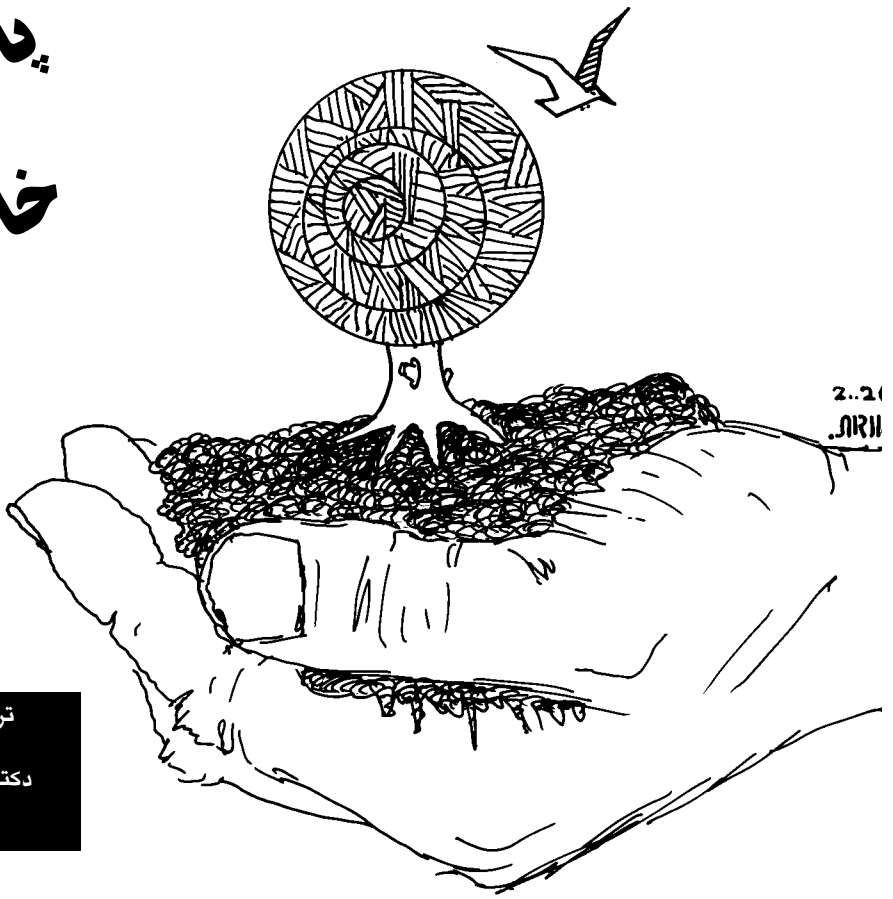
پالایش سبز

پالایش گیاهی خاکهای آلوده ورسوبات



ترجمه: آرش ذامیادی دانشجوی مهندسی آبیاری
دکتر عبدالمجید لیاقت عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

جداسازی، نگهداشت، یا پالایش آلاینده‌های مخرب محیط زیست به وسیله گیاهان سبز را پالایش‌سبز می گویند. این تعریف برای تمامی فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی گیاهی که به پالایش‌خاکهای آلوده کمک کنند، به کار برده می‌شود (Berti, ۱۹۹۳ Cunninghum). این روش، ایده‌جدیدی نیست. بیش از ۳۰۰ سال است که به کارگیری گیاهان برای بهسازی فاضلاب تجربه می‌شود.روش‌های پالایش گیاهی برای مواد لایروبی شده، گلهای روان وخاکهای آلوده به فلزات از اواسط دهه هفتادمعرفی گردیده‌اند. از پالایش سبز همچنین برای کنترل آلودگی هوای داخلی اماکن و هوای شهرها استفاده‌شده است. پیشرفت فن آوری و جستجو جهت یافتن راه حلهای اقتصادی و سالم، پالایش سبز را مجددا درکانون توجه قرار داده است. از این نوع گیاهان به صورت توام با گیاهان بومی هر منطقه، در فرآیندهای‌پالایش تثبیتی و آلاینده زدایی خاکهای آلوده می‌توان استفاده کرد. این مقاله به بررسی پالایش خاکها ورسوبات آلوده توسط عوامل گیاهی می‌پردازد.

برنامه‌های پالایش محلی

فن آوریهای بسیاری در اختیار کاربران روش پالایش در محل می‌باشد. ولی برنامه‌های پالایش درمحل، یا از طریق تثبیت آلاینده‌ها (تحت عنوان تثبیت) یا از طریق کاهش آلاینده‌ها (تحت عنوان پاکسازی)آلودگی را کنترل می‌کنند. در روش تثبیت آلاینده، هیچ گونه کاهش عملی در میزان آلاینده‌ها مشاهده‌نمی‌شود، لیکن احتمال خطرات بهداشتی و زیست محیطی آلاینده‌ها در محل تا حدود قابل قبولی کاهش‌می‌یابد. سازه‌های محدود کننده نظیر گنبدها و دیوارهای جداسازی هیدرولیکی، نمونه‌هایی از روش‌های‌مهندسی در این مقوله می‌باشند. توسعه روش‌های تثبیت خاک با تکیه بر تغییرات شیمی خاک و رشدگیاهان، از جدیدترین شیوه‌ها بشمار می‌رود. روش‌های کاهش آلاینده در محل شامل تجزیه میکربی،شستشوی سریع خاک، تخلیه، گرمادهی و الکترواسمز می‌باشند. روشهای آلاینده زدایی گیاهی از جدیدترین‌فنونی هستند که موجب کاهش آلاینده‌ها در محل می‌شوند.

گیاهان به عنوان سازه‌های مهندسی

برای تغییر دیدگاه معمول ما از گیاهان زراعی و به منظور تشریح ایده پالایش سبز برای آن دسته ازمتخصصانی که با اصطلاحات فنی مهندسی آشناترند، معمولا گیاهان را در قالب اصطلاحات مهندسی بیان‌و تفسیر می‌نمایند. در اساسی‌ترین مرتبه، گیاهان سبز سیستمهای خورشیدی پمپاژ و تصفیه می‌باشند که ازظرفیت ذخیره ذاتی و تجزیه کنندگی قابل توجهی برخوردارند. ریشه‌های گیاهان جاذبهایی جستجوگر برای‌یافتن آب می‌باشند که می‌توانند عناصر و ترکیبات را برخلاف شیبهای شیمیایی بزرگ کشف، جایگزین و یاجابه جا نمایند. سطوح ریشه گیاهان، غشایی از باکتریهای فعال و عوامل قارچی را در

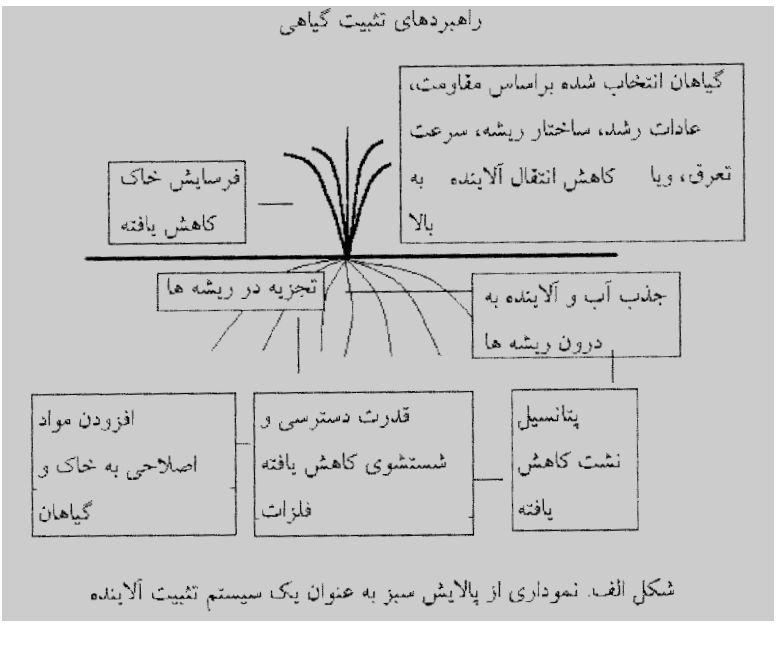
مجاورت خود نگهداری‌می‌کنند. این عوامل، مشخصا سطح تماس ریشه با خاک و ظرفیت سوخت و ساز آن را افزایش داده که قادرندعوامل فیزیکی و شیمیایی خاک را دگرگون سازند (Cuningham Berti, ۱۹۹۳).

ارتباط گیاهان با آلودگیهای زیست محیطی مقوله جدیدی نیست و در طول دوره رشد، گیاهان‌مکانیزمهای مقاومی را جهت بقا و تحمل آلودگیهای زیست محیطی توسعه می‌دهند. در بیشتر زیست‌محیطها، انواع گوناگونی از سموم آلی و فلزی مرتبا به گیاهان تحمیل شده که در چنین شرایطی مکانیزمهایی‌نیز برای سازگاری، بقا و حتی شادابی گیاه ایجاد شده است. برخی از عوامل بیماریزای گیاهی، میکربهای خاک‌و علفهای هرز، انواع مختلفی از ترکیبات آلی سمی تولید می‌کنند که گیاهان، درگیر مبارزه با آنها می‌شوند. درگیاهانی که در خاکهای معدنی آهندار روییده‌اند، سازگارهایی برای بقا ایجاد شده است. در برخی گیاهان‌اجزایی در ریشه رشد می‌کنند که جابه جایی فلزات در ریشه و انتقال آنها را به اندامهای فوقانی و داخل‌برگهای گیاه که احتمال صدمه دیدن آنها می‌رود، محدود می‌کنند. چنین گیاهانی برای روشهای تثبیتی‌مناسب می‌باشند. در سایر گیاهان، رشد می‌کنند. این گیاهان می‌توانند در محیطهایی نامساعد که اغلب‌گیاهان قادر به ادامه زندگی در آنها نمی‌باشند، رشد کنند. کارآیی گروه اخیر گیاهان در روش کاهش آلاینده‌ها،در حال بررسی است. سازگاریهای بوجود آمده در گیاهان برای تحمل شرایط خاکهای آلوده، در مباحث زیربررسی خواهد شد.

پالایش به وسیله تثبیت آلاینده

کنترل جریان ورودی و خروجی آب در یک منطقه، مهمترین بخش هر برنامه تثبیت می‌باشد. گیاهان‌در جستجو و پاکسازی آب مهارت داشته و از آنها در هر دو جهت استفاده شده است(Shimpet al.,1992)گیاهان همچنین فرسایش خاک و جابه جایی آلاینده‌ها به خارج از محدوده خود را کنترل می‌کنند. همچنان‌که معمولا در بسیاری از جاها از گیاهان برای پوشش استفاده می‌کنند. به علاوه اغلب از گیاهان برای حفاظت‌آبراهه‌ها و خاکریزها استفاده می‌شود (Licht, ۱۹۹۳). شرکتهای خاص تولید بذر، بذر علفهای مقاوم رابرای این اهداف تامین می‌کنند. ریشه‌های گیاهان بویژه در زمینهای مرطوب تراکم یونها را جابه جا کرده وتوان نهفته موجود در اطراف ریشه‌هایشان را در اثر اکسیداسیون کاهش می‌دهند. آنها در چنین فعالیتی‌لایه‌های زیرین خاک را اصلاح کرده و از جابه جایی آلاینده‌ها توسط آب نفوذ کرده از محدوده زمینهای مرطوب، جلوگیری می‌کنند (Wenzel et al, ۱۹۹۲). این پدیده در بسیاری از طرحهای پالایش فاضلاب‌که دارای زمینهای مرطوب طبیعی و مصنوعی هستند همچنین در بستر نیزارها برای بهسازی، به کار گرفته‌می‌شود. همچنین در بسیاری از طرحهای پالایش، گیاهان آلاینده‌های زنده موجود را به داخل ریشه‌ها جذب‌می‌کنند. انتخاب گیاهانی با محدودیت انتقال مواد به برگها، به پیشرفت روش تثبیت کمک می‌کند. شکل الف‌دید جامعی از چنین روش تثبیتی را بیان می‌کند. در پالایش تثبیتی می‌توان با انجام تغییراتی در خاک که‌موجب کاهش حلالیت آلاینده‌ها می‌شوند، قابلیت جابه جایی آلاینده‌ها را کاهش داد. این تغییرات شامل‌افزودن عوامل قلیاساز، فسفاتها و مواد آلی برای تبدیل مواد سمی به مواد نامحلول و دور از دسترس برای‌فرونشت و جذب گیاهی، می‌باشند. به علاوه، می‌توان گیاهانی با اجزای خاص برای مقابله با تراکم بیش ازحد آلاینده‌ها در خاک به منظور توقف بیشتر آلاینده‌ها، کشت نمود. برای مثال فلزات سنگین و مواد آلی‌چربی‌گرا را می‌توان با قابلیت جابه جایی ناچیز در سیستم گیاه یا خاک، متوقف کرد (Bell, ۱۹۹۲). علاوه براین بیشتر گیاهان مقاوم محیطهای آلوده را در برابر فرسایش باد و باران، تثبیت می‌کنند.

پالایش سبز به عنوان یک تکنیک تثبیتی به مقدار زیادی از پژوهشهای قبلی درزمینه کشت مجدد زمینهای‌لخت معادن رها شده، بهره برده است. برای مثال از گیاهان مقاوم به فلزات مانند Festuca rubra (نی‌سرخ)، برای کاشت و کنترل فرسایش خاک در معادن فلز و آب بندهای



شکل الف. نموداری از پالایش سبز به عنوان یک سیستم تثبیت آلاینده

تخریب شده، استفاده شده است. این گیاهان مقادیر زیاد فلزات را به برگهای خود منتقل نمی‌کنند بنابراین می‌توان از آنها در راهبردهای مدیریت‌چرا برای خاکهای شدیدا آلوده در بریتانیا استفاده نمود. چرای حیوانات در این زمینهای اصلاح شده به‌دوره‌های کوتاه مدت محدود شده و حیوانات به تناوب برای تامین باقیمانده نیاز غذایی به زمینهای غیرآلوده‌برده می‌شوند.

مثال دیگر از اینگونه راهبردها توسط (۱۹۹۱ ,.Brandon et al) برای مواد اسیدی لایروبی شده و آلوده‌به فلز که در یک محیط تخلیه بالادست جای گرفته بودند، بیان شده بود. مواد اصلاحی مثل آهک (دانه‌های‌درشت سنگ آهک)، کود اسب و گیاهان مقاوم به اسید /فلز برای کنترل حلالیت فلزات و برای پوشش‌رسوبات استفاده شده است. قطعات شاهد که هیچگونه اصلاحاتی روی آنها انجام نشده، در ۶ سال گذشته‌روان آبی شدیدا فلزی و اسیدی با pH ۵، ۳ که از استانداردهای کیفیت آب تجاوز کرده است، تولید کرده‌اند.قطعاتی که در آنها اصلاحات و کاشت گیاهان مقاوم به اسید /فلز صورت گرفته است، روان آب سطحی باکیفیت آب قابل قبول‌تری تولید کرده‌اند.

اصلاح خاکهای آلوده به فلز با پالایش سبز

جذب هر فلز توسط گیاه بستگی به دسترسی میکروارگانسیم‌ها به فلز در محیط آلوده دارد. تغییرات شیمی‌خاک مانند کاهش pH یا محدود کردن ورود آنیون به سیستم می‌تواند قابلیت دسترسی به فلزات را برای‌جذب ریشه افزایش دهد. بسیاری از گیاهان را می‌توان در برخی شرایط خاک به جذب مقادیر قابل توجه‌فلزات وادار کرد. تغییرات در وضعیت میکربی خاک اطراف ریشه گیاه (برای مثال، وجود مایکوریزا) می‌تواندتاثرات فراوانی را (مثبت و منفی) بر جذب فلز توسط ریشه‌های

گیاهان مرتبا مورد هجوم انواع مختلف ترکیبات آلی فعال بیولوژیکی قرار می‌گیرند. بسیاری از آفات گیاهی(قارچها، باکتریها و عفلهای هرز) رسته گسترده‌ای از عوامل ضدحیاتی را تشکیل می‌دهند که در گیاهان‌نسبت به آنها سازگاری و مقاومت، پیدا کرده‌اند. اخیرا با توسعه صنعت آفت کشها، ظرفیت متابولیکی سیستم‌گیاهی شناخته شده است. بیشتر علف کشهای جدید براساس تفاوتهای متابولیکی گونه‌های گیاهی به صورت‌انتخابی عمل می‌کنند. این قابلیت موجب رونق بازار چند میلیارد دلاری سموم انتخابی شده است.

گیاه اعمال نماید. به هر حال پژوهشگرانی که‌در این زمینه فعالیت می‌کنند تنها بر اقتصادی بودن پالایش سبز از طریق گیاهانی که در این ظرفیت بالایی‌از ذخیره کردن آلاینده‌ها هستند (ulator-hyperaccum) اتفاق نظر دارند.

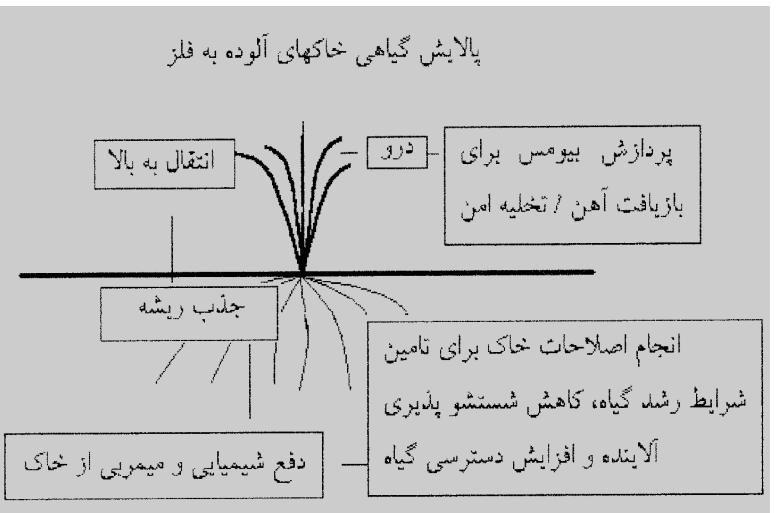
گیاهانی وجود دارند که تراکم بیش از حد فلزات در خاک را با جذب، جابه جایی و ذخیره، تحمل می‌کنند.بسیاری از این گیاهان در خاکهای غنی از فلزات رشد و نمو کرده‌اند. پژوهشهای انجام شده در دو دهه اخیرنشان داده‌اند که گیاهان ویژه توانایی انباشت فلزات سنگین تا ۳ درصد (وزن خشک گیاه) و تا ۲۵ درصد (وزن‌خشک گیاه) در عصاره / شیره گیاهی بدون هیچگونه آسیب دیدگی را دارند: (Baker et al., ۱۹۹۰)(Baker Walker, ۱۹۹۰.) گیاه شناسان گونه‌های مشابه گیاهان رادَر بسیاری از کشورها مانند بریتانیا،آلمان، اتریش، اسپانیا، فرانسه، ایتالیا، بلغارستان، یونان، چک، اسلواکی، کنگو، جزایر فیلیپین، کالدونیای‌شمالی، نیوزیلند، ژاپن و ایالات متحده، شناسایی کرده‌اند. این نویسندگان وابستگی انباشت عناصر را به گیاه،فلز و شرایط محیط زیست گزارش کرده‌اند. ساختارهای حاکم بر تحمل شگرف و جذب تراکم بیش از حدفلزات به داخل برگهای گیاهان، موضوع پژوهشهای متعددی بوده است (۱۹۹۰ ,.et al Verkleij)(۱۹۹۱ ,.Gabbrielli et al) ساختارهای تحمل، تراکم روی در جدار سلولی، ترکیب نیکل با پکتین درسلولهای درشت، ترکیب حلقوی نیکل، کبالت و روی با مالیک اسید، ترکیب روی با ژله گیاهی، ترکیب حلقوی‌نیکل با سیترات و ترکیب کبالت با کریستالهای کلسیم اکسالایت در بافتهای گیاهی، را شامل می‌شوند.شناخت ساختارهای مقاومتی، به شناسایی خصوصیات ژنتیکی لازم برای انتقال فلزات قابل تحمل به‌گیاهانی با توانایی رشد متراکم‌تر و خصوصیات ریشه‌ای عمیق‌تر، کمک می‌کند. پیشنهاد شده است که برای‌اصلاح خاکهای آلوده به فلز از گیاهان ذخیره کننده استفاده شود (۱۹۹۱ ,.Baker et al). مرجع اخیرهمچنین پیشنهاد کرده است که در برخی موارد می‌توان بیومس مملو از فلز تولید شده (سنگ آهن زنده)راخاکستر کرده و نسبت به بازیافت اقتصادی فلزات اقدام نمود. همچنین امکان به کارگیری استخراج‌بیولوژیکی فلزات به عنوان یک شیوه استخراج، برای فلزات با ارزش اقتصادی خاص، وجود دارد (شکل ب).همراهسازی گیاهان خازن بالا با بیومس زیاد و سیستمهای عمیق ریشه‌ای به همراه مهندسی ژنتیک ممکن‌است به تولید نوعی فن آوری پالایش کارآ، بینجامد. بسیاری امیدوارند که بتوان این تکنیک را به عنوان یک‌تکنیک اقتصادی، پایدار و پالایش در محل برای بسیاری از زمینهایی که در آنها فن آوریهای بسیار گرانترپاکسازی موجود می‌باشند، استفاده نمود. دانشمندان گیاه و خاک در حال توسعه فن آوریهایی هستند که درصورت ترکیب و نتیجه دهی، وجود محصولات ژنتیکی پالایش سبز را در آینده‌ای نزدیک ممکن خواهندساخت.

جداسازی، نگهداشت، یا پالایش آلاینده‌های مخرب محیط زیست به وسیله گیاهان سبز را پالایش‌سبز می‌گویند. این تعریف برای تمامی فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی گیاهی که به پالایش‌خاکهای آلوده کمک کنند، به کار برده می‌شود.

پالایش سبز خاکهای آلوده به مواد آلی

گیاهان مرتبا مورد هجوم انواع مختلف ترکیبات آلی فعال بیولوژیکی قرار می‌گیرند. بسیاری از آفات گیاهی(قارچها، باکتریها و عفلهای هرز) رسته گسترده‌ای از عوامل ضدحیاتی را تشکیل می‌دهند که در گیاهان‌نسبت به آنها سازگاری و مقاومت، پیدا کرده‌اند. اخیرا با توسعه صنعت آفت کشها، ظرفیت متابولیکی سیستم‌گیاهی شناخته شده است. بیشتر علف کشهای جدید براساس تفاوتهای متابولیکی گونه‌های گیاهی به صورت‌انتخابی عمل می‌کنند. این قابلیت موجب رونق بازار چند میلیارد دلاری سموم انتخابی شده است.

با استفاده از این آفت کشها، گیاهان مطلوب، به سرعت سم را به ترکیبی غیرسمی تجزیه کرده، در حالی که‌علفهای هرز نامطلوب قادر به



شکل ب . نموداری از شیوه های گیاهی آلاینده زدایی خاک

این کار نبوده و در نتیجه نابود می‌شوند. این قابلیت متابولیکی گیاهان فراگیر،ضروری و اجباری می‌باشد (Hatzios Hoagland, ۱۹۸۹). گیاهان همچنین قابلیت خود را برای‌پالایش خاکهای آلوده ثابت کرده‌اند. در این راهبرد پالایشی، گیاهان آلاینده‌ها را از خاک جذب و آنها را به‌مواد غیرسمی تبدیل می‌کنند و یا در داخل ترکیب یک سلول ثابت قرار خواهند داد (برای مثال لیگنین).قابلیت گیاهان در سمزدایی آفت کشها به شکل گسترده‌ای تشخیص داده شده است. مشابه سیستمهای دفع‌سموم پستانداران، گیاهان به عنوان کبدهای سبز زمینی نیز توصیف شده‌اند (۱۹۹۲ ,Sandermann). باافزایش دانش مهندسی ژنتیک، بسیاری از پژوهشگران شروع به ترکیب ژنهای متابولیکی اکاریوتیک وپروکاریوتیک (prokaryotic eukarytic) در داخل کرموزمهای سلول جنسیَ گیاهی کرده‌اند. یکی ازاهداف فعلی موردعلاقه صنعت آفت کشها، تولید گیاهانی با مقاومت بیشتر نسبت به آفت کشهای شناخته‌شده موجود می‌باشد تا بتوان استفاده آفت کشها را به شرایط گسترده‌تر کشاورزی، توسعه داد. ممکن است‌بسیاری از ایده‌ها، فنون و فرضیه‌هایی که از آنها برای تولید گیاهانی با قابلیت فزاینده دگرگون‌سازی سموم‌استفاده می‌شود. جایگاهی در بازار پالایش پیدا کنند. امتیازات انحصاری نیز در این زمینه مطرح شده‌اند.

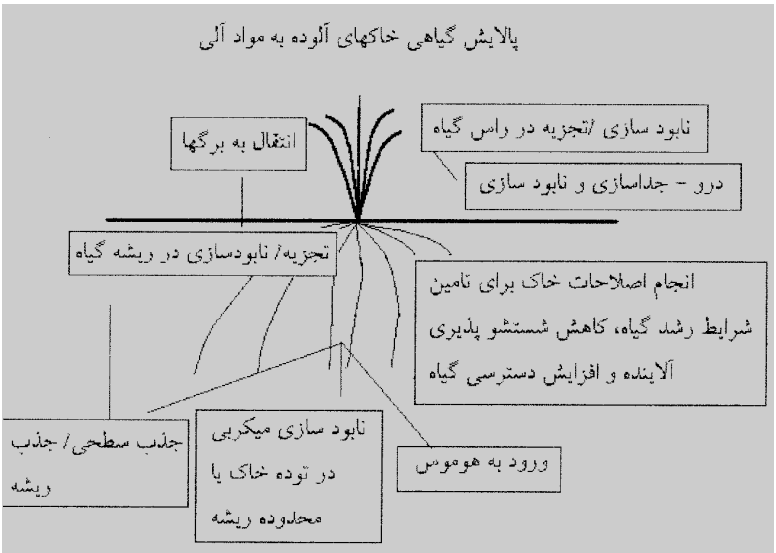
با وجود قابلیت دگرگون سازی آفت کشها، گیاهان معمولا ارگانیسم‌هایی سازنده هستند و نه مخرب. درمقایسه با سوخت و ساز میکروبها، گیاهان در گستره باریکتری از مواد فعالیت کرده، مراحل تجزیه ساده‌تری‌را تکمیل می‌کنند و معمولا آفت کشها را به نمونه‌ای مولکولی تجزیه نمی‌کنند. درک ذاتی و منطقی بر ترکیب‌شالوده‌های مهندسی و طبیعت گیاهان اتوتروفیک با ظرفیت تجزیه ساز میکربها حکم می‌کند. چنین ترکیب‌گیاه میکربی در ناحیه فعال بیولوژیکی اطراف ریشه‌های گیاه (phere-rhizos) وجود دارد. نخستین‌پژوهشهای انجام شده در این زمینه امیدوارکننده بوده‌اند (Anderson,Walton,۱۹۹۲) تصور می‌شود که‌تجزیه آلاینده‌هایی که معمولا موجودیت میکربی ضعیف‌تری دارند، در منطقه فعال ریشه (rhizosphere)روی می‌دهد؛جایی که امکان جدا کردن بیش از ۲۵ درصد کل بیومس گیاه وجود دارد. فعالیتهای پژوهشی‌اخیر در مورد محدوده ریشه‌ها شامل انتخاب گیاه، نمونه‌های جایگزین ریشه‌ای، ترکیب ترحشات ریشه گیاه واثر آن بر مجموعه‌های میکربی، ترشح ترکیبات ویژه برای درک چگونگی سوخت و ساز میکربی و تزریق‌میکربهایی با قابلیت نابودسازی موثر آفت کشها به محیط ریشه، می‌شود (Kinsley et al., ۱۹۹۳).

گیاهان و ریشه آنها در خاک محیطی مملو از فعالیت میکربی ایجاد می‌کنند، که می‌تواند آلاینده‌های آلی راتغییر داده و یا تجزیه آلاینده‌های آلی نظیر هیدروکربن نفتی را افزایش دهد. در رسوبات دریاچه‌ای که آلوده‌به هیدروکربنهای نفتی می‌باشند پس از استقرار رسوبات در تخلیه گاههای بالادست و کاشت علفهای برمودا،کاهشی به میزان ۸۰ درصد در هیدروکربنهای نفتی مشاهده شده است (۱۹۹۴ ,.Skogerboe et al).پیشنهاد شده است که از رسوبات بازیافت شده به عنوان خاک در اطراف دریاچه‌ای که رسوبات از آن برداشت‌شده بودند، استفاده شود (شکل پ).

جهت پیش بینی استفاده و کارآیی پالایش سبز خاکهای آلوده شدیدا به مطالعه، توسعه و ثبت آفت کشهای‌مصرفی در خاک، پرداخته شده است. با استفاده از مدلهای موجود، جذب و جریان آلاینده‌ها در داخل گیاه(Ritchie, ۱۹۹۱ Hanks)، می‌توان اقدام به نتیجه گیری کلی کرد. صنعت آفت‌کشها معمولا سعی‌دارد با استفاده از پارامترهای نسبتا ساده قابل اندازه‌گیری، سرنوشت و اثر یک آفت کش را پیش‌بینی نماید.،ضریب کسر اکتان آب (Kow)یکی از این پارامترهای کارآمد می‌باشد.

آلاینده‌هایی با ۱ « log Kow قابلیت حلالیت بالایی در آب داشته و پیش بینی می‌شود که در صورت نبودسیستم تثبیت هیدرولوژیکی و شرایط ریزش محدود باران، موجب آلودگی آبهای زیرزمینی شوند. به علاوه،گیاهان معمولا این ترکیبات محلول را با نسبتی کمتر از آب جذب می‌کنند. معمولا ترکیباتی با چنین حلالیت‌بالایی، در آوندهای گیاه، متحرک به حساب می‌آیند. در برخی موارد این امر ممکن است به تراکم فرعی‌بینجامد. به هر حال علم گیاهشناسی، شیمی و فیزیک اظهار می‌دارند که در چنین شرایطی (وجود ترکیبات باحلالیت زیاد) کارآیی پالایش سبز کاهش می‌یابد. مقدار جذب ترکیبات چربی دوست (log Kow در حدود ۱تا ۴) بوسیله ریشه گیاهان کمی بیشتر بوده و به نظر می‌رسد که این ترکیبات در آوندها متحرک اما در الیاف‌نامتحرک باشند. این است که در این گستره (۵، ۲ تا ۴) بسیاری از آفت کشهای بکار برده شده در خاک، یافت‌می‌شوند. شاید این بهترین دلیل بر خصوصیات فیزیکی این ترکیبات باشد که به آنها اجازه جابه جایی درمحدوده خاک، جذب بوسیله ریشه و تداخل مناسب در سازکار سوخت و ساز گیاه را می‌دهد. بنابراین این گونه‌مواد ترکیبات مناسبی برای پالایش سبز می‌باشند و بسیاری از آلاینده‌های پیشین در این گستره یافت‌شده‌اند. با توجه به نتیجه جذب محدود این مواد، پیش‌بینی می‌شود که ترکیبات باز هم موجب بروزمشکلاتی در آبهای زیرزمینی شوند. بنابراین کارآمدی پالایش سبز به عنوان یک شیوه پالایش، به نوع‌خاک، بارندگی، چگونگی ورود ماده به محیط زیست، سمشناسی و شرایط معمول محل بستگی دارد.

ترکیبات چربی دوست (۴ « log Kow) جذب ریشه و خاک می‌شوند (Bell, ۱۹۹۲). این ترکیبات اساسی به قسمت هوایی گیاه منتقل نمی‌شوند. تکنیک‌های برداشت ریشه در پالایش سبز (Bell, ۱۹۹۲)(McMullin, ۱۹۹۳)کشف شده‌اند. به نظر می‌رسد که مشکل اصلی در این روش عدم تحرک نسبی‌آلاینده در کالبد خاک و



شکل پ . نموداری از آلاینده زدایی خاکهای آلوده به مواد آلی

پالایش سبز به عنوان یک فن آوری تثبیتی به اطلاعاتی از شیمی خاک و میکروبیولوژی برای پیش بینی‌اندازه نسبی تثبیت، پیش بینی جابه جایی مواد در خارج از محل و تعیین احتمال خطر نسبی برای فن آوری‌پالایش و محل نیاز دارد. کاشت گیاهان با قدرت انتقال کم، در خاکهایی که در آنها آلاینده‌ها با روشهای‌شیمی و میکروبیولوژی خاک تثبیت شده، اخیرا به عنوان یک فن آوری پالایش پذیرفته شده است.

امکان تماس نیروی کار با آلاینده باشد، که راه حلهایی برای تامین این اهداف ارایه‌شده‌اند. راه حل ممکن دیگر برای تجزیه این ترکیبات، متکی به ظرفیت تجزیه کنندگی ریشه و محیط ریشه(rhizosphere) می‌باشد، (Banks, ۱۹۹۴ Schwab). بیشتر آلاینده‌های اولیه درَ pHهای‌فیزیولوژیکی منطقی قابل یونیزه شدن نیستند. هنگامی که مواد یونی باشند، چگونگی تحرک آنها هم درخاک و هم در گیاه تغییر می‌کند. قاعدتا ترکیبات فرار (برای مثال علف کش ترفلان) تحت این شرایط بایدنامتحرک باشند، با وجود این در حالت فرار این مواد می‌توانند در فضای خالی خاک حرکت کنند و به وسیله‌ریشه‌ها جذب شوند. موارد مشابه نیز در محدوده پالایش سبز اجتناب ناپذیر بوده و تا حدودی براساس ثابت‌قانون هنری برای آلاینده موردنظر، قابل پیش بینی هستند. معلوم شده است که بسیاری از خصوصیات‌خاک، گیاه و ریشه گیاه اثرات متقابل گیاه با هر ترکیب دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. (et al, Hsu.e.g)(1990) اما به پژوهشهای بسیار گسترده‌تری در این زمینه نیاز است. داده‌ها در شکل پ بسیاری از مطالب‌بالا را در قالب یک نمایش برنامه ریزی شده ارایه می‌دهد.

زمینه فعالیتهای پژوهشی

پژوهش درزمینه پالایش سبز نخستین مراحل خود را طی می‌کند. گستره وسیعی از پژوهشهای تئوری وعملی برای جایگزین کردن این فن آوری و بکارگیری آن در زمینهای مختلف لازم است. برای طراحی،انتخاب و توسعه منطقی راهبردهای پالایش سبز به درک بیشتری از فیزیولوژی، بیولوژی مولکولی وشیمیایی جذب، انتقال و سم زدایی آلاینده‌ها بوسیله گیاهان نیاز می‌باشد.

پالایش سبز به عنوان یک فن آوری تثبیتی به اطلاعاتی از شیمی خاک و میکربیولوژی برای پیش بینی‌اندازه نسبی تثبیت، پیش بینی جابه جایی مواد در خارج از محل و تعیین احتمال خطر نسبی برای فن آوری‌پالایش و محل نیاز دارد. کاشت گیاهان با قدرت انتقال کم، در خاکهایی که در آنها آلاینده‌ها با روشهای‌شیمی و میکربیولوژی خاک تثبیت شده، اخیرا به عنوان یک فن آوری پالایش پذیرفته شده است، که اساس‌آن در حدود ۵۰ سال قدمت دارد. کارهایی باید برای برقراری موافقت‌نامه‌ها، استانداردها و فراخوان پروژه‌های پژوهشی، مهندسی پالایش و مسئولان امر انجام گیرد.

پالایش سبز به عنوان یک تکنیک پاکسازی به تحقیقات برای یافتن گیاهانی با درجه‌های بالای جذب فلز،بیومس زیاد و تحمل گستره وسیعی از شرایط و فشارهای زیست محیطی احتیاج دارد. با وجود تلاشهای‌خوب گیاه شناسان این گونه گیاهان احتمالا در حال حاضر وجود نداشته و برای ایجاد گیاه ایده آل پرورش،انتخاب یا راهبردهای بیولوژی مولکوی لازم می‌باشند. برای نیل به این هدف، همکاری نزدیک متخصصین‌بیولوژی مولکولی، گیاهشناسان، متخصصین زراعت و خاکشناسان برای توسعه سیستمهای کارآمد پالایش‌سبز لازم خواهد بود. بهترین وجه تلاشهای مشترک این متخصصان در چنین زمینه‌های متفاوتی از دانش‌آبیاری تا بیولوژی مولکولی، برای درک کامل نیروی نهفته پالایش گیاهی لازم است.

برای پالایش خاکهای آلوده به مواد آلی، درک بهتر و اساسی‌تری از اثرات متقابل گیاه خاک لازم است. برای‌انجام این کار بررسی‌های بیولوژی، فیزیولوژی، میکروبیولوژی و ژنتیک میکربی گیاهی باید بر روابط گیاهان‌و جوامع میکربی آنها در خاک آلوده متمرکز شود. افزایش ظرفیت تخریبی گیاهان در اولین مراحل خود به سرمی‌برد و تلاش بیشتر در این زمینه ضروری می‌باشد. ژنهای نابودکننده، که از سیستمهای اکاریوتیک وپروکاریوتیک تولید شده‌اند به مرور در برگهای گیاه آشکار می‌شوند. بسیاری از شرکتهای شیمیایی کشاورزی‌بزرگ ژنهای نابودکننده آفات را به داخل سلولهای گیاه تزریق می‌کنند. یافت، تولید و ارایه ژنهای نابودکننده‌برای آلاینده‌های صنعتی چندان دور از دسترس نیست. احتمال دارد که بسیاری از این سیستمها در ظرفیت‌خود در حال فعالیت باشند، اما بیشتر آنها در این زمینه مورد آزمایش قرار نگرفته‌اند. بکارگیری سیستمهای‌آنزیمی فرعی، عوامل همسو و برگهای گیاهی اصلاح شده، از برنامه کاری بسیاری از آزمایشگاهها می‌باشد.،

ساختار گیاهان برای پالایش، هرگز بهینه سازی نشده است. عمق، ساختار و تراکم ریشه را بدون شک‌می‌توان برای افزایش توان تخریبی گیاه تغییر داد. علوم تئوری، عملی و کاربردی فنونی را ایجاد کرده‌اند که‌هنوز وارد پالایش سبز خاکهای آلوده نشده‌اند.

گیاهان و ریشه آنها در خاک محیطی مملو از فعالیت میکربی ایجاد می‌کنند، که می‌تواند آلاینده‌های آلی راتغییر داده و یا تجزیه آلاینده‌های آلی نظیر هیدروکربن نفتی را افزایش دهد. در رسوبات دریاچه‌ای که آلوده‌به هیدروکربنهای نفتی می‌باشند پس از استقرار رسوبات در تخلیه گاههای بالادست و کاشت علفهای برمودا،کاهشی به میزان ۸۰ درصد در هیدروکربنهای نفتی مشاهده شده است.

نتیجه گیری

تجربه‌های رسمی و دولتی ما در پالایش نشان داده‌اند که شیوه‌های فعلی پاکسازی خاکهای سطحی آلوده به‌فلزات و مواد آلی فرار، ناهنجار، پرهزینه و از نظر فیزیکی شکننده می‌باشند. پالایش سبز، یک تکنولوژی درحال توسعه بوده که پالایش مناسبی را تحت شرایط زیر نوید می‌دهد:

۱ -آلاینده نزدیک سطح باشند، ۲- آلاینده نسبتا غیرقابل شستشو باشند، ۳- احتمال خطر ناگهانی آلاینده‌هابرای سلامت و محیط زیست ناچیز باشد. زمینهای آلوده تا اندازه‌ای با استفاده از گیاهان، پالایش شده‌اند. درجامعه مهندسین نیز شکاکانی پیدا می‌شوند. به هر حال جامعه متخصصین زراعت موفق به ارایه اصول فنی‌کاملی شده است که بیان می‌کنند گیاهان واقعا فلزات را به درون می‌کشند، سموم را جذب کرده و مواد آلی‌ویژه‌ای را سم زدایی می‌کنند. تجمع زیاد فلزات در گیاه به همراه تخریب یا تجزیه فزاینده مواد آلی همراه باتراکم بیشتر گیاهی و سیستمهای ریشه‌ای عمیق‌تر ممکن است به تولید فن آوری قوی‌تر پالایش سبز که‌موجب ایجاد گزینه‌های پالایش ارزانتر، پایدار و کمتر تهاجمی شود، بینجامد. دانشمندان گیاه و خاک‌فن‌آوریهایی ایجاد کرده‌اند که اگر ترکیب و بهینه سازی شوند، بکارگیری گیاهان را برای پالایش سبز را درآینده‌ای نزدیک ممکن خواهند ساخت. بر این باور هستیم که توسعه و گسترش دانش در زمینه روابط گیاه محیط زیست عامل ضروری توسعه این فن آوری می‌باشد. شرایط فنی، اقتصادی و قانونی برای تکامل این‌پژوهش بسیار مناسب می‌باشند.