگی برداشت خاک از پیرامون کانال طبیعی و رعایت مسیر طبیعی رودخانه از مهم‌ترین فاکتورهای قابل توجه در این امر می‌باشد. در این راهکار ممکن است، بسته به شرایط محیطی و میزان و نوع تخریب، عملیات خاکریزی و ساخت خاکریز در یک سو یا دو سوی مسیر رودخانه یا آبراهه و یا بخشی‌هایی از مسیر صورت پذیرد. ب- سنگ‌چین کردن: یکی دیگر از راهکارهای موجود برای ترمیم و بازسازی کانال طبیعی آبراهه‌ها و رودخانه‌های آسیب‌دیده از فعالیت‌های معدنی، از سنگ‌های درشت ابعاد و سنگ‌چین کردن آن‌ها در دو سوی مسیر یا بخشی از مسیر کانال طبیعی است. این راهکار زمانی کارآمد خواهد بود که سنگ‌های درشت ابعاد در محدوده معدنی و پیرامون آن وجود داشته باشد. به عبارت دیگر، زمانی این راهکار پیشنهاد می‌گردد که سنگ‌های درشت ابعاد بخشی از مواد باطله معدن به شمار آیند. چگونگی چیدمان سنگ‌ها، ابعاد سنگ‌ها، رعایت عرض متناسب با حجم جریان عبوری از مهم‌ترین مسائلی است که در این امر باید مورد توجه قرار گیرند [۱۳]. شکل ۳، به‌طور شماتیک نمایی از کانال طبیعی آسیب‌دیده در پیش و پس از اجرای عملیات بازسازی با روش سنگ‌چین را نشان می‌دهد. شایان‌ذکر است، راهکارهای ساخت خاکریز و سنگ‌چین کردن



شکل ۲: روش‌های (فرایندهای) مختلف گیاه‌پالایی [۵]

باشد؟ ممکن است تجزیه زیستی گیاهان آلوده و با استفاده از آن‌ها، مجدداً آلودگی را به‌طور کامل یا جزئی به خاک بازگرداند [۸ و ۱۸ و ۲۴ و ۲۵].

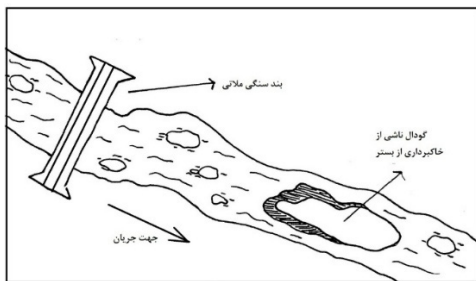
روش‌های ساماندهی رودخانه یا آبراهه

رودخانه‌ها و آبراهه‌ها از جمله عناصر مورفولوژیکی هستند که بر اثر فعالیت‌های معدنی، شکل و ترکیب اولیه خود را از دست می‌دهند و به‌طور کلی تخریب می‌گردند. این حالت بیشتر در معادن شن و ماسه مشاهده می‌شود. به‌منظور بازسازی و ترمیم رودخانه‌ها و آبراهه‌های تخریب‌شده و یا تغییر شکل داده (آسیب‌دیده) راهکارهای متعددی وجود دارد. راهکارهای پیشنهادی علاوه بر اینکه تا حدود زیادی قادر به ساماندهی و ترمیم آبراهه یا رودخانه آسیب‌دیده می‌باشند، در امر زیباسازی و چشم‌انداز نیز نقش مؤثری ایفا می‌کنند.

ترمیم و بازسازی کانال آبراهه یا رودخانه

بر اثر فعالیت‌های معدنی و برداشت مواد معدنی از بستر رودخانه‌ها و هم‌چنین مسیر آبراهه‌ها و پیرامون آن‌ها، شکل و مورفولوژی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها آسیب‌دیده و از حالت طبیعی خارج می‌شود. این امر افزون بر ایجاد مشکلات هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی برای جریان آب عرصه‌ها را از نظر زیبایی منظر دچار مشکل می‌کند [۱۳]. از این رو، رسیدگی در امر بازسازی معادن به شمار می‌آید. به‌منظور ترمیم و بازسازی مسیر کانال طبیعی رودخانه‌ها یا آبراهه‌ها می‌توان از دو فعالیت خاکریزی و سنگ‌چین کردن استفاده کرد.

تأسیسات یا سازه‌هایی در مسیر یا کنار رودخانه یا آبراهه (مانند سازه‌های آبخیزداری) باعث زیرشویی و در نهایت تخریب و شکستن این سازه‌ها و تأسیسات می‌شود [۱۳]. از این رو، به منظور جلوگیری از فرسایش پیشرونده ناشی از برداشت از بستر کانال طبیعی، ساخت «بندهای کنترلی» در بالادست محل برداشت و گودشدگی پیشنهاد می‌گردد. سازه‌های کنترلی با توجه به شرایط محیطی می‌توانند از جنس سنگی ملاتی یا تورسنگی (گابیونی) و دیگر انواع این گونه بندها باشد. احداث این گونه بندها، نیازمند مطالعه و طراحی با رعایت اصول علمی می‌باشند. شکل ۴، نمایی شماتیک از عملکرد سازه‌های کنترلی در راستای پایداری کانال طبیعی را نشان می‌دهد [۱۳].



شکل ۴: نمایی شماتیک از عملکرد سازه‌های کنترلی در راستای پایداری کانال طبیعی [۱۳]

روش‌های حفاظت از درختان باقی مانده

برخی از محدوده‌های معدنی، دارای درختان جنگلی می‌باشند. در خلال عملیات معدنکاری این درختان در معرض خطر نابودی (شکسته شدن، خشکیده شدن) بوده و لازم است از آنها حفاظت گردد. به طور معمول، درختان باقی مانده در محدوده‌ی معدنی پس از بسته شدن معدن، به دو صورت زیر مشاهده می‌شوند: الف) تک‌درختانی که خاک پیرامون آنها به شعاع محدوده‌ی حفظ شده و بعد از این شعاع خاک برداری انجام شده است. ب) درختانی که خاک پیرامون ریشه آنها برداشت شده و بخشی از ریشه‌ی این درختان نمایان می‌باشد.

الف) روش حفاظت از تک‌درختان

همان‌طور که گفته شد، بر اثر خاک برداری ناشی از فعالیت‌های معدنی، خاک‌ها پیرامون این درختان تا عمق چندین متر برداشت شده است و تنها خاک‌های نزدیک درختان تا شعاع حداکثر چند متر (یک تا پنج متر یا کمی بیشتر) به منظور حفظ ریشه و پایداری درختان باقی مانده است [۱۳]. به منظور پایداری دائمی این گونه درختان و هم‌چنین زیباسازی چشم‌انداز طبیعی محدوده لازم است اقداماتی حفاظتی _ زیباسازی پیرامون این درختان صورت پذیرد. با سنگ چین کردن پیرامون توده خاک باقی مانده می‌توان توده خاک باقی مانده پیرامون درخت را برای همیشه حفظ کرد. چیدمان سنگ‌ها باید به صورتی انجام شود که پایداری دیواره سنگی تشکیل شده،

می‌توانند به صورت ترکیبی و با رعایت اصل زیباسازی اجرا شوند. از مزایای این دو روش، استفاده از مصالح درجا و موجود در محدوده‌ی معدنی است. هم‌چنین در این دو راهکار با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی می‌شود، فعالیت‌های بیولوژیک (درخت کاری) را نیز همراه کرد.

تعدیل شیب بستر رودخانه یا آبراهه

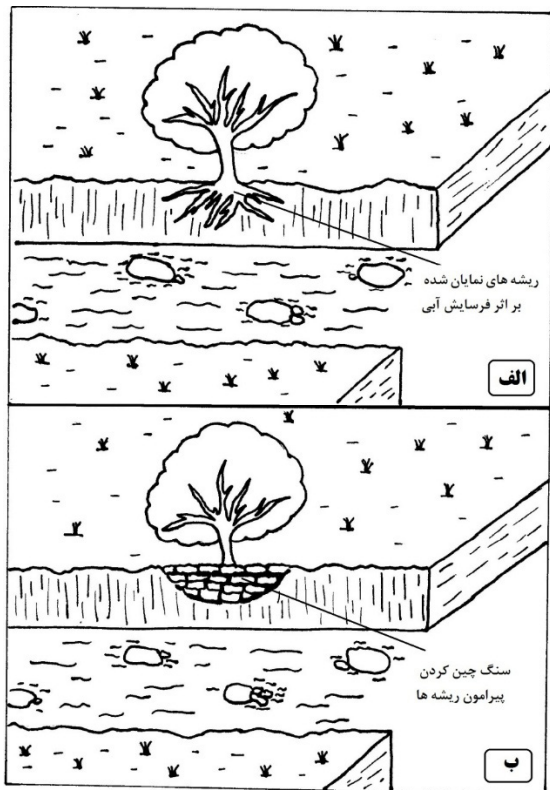
از فعالیت‌های معدنی و به‌ویژه معادن شن و ماسه رودخانه‌ای، برداشت مواد معدنی از بستر رودخانه یا آبراهه، موجب تعمیق و گودشدن بخشی از بستر رودخانه یا آبراهه می‌گردد. این امر سبب اختلال در حرکت جریان آب، افزایش فرسایش خاک از طریق فرسایش کناره‌ای و آبراهه‌ای و تغییر مسیر رودخانه یا آبراهه می‌گردد. از این رو، از بین بردن اختلاف تراز ایجاد شده از طریق خاک برداری از مسیر رودخانه یا آبراهه در بالادست و پایین دست گودال ایجاد شده، یک امر ضروری به شمار می‌آید. با خاک برداری از بالادست و پایین دست گودال می‌توان مسیر رودخانه یا آبراهه را به یک شیب متعادل و نزدیک به تراز کلی رودخانه یا آبراهه تبدیل کرد. بدیهی است، این امر نیازمند طراحی بر اساس نقشه برداری از بالادست و پایین دست محدوده‌ی برداشت و هم‌چنین عمق برداشت می‌باشد [۱۳].

احداث حوضچه‌های آبرگیر

از دیگر روش‌های ساماندهی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها پس از برداشت مواد معدنی، استفاده از گودال‌های ایجاد شده به منظور احداث حوضچه‌های تغذیه‌ی آبرگیر می‌باشد. این روش نیازمند شرایط ویژه خود است. در شرایط خاص محیطی و با در نظر گرفتن عوامل هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، وجود اراضی مورد نیاز، وجود بهره‌بردار در زیردست و غیره، می‌توان گودال‌های ناشی از فعالیت‌های معدنی را تبدیل به حوضچه‌های تغذیه مصنوعی یا آبرگیر کرد. این تغییر نیازمند مطالعات دقیق آبخیزداری و در نهایت طراحی سازه دارد. علاوه بر این، گودال‌های کوچک باقی مانده از معدنکاری را می‌توان به صورت آبرگیرهای کوچک ساماندهی کرد. این آبرگیرهای کوچک، در امر تأمین آب مورد نیاز حیات وحش منطقه و هم‌چنین آب شرب دام حوضه‌نشینان، می‌توانند نقش بسزایی ایفا کنند [۱۳].

ساخت بندهای کنترلی آبخیزداری

گودال‌های ناشی از برداشت مواد رودخانه‌ای از بستر رودخانه یا آبراهه در معادن شن و ماسه، باعث اختلاف تراز یا ارتفاع سطح بستر در کانال طبیعی می‌گردد. در چنین شرایطی، نیروی هیدرولیکی جریان به منظور رسیدن به سطح تراز پایین تر، باعث فرسایش و تخریب و پایین افتادگی بستر بالادست شده و با هر بار وقوع سیلاب، بخشی از بستر به صورت فزاینده و به سمت بالادست، دچار فرسایش و تخریب می‌گردد. تخریب و فرسایش پیشرونده بر اثر اختلاف تراز بستر کانال طبیعی علاوه بر مشکلات عدیده‌ای از جمله ایجاد رسوب و در نهایت انتقال رسوب به پایین دست و مشکلات ناشی از آن و تغییر در مورفولوژی کانال طبیعی، در صورت وجود



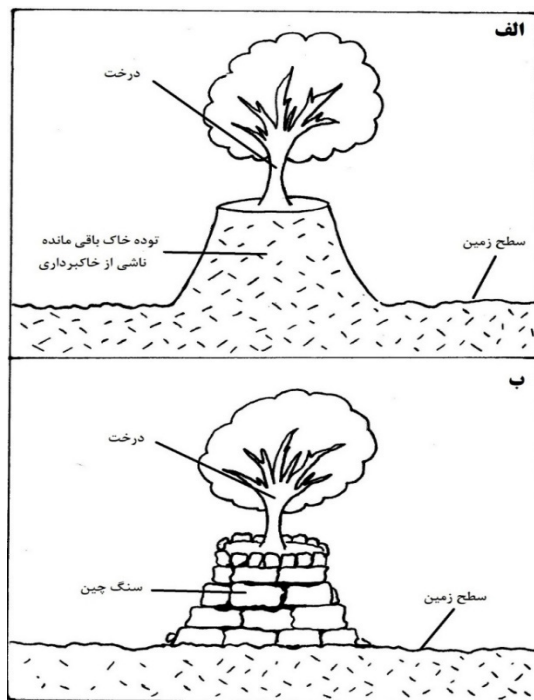
شکل ۶: نمایی شماتیک از درخت با ریشه نمایان ناشی از خاک برداری (الف) و سکوبندی پیرامون محدوده آسیب دیده (ب) [۱۳]

خاک به آن از ریشه درخت حفاظت نمود [۱۳]. به عبارت دیگر، برای حفظ و پایداری این گونه درختان کافی است، سکوبندی در پیرامون بخش آسیب دیده و خاک زراعی باشد. سکوبندی نیز می تواند به صورت خشک چین، سنگ و ملات و یا توری سنگی (گابیون) احداث کرد. این روش علاوه بر پایداری درخت، در امر زیباسازی محدوده نیز مؤثر است. شکل ۶، نمایی از درخت با ریشه نمایان ناشی از خاک برداری (الف) و هم چنین سکوبندی پیرامون محدوده آسیب دیده (ب) را نشان می دهد.

ساخت مکان های ورزشی - تفریحی

یکی از روش های بازسازی معادن، تبدیل کاربری معادن متروکه به اماکن ورزشی - تفریحی است. البته این روش بیشتر در معادن بزرگ مقیاس با وسعت زیاد امکان پذیر می باشد. در صورتی که شرایط محیطی و اقلیمی در کنار وجود زیرساخت های لازم فراهم باشد، می توان محدوده های معدنی بزرگ مقیاس را به مکان های ورزشی، تفریحی و ورزشی - تفریحی تبدیل کرد. این کار مستلزم هزینه کرد مالی زیاد می باشد و از این رو، لازم است پیش از اقدام به چنین امر، ملاحظات اقتصادی آن در نظر گرفته شود. ساخت دریاچه های مصنوعی، پیست موتورسواری یا دوچرخه سواری، ساخت هتل ها و استراحتگاه های گردشگری و غیره از جمله تغییر کاربری هایی هستند

1. Gabion



شکل ۵: نمایی شماتیک از درخت باقی مانده در محدوده معدنی (الف) و دیواره سنگ چین احداث شده در پیرامون توده خاک (ب) [۱۳]

تضمین گردد. اندازه سنگ ها، چگونگی چیدمان و آرایش سنگ ها نسبت به یکدیگر و سطح اتکا سنگ ها از مهم ترین مسائل است که باید در این روش مورد توجه قرار گیرد [۱۳]. در صورتی که شعاع خاک حفظ شده پیرامون درخت کم باشد و یا به عبارتی توده خاک باقی مانده با اندازه و حجم درخت تناسب نداشته باشد، می توان دیواره سنگ چین را با فاصله بیشتری از توده خاک احداث کرد. حداقل فاصله دیواره سنگ چین و توده خاک اولیه را می توان با خاک منطقه یا خاک زراعی مناسب پُر کرده و سطح تراز خاک پای درخت رساند. از نظر تقدم و تأخیر عملیاتی، می توان ابتدا خاک زراعی یا خاک منطقه را پیرامون توده خاک قبلی، اضافه کرد و سپس دیواره سنگ چین را احداث نمود. شکل ۵، نمایی از درخت باقی مانده در محدوده معدنی هم چنین دیواره سنگ چین شده در پیرامون توده خاک را نشان می دهد.

ب) حفاظت از ریشه های درختان در معرض فرسایش

در خلال فعالیت های معدنی و خاک برداری مربوط به معدن کاری، ممکن است بخشی از خاک پیرامون درختان برداشت شده و ریشه درختان لخت شود. این امر پس از مدتی موجب خشکیدگی درخت و در نهایت نابودی درخت می گردد. به منظور حفظ و پایدار ساختن این گونه درختان می توان با ایجاد سنگ چین در پیرامون بخشی از محدوده ریشه درخت که لخت و نمایان شده است و اضافه کردن

که در سراسر جهان در خصوص معادن متروکه یا بسته شده اتفاق افتاده است. هم چنین تبدیل معادن متروکه یا بسته شده به موزه های گردشگری طبیعی و نیز محیط هایی با جاذبه طبیعی از دیگر اقداماتی است که به عنوان تغییر کاربری معادن متروکه یا بسته شده در راستای بازسازی معادن در جهان انجام گردیده است. علاوه بر این، می توان از معادن روباز و زیرزمینی بسته شده به عنوان مکان های آموزشی رشته های مرتبط به معدن و فعالیت های معدنی استفاده کرد.

روش های زیباسازی

زیباسازی منظر یا چشم نواز طبیعی یکی از ابعاد مهم و تأثیرگذار بازسازی معادن می باشد. به طور کلی روش های مختلف بازسازی اعم از مکانیکی، بیولوژیکی و بیومکانیکی می توانند از جنبه های زیباسازی نیز ایفای نقش نمایند. روش های زیباسازی به طور ذاتی از یک خلاقیت برخوردار هستند و با توجه به مؤلفه های چندگانه شرایط محیطی، اقلیمی، اجتماعی- اقتصادی، فرهنگی و سیاسی انتخاب و تدوین می شوند و نمی توان کلیه روش های زیباسازی متداول و عمومی بازسازی معادن مورد بحث و بررسی قرار گیرد. آنچه مسلم است، انتخاب روش یا روش های زیباسازی برای یک معدن بسته شده باید حداکثر همخوانی و سازگاری را با محیط زیست و عرصه های منابع طبیعی داشته باشند. افزون بر این، روش های انتخابی زیباسازی معادن باید قادر باشند هماهنگی با طبیعت را ایجاد کرده و در واقع خالق منظرهایی چشم نواز شوند. روش های زیباسازی که در اکثر معادن قابلیت اجرا دارند به شرح زیر می باشند. الف) پایداری شیب ها: معمولاً شیب ها در اثر معدن کاری از حالت پایداری خود خارج می شوند. برداشت و استخراج مواد معدنی اعم از سنگی و خاکی باعث دست خوردگی شیب ها و در نهایت ناپایداری آن ها می شود و این امر به نوبه ی خود علاوه بر عدم پایداری شیب و خطر سقوط قطعات سنگی یا توده های خاکی، موجب نازیب شدن منظر و چشم انداز طبیعی منطقه نیز می گردد. از این رو، ساماندهی و پایدارسازی مجدد شیب ها در محدوده ی معدن کاری به روش های مختلف می تواند به عنوان یکی از راهکارهای بازسازی و زیباسازی معادن محسوب شود. یکی از روش های متداول در پایداری شیب های، تراس شیب ها است. با انجام تراس بندی روی شیب های ناپایدار، علاوه بر به پایداری رساندن شیب، از نظر زیبایی چشم انداز نیز شیب یا دامنه ی دست خورده ساماندهی می شوند. در صورت مساعد بودن شرایط محیطی و اقلیمی می توان عملیات تراس بندی و پایدارسازی شیب را با عملیات بیولوژیک (به ویژه کاشت درختان یا درختچه های بومی) همراه کرد. هم چنین، چیدمان سنگ های متوسط یا درشت ابعاد در حاشیه تراس های می تواند افزون بر کمک به پایداری تراس بالادستی، به زیبایی منظر نیز کمک نماید. توصیه می شود، از قطعات سنگی باقی مانده از عملیات معدن کاری در این امر استفاده گردد. شایان ذکر است، برنامه زمان بندی آبیاری طرح بیولوژیک جزء جدا نشدنی عملیات بیولوژیک (درخت کاری) به شمار می آید [۱۳]. ب) ایجاد پوشش گیاهی (درخت، درختچه، بوته): ایجاد پوشش گیاهی در شیب ها و دامنه های سنگی و خاکی و هم چنین

اراضی مسطح و هموار محدوده ی معدن کاری، یکی دیگر از روش های متداول برای زیباسازی منتظر و چشم انداز طبیعی در بازسازی معادن می باشد. عملیات درخت کاری و بوته کاری در مناطق مختلف با توجه به شرایط محیطی مانند توپوگرافی، جنس زمین، نوع و میزان خاک، مغذی بودن و شرایط اقلیمی مانند میزان بارندگی حداکثر و حداقل دما، انجام می گیرد. عملیات درخت کاری و بوته کاری را می توان با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی به اشکال مختلف نظیر بانکت کاری، سکوبندی و هلالی آبیگر و هم چنین بذرپاشی و بذرکاری اجرا نمود. از نکات مهم در این روش، وجود خاک مناسب برای رشد گیاه می باشد. در صورت عدم وجود خاک مناسب، می توان با تقویت خاک رویی^۱ و اضافه کردن خاک مرغوب، این معضل را برطرف نمود. در دامنه های سنگی نیز می توان با ایجاد و تعبیه گلدان های طبیعی یا همان گودال های موجود و اضافه کردن خاک مناسب، اقدام به کاشت درخت یا بوته کرد. بدیهی است، در عملیات درخت کاری و بوته کاری به منظور زیباسازی و بازسازی معادن در مناطق مختلف، بهترین و مطمئن ترین گونه گیاهی، گونه های گیاهی بومی موجود در منطقه می باشد. در دامنه ها و شیب های سنگی، می توان با احداث سکوبندی، فضایی محدود برای کاشت درخت یا درختچه و هم چنین گیاهان مرتعی ایجاد نمود [۱۳]. ج) سازه های کوچک آبخیزداری: به منظور زیباسازی شیب ها، دامنه ها و اراضی هموار محدوده ی معدن کاری، می توان از سازه های کوچک آبخیزداری نظیر خشکه چین، توری سنگی (گابیون) و حوضچه های آبیگر کوچک استفاده کرد. ۱- بندهای خشکه چین: بندهای کوتاه خشکه چین معمولاً روی آبراهه های درجه یک و دو (بر اساس طبقه بندی استرالز) احداث می شود. بر اساس توصیه های نشریه شماره ۴۱۶، بندهای خشکه چین در مکان هایی پیشنهاد می گردد که مساحت حوزه آبخیز آن کم تر از چهار هکتار و شیب آبراهه آن نیز کم تر از ۲۰ درصد باشد [۲۲]. حداکثر ارتفاع این بندها حدود یک متر است. بندهای خشکه چین تنها از روی هم قرار گرفتن قطعات سنگی و بدون استفاده از ملات، ساخته می شوند. از این رو، می توان از مواد باطله سنگی معادن استفاده و این سازه های کوچک را احداث کرد. توالی این سازه ها در زیبایی چشم انداز منطقه تأثیر بسزایی دارد. ۲- بندهای توری سنگی (گابیون): بندهای توری سنگی یا گابیون ها نیز از سازه های کوچک و متوسط آبخیزداری به شمار می آیند. هر چند می توان آن های را در ابعاد بزرگ نیز ساخت. بندهای توری سنگی در واقع یک قفس توری از جنس فلزات که با قطعات کوچک سنگ پر شده اند و در آبراهه های درجه دو و بالاتر (بر اساس طبقه بندی استرالز) قابل استفاده هستند. بر اساس توصیه های نشریه شماره ۴۱۶، بندهای توری سنگی در مکان هایی پیشنهاد می گردد که مساحت حوزه آبخیز آن حدود ۲۰ هکتار و طول آبراهه مورد نظر کم تر از یک کیلومتر باشد [۲۲]. این بندها همانند بندهای خشکه چین سازگاری و همخوانی زیادی با طبیعت دارند و قادرند به محیط پیرامون خود منظر چشم نواز بدهند. ۳- حوضچه های آبیگر کوچک: این حوضچه ها، حوضچه های

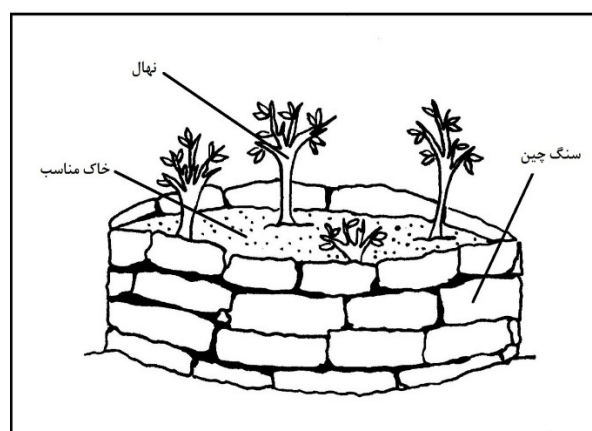
جمع بندی

اهمیت و نقش معدن و معدن کاری در پیشرفت کشور و رسیدن به توسعه ای پایدار و هم چنین نقش تخریبی و تأثیرگذاری آن بر سلامت و پایداری حوزه های آبخیز بر کسی پوشیده نیست. از این رو، نه می توان فعالیت های معدنی و معدن کاری را متوقف کرد و نه می توان بر اهمیت عرصه های منابع طبیعی و محیط زیست به عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار چشم پوشید. نقطه ی تعامل و تعادل این دو مقوله بازسازی و احیا معدن می باشد. بدین معنی که پس از بهره مندی از معدن کوچک و بزرگ، لازم است این معدن باهدف پایداری منابع طبیعی و محیط زیست بازسازی و احیا شوند و تا جایی که ممکن است شرایط تخریبی و آشفته گی های ایجاد شده، به حالت پیش از معدن کاری و یا نزدیک به حالت نخست برگردانده شود. شیوه های بازسازی معدن، شیوه هایی سازگار با طبیعت و هم راستا با سلامت و پایداری حوزه های آبخیز می باشند. این روش ها و تکنیک ها، از نظر اقتصادی ارزان و با صرفه، از نظر اجتماعی قابل قبول، از نظر زیباسازی چشم انداز و از نظر محیط زیست و منابع طبیعی سازگار، همسو و تأثیر گذار در حفظ، احیا و پایدار نگه داشتن عرصه های منابع طبیعی و محیط زیست می باشند. مهم ترین و کاربردی ترین روش ها و تکنیک های بازسازی معدن باهدف پایداری عرصه های منابع طبیعی و محیط زیست به شرح زیر می باشند: (۱) روش های مدیریت مواد باطله، (۲) احیای پوشش گیاهی و استقرار دوباره گیاهان، (۳) روش های گیاه پالایی، (۴) روش های ساماندهی رودخانه یا آبراهه، (۵) روش های حفاظت از درختان باقی مانده، (۶) ساخت مکان های ورزشی - تفریحی و (۷) روش های زیباسازی.

منابع

1. Alday, J., Mars, R. and Martinee, C. 2008. Hydro Seeded and Native Species on Coal Reclamation in Mediterranean Environment: Short – Term Species Responses the European. Conference on Ecological Restoration. Sept. 8-12- Ghent, Belgium.
2. Borka, G. 1984. Effect of Metallic Feroust form Dressing Works on the Growth, Devent, Main Metabolic Processes and Yield of Winter Wheat in Situ and Under Controlled Condifions. Environmental Pollution, 35, 67-73.
3. Bradshaw, A. 1997. Restoration of Mind Land – Using Natural Processes. Ecological Engineering. Vol.8.
4. Chaney, R.L. 1983. Plant Uptake of Inorganic Waste Constitutes. Park ridge, NJ, no yes data corp, 50-76.
5. Fellet, G., Marchiolm, L., Delle. G., and Peressitti,

کوچک هستند که قادر به جمع آوری و انباشت آب باران و روانابها در خود می باشند. حوضچه های آبگیر کوچک در ابعاد مختلف ساخته می شوند و در ارتفاع خاک ریز یا دیواره آن ها حداکثر یک متر است. حوضچه ها علاوه بر جنبه زیباسازی محیط، به دلیل جمع آوری آب، محل مناسبی برای تأمین آب آشامیدنی پرندگان و حیوانات وحشی و هم چنین دام حوضه نشینان می باشند. معمولاً دامداران محلی از احداث این گونه ها استقبال می کنند [۱۳]. د- درختکاری در مسیر جاده های دسترسی: جاده های دسترسی به معدن یکی از عوامل بسیار تأثیر گذار در تخریب پوشش گیاهی، ایجاد فرسایش، تولید رسوب و نازیباسازی منظر و چشم اندازهای طبیعی به شمار می آیند. از این رو، یکی از اقدامات مهم و تأثیر گذار در روند بازسازی معدن، زیباسازی و ترمیم بیولوژیکی و مکانیکی جاده های دسترسی به معدن می باشد. از متداول ترین روش های زیباسازی در بازسازی معدن، کاشت درخت در دوسوی جاده های دسترسی بوده که با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی منطقه انجام می شود [۱۳]. ه- ساخت محدوده های درختکاری: ساخت محدوده های درختکاری که به صورت باغچه های کم مساحت می باشند. یکی از روش های زیباسازی به شمار می آیند. به منظور ساخت این محدوده ها، نخست در اراضی هموار تا نسبتاً هموار محدوده ی معدنکاری، به وسیله سنگ چین کردن و چیدمان قطعات سنگ های بزرگ و متوسط به شکل محدوده های بسته، محوطه سازی صورت می پذیرد. در مرحله دوم، محدوده ی بسته شده به وسیله سنگ چین، از خاک منطقه یا خاک زراعی پر شده؛ سپس کاشت درختان بومی در محوطه ی احداث شده، انجام می گیرد [۱۳]. شکل ۷، نمایی شماتیک از محدوده های درختکاری شده در محوطه های احداث شده را نشان می دهد. سنگ های مورد نیاز برای محوطه سازی و سنگ چین کردن بهتر است از سنگ های باقی مانده از مواد باطله استفاده شود. مساحت محدوده های ساخته شده کاملاً اختیاری بوده و بسته به شرایط محیطی و اقلیمی دارد.



شکل ۷: نمایی شماتیک از محوطه سازی توسط سنگ چین کردن و درختکاری [۱۳]

16. Orei, K. 2005. Economics of mineral tailings restoration - Mo dares Technical and Engineering Journal, 18, 76-67. (In Persian)
17. Oruvka, L., Kozak, J. and Drabak, O. 2012. Effect of Covering with Natural to spoil as a Reclamation Measure on Brown-Coal Mining Dumpsites. Journal of Geochemical Exploration, 113, 18-123.
18. Pilosmits, E. 2005. Phytoremedition – Annual Review of Plant Biology 56:15-39.
19. Prach, K., and Hobbs, R. J. 2008. Spontaneous Succession Reruns Technical Reclamation in the Restorion of Disturbed Sites. Restoration Ecology, 16, 363-366.
20. Ram, L. and mastor, R. 2010. An Appraisal of the Potential Use of Fly Ash for Reclaiming Coal Mine Spoil. Journal of Environment Management, 91, 603-617.
21. Razi-Kord-Mohalla, L. 2005. Investigating the types of plant remediation methods of soil contaminated with heavy metals and the technologies of consuming its contaminated plant products. The first environmental engineering conference. (In Persian)
22. The Planning and Budget Organization .2008. The design and guidance of the implementation and maintenance of flood and sediment control structures (corrective paragraphs) - Journal No. 416.
23. Vidali, M. 2001. Bioremediation, an Overview, Pure Applied Chem, 73, 163-1172.
- Vinita, B. 2007. Phytoremediation of Toxic Metals Form Soil and Waste Water. India Journal Environmental Biology, 28, 367-376.
24. Wang, S., and Zhang, H. 2011. Sustainability Evaluation for Land Reclamation in Mining Area: A Case Study of Gnogino Boxite Mine. Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 20, 506-515.
- A. 2011. Application of Bio char on Min Tailings: Effects and Perpeclives for Land Reclamation. Chemosphere 83, 1-40.
6. Hodacova, D., and Prach, K. 2003. Spoil Heaps From Brown Coal Min: Technical Reclamation Versus Spontaneous Reregulation. Restoration Ecology, 11, 1-7.
7. Juworkar, A., and Jambhulkar, H. 2008. Phytoremed Iation of Coal Mine Spoil Dump Through Interated Biotechno Logical Approach. Bio resource Technology, 9, 4732-4741.
8. Kemari, A., and Farshadfar, M. 2012. New plant breeding technology to create a sustainable environment - Biosafety Neighborhood, 5 (2), 107-121.(In Persian)
9. Lashgari, N., Ghorbani, J., Zali, S. J., and Vahabzadeh, Q. 2014. Evaluation of the revitalization potential of vegetation in coal mineral tailings (Case study: Mines of Karfard Swadkoh region) - Environmental Journal - 41 (4), 770-757. (In Persian)
10. Mehrabi, G., Musi-Nejad, A., and Mousinejad, M. 2011. Using plants to remove soil pollution - the first national plant remediation conference - Kerman - International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences.
11. Milton, A. 2005. Mechanisms of Plant Resistance to Metal and Metalloid Lon's and Potential. Biotechnological applications plant and soil. 275(2), 163-174.
12. Moeini, M., and Farah Bakhsh, A. N. 2006. Plant removal of heavy metals from soil - Proceedings of the applied conference of new technologies in agriculture - Islamic Azad University of Shiraz - Shiraz. (In Persian)
13. Moghim, H. 2022. Reconstruction of mines. Azardad Publications. 123 Pages. (In Persian)
14. Mulligan, C., Young, R., and Gbbs, B. 2001. Remediation Technological for Metal – Contaminated Soils and Ground Water: An Evaluation – Engineering geology, 60,193-207.
15. Naeth, M., and Wilkinson, S. 2013. Can We Build Better Compost? Use of Waste Dry Wall to Enhance Plant Growth of Kochia Prostrate and Kochia Scenario under Salinity. Journal of Arid Environments. 75, 532-537.



Abstract

Reclamation of Mines (part III): Methods and Techniques of Revitalization and Reclamation of MinesH. Moghim¹

Received: 2024/03/24 Accepted: 2024/07/20

Considering the important and influential role of mining and its related industries in the development of the country and the importance of natural resources and the environment and the need to preserve and maintain it, the only way to benefit from the positive effects of mining combined with preservation and protection From natural resources, it is establishing balance and creating interaction between these two categories. The reclamation and restoration of mines and the maximum restoration of mining areas are aimed at the sustainability of natural resources and environment. According to the consensus of experts and experts related to this category, the point of commonality and mutual understanding of these two sectors is the only attention and action to the real concept of "sustainable development". According to new scientific concepts and within the framework of the real and scientific concept of sustainable development, one of the most important measures that can minimize the conflict between the two sectors of natural resources and mining is to carry out restoration and reconstruction. Mines are after exploitation. In this article, the methods of mine restoration with the aim of sustainability of natural resources and the environment, including methods of managing waste materials, revitalizing vegetation and reestablishing plants, plant treatment methods, river management methods, methods of protecting the remaining trees, construction of sports-recreational places and beautification methods have been introduced and explained. The choice of the method for mine reconstruction depends on the conditions of the mine and the type and extent of its damage.

Keywords: Comprehensive management, Mining, Sustainable development, Watershed health, Watershed management.

1. Graduated with a doctorate in watershed science and engineering, expert of the General Directorate of Natural Resources and Watershed of Fars province (Hassan_Moghim@yahoo.com)