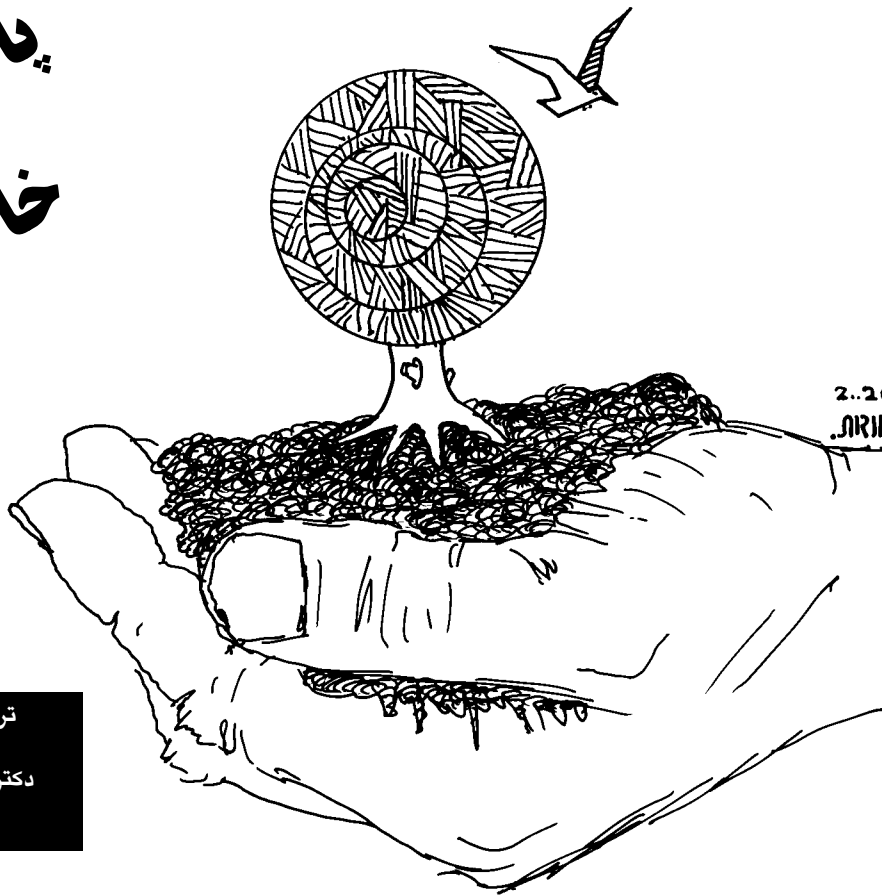


# پالایش سبز

پالایش گیاهی  
خاکهای آلوده  
و رسوبات



2021  
.1381

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

میکربی، شستشوی سریع خاک، تخلیه، گرمادهی و الکترواسمز می باشند. روشهای آلاینده زدایی گیاهی از جدیدترین فنونی هستند که موجب کاهش آلاینده‌ها در محل می شوند.

مقاله به بررسی پالایش خاکها و رسوبات آلوده توسط عوامل گیاهی می پردازد.

## برنامه‌های پالایش محلی

فن آوریهای بسیاری در اختیار کاربران روش پالایش در محل می باشد. ولی برنامه‌های پالایش در محل، یا از طریق تثبیت آلاینده‌ها (تحت عنوان تثبیت) یا از طریق کاهش آلاینده‌ها (تحت عنوان پاکسازی) آلودگی را کنترل می کنند. در روش تثبیت آلاینده، هیچ گونه کاهش عملی در میزان آلاینده‌ها مشاهده نمی شود، لیکن احتمال خطرات بهداشتی و زیست محیطی آلاینده‌ها در محل تا حدود قابل قبولی کاهش می یابد. سازه‌های محدود کننده نظیر گنبدها و دیوارهای جداسازی هیدرولیکی، نمونه‌هایی از روش‌های مهندسی در این مقوله می باشند. توسعه روش‌های تثبیت خاک با تکیه بر تغییرات شیمی خاک و رشد گیاهان، از جدیدترین شیوه‌ها بشمار می رود. روش‌های کاهش آلاینده در محل شامل تجزیه

جداسازی، نگهداشت، یا پالایش آلاینده‌های مخرب محیط زیست به وسیله گیاهان سبز را پالایش سبز می گویند. این تعریف برای تمامی فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی گیاهی که به پالایش خاکهای آلوده کمک کنند، به کار برده می شود (Berti, 1993; Cunningham). این روش، ایده جدیدی نیست. بیش از ۳۰۰ سال است که به کارگیری گیاهان برای بهسازی فاضلاب تجربه می شود. روش‌های پالایش گیاهی برای مواد لایروبی شده، گل‌های روان و خاکهای آلوده به فلزات از اواسط دهه هفتاد معرفی گردیده‌اند. از پالایش سبز همچنین برای کنترل آلودگی هوای داخلی اماکن و هوای شهرها استفاده شده است. پیشرفت فن آوری و جستجو جهت یافتن راه‌حلهای اقتصادی و سالم، پالایش سبز را مجدداً در کانون توجه قرار داده است. از این نوع گیاهان به صورت توأم با گیاهان بومی هر منطقه، در فرآیندهای پالایش تثبیتی و آلاینده زدایی خاکهای آلوده می توان استفاده کرد. این

## گیاهان به عنوان سازه‌های مهندسی

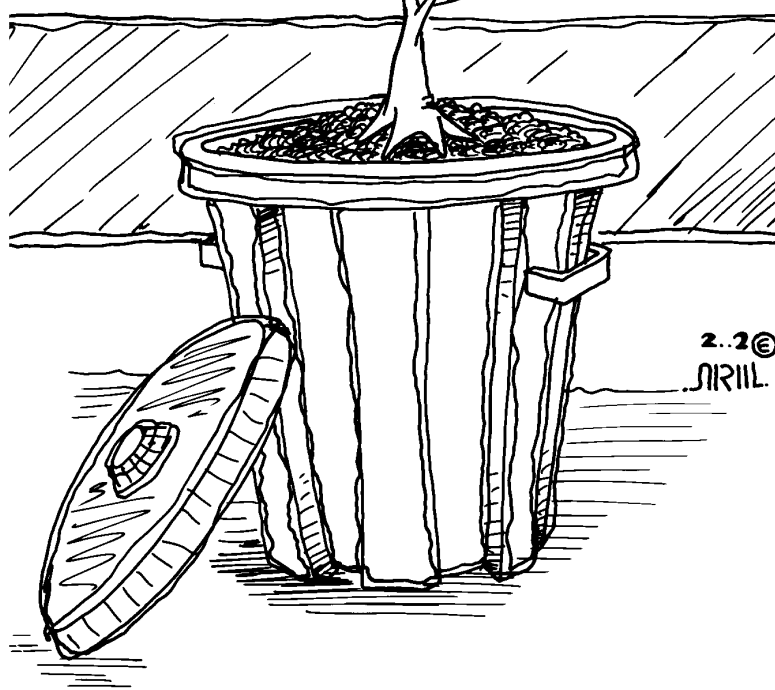
برای تغییر دیدگاه معمول ما از گیاهان زراعی و به منظور تشریح ایده پالایش سبز برای آن دسته از متخصصانی که با اصطلاحات فنی مهندسی آشنا ترند، معمولاً گیاهان را در قالب اصطلاحات مهندسی بیان و تفسیر می نمایند. در اساسی ترین مرتبه، گیاهان سبز سیستمهای خورشیدی پمپاژ و تصفیه می باشند که از ظرفیت ذخیره ذاتی و تجزیه کنندگی قابل توجهی برخوردارند. ریشه‌های گیاهان جاذبهایی جستجوگر برای یافتن آب می باشند که می توانند عناصر و ترکیبات را برخلاف شیشهای شیمیایی بزرگ کشف، جایگزین و یا جابه‌جا نمایند. سطوح ریشه گیاهان، غشایی از باکتریهای فعال و عوامل قارچی را در

## پالایش به وسیله تثبیت آلاینده

مجاورت خود نگهداری می‌کنند. این عوامل، مشخصاً سطح تماس ریشه با خاک و ظرفیت سوخت و ساز آن را افزایش داده که قادرند عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک را در گون سازند (Cunningham Berti, 1993).

ارتباط گیاهان با آلودگی‌های زیست محیطی مقوله جدیدی نیست و در طول دوره رشد، گیاهان مکانیزم‌های مقاومتی را جهت بقا و تحمل آلودگی‌های زیست محیطی توسعه می‌دهند. در بیشتر زیست‌محیطها، انواع گوناگونی از سموم آلی و فلزی مرتباً به گیاهان تحمیل شده که در چنین شرایطی مکانیزم‌هایی نیز برای سازگاری، بقا و حتی شادابی گیاه ایجاد شده است. برخی از عوامل

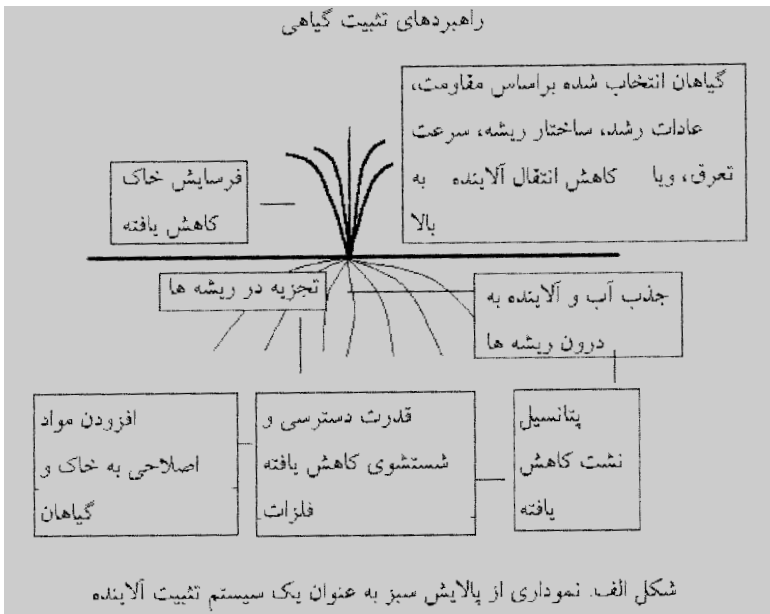
کنترل جریان ورودی و خروجی آب در یک منطقه، مهمترین بخش هر برنامه تثبیت می‌باشد. گیاهان در جستجو و پاکسازی آب مهارت داشته و از آنها در هر دو جهت استفاده شده است (Shimpet al., 1992). گیاهان همچنین فرسایش خاک و جابه جایی آلاینده‌ها به خارج از محدوده خود را کنترل می‌کنند. همچنانکه معمولاً در بسیاری از جاها از گیاهان برای پوشش استفاده می‌کنند. به علاوه اغلب از گیاهان برای حفاظت آبراهه‌ها و خاکریزها استفاده می‌شود (Licht, 1993). شرکتهای خاص تولید بذر، بذر علفهای مقاوم را برای این



اهداف تامین می‌کنند. ریشه‌های گیاهان بویژه در زمینهای مرطوب تراکم یونها را جابه جا کرده و توان نهفته موجود در اطراف ریشه‌هایشان را در اثر اکسیداسیون کاهش می‌دهند. آنها در چنین فعالیتی لایه‌های زیرین خاک را اصلاح کرده و از جابه جایی آلاینده‌ها توسط آب نفوذ کرده از محدوده زمینهای مرطوب، جلوگیری می‌کنند (et al, 1992). این پدیده در بسیاری از طرحهای پالایش فاضلاب که دارای زمینهای مرطوب طبیعی و مصنوعی هستند همچنین در بستر نزارها برای بهسازی، به کار گرفته می‌شود. همچنین در بسیاری از طرحهای پالایش، گیاهان آلاینده‌های زنده موجود را به داخل ریشه‌ها جذب می‌کنند. انتخاب گیاهانی با محدودیت انتقال مواد به برگها، به پیشرفت روش تثبیت کمک می‌کند. شکل الف دید جامعی از چنین روش تثبیتی را بیان می‌کند. در پالایش تثبیتی می‌توان با انجام تغییراتی در خاک که موجب کاهش حلالیت آلاینده‌ها می‌شوند، قابلیت جابه جایی آلاینده‌ها را کاهش داد. این تغییرات شامل افزودن عوامل قلیاساز، فسفات‌ها و مواد آلی برای تبدیل مواد سمی به مواد نامحلول و دور از دسترس برای فرونشست و جذب گیاهی، می‌باشند. به علاوه، می‌توان گیاهانی با اجزای خاص برای مقابله با تراکم بیش از حد آلاینده‌ها در خاک به منظور توقف بیشتر آلاینده‌ها، کشت نمود. برای مثال فلزات سنگین و مواد آلی چربی‌گرا را می‌توان با قابلیت جابه جایی ناچیز در سیستم گیاه یا خاک، متوقف کرد (Bell, 1992). علاوه بر این 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 در زمینه کشت مجدد زمینهای لخت 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

راهبردهای تثبیت گیاهی



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

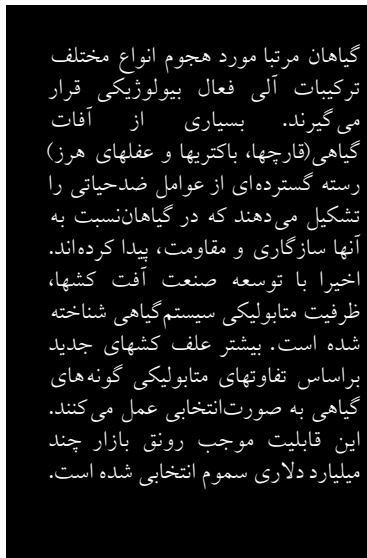
بیماری‌های گیاهی، میکروبی‌های خاک و علفهای هرز، انواع مختلفی از ترکیبات آلی سمی تولید می‌کنند که گیاهان، درگیر مبارزه با آنها می‌شوند. در گیاهانی که در خاکهای معدنی آهنگار روئیده‌اند، سازگاری برای بقا ایجاد شده است. در برخی گیاهان اجزایی در ریشه رشد می‌کنند که جابه جایی فلزات در ریشه و انتقال آنها را به اندامهای فوقانی و داخل برگهای گیاه که احتمال صدمه دیدن آنها می‌رود، محدود می‌کنند. چنین گیاهانی برای روشهای تثبیتی مناسب می‌باشند. در سایر گیاهان، رشد می‌کنند. این گیاهان می‌توانند در محیطهایی نامساعد که اغلب گیاهان قادر به ادامه زندگی در آنها نمی‌باشند، رشد کنند. کارایی گروه اخیر گیاهان در روش کاهش آلاینده‌ها، در حال بررسی است. سازگاریهای بوجود آمده در گیاهان برای تحمل شرایط خاکهای آلوده، در مباحث زیر بررسی خواهد شد.

تخریب شده، استفاده شده است. این گیاهان مقادیر زیاد فلزات را به برگهای خود منتقل نمی کنند بنابراین می توان از آنها در راهبردهای مدیریت چرما برای خاکهای شدیداً آلوده در بریتانیا استفاده نمود. چرای حیوانات در این زمینهای اصلاح شده به دوره های کوتاه مدت محدود شده و حیوانات به تناوب برای تامین باقیمانده نیاز غذایی به زمینهای غیرآلوده برده می شوند.

مثال دیگر از اینگونه راهبردها توسط (Brandon et al., 1991) برای مواد اسیدی لایروبی شده و آلوده به فلز که در یک محیط تخلیه بالادست جای گرفته بودند، بیان شده بود. مواد اصلاحی مثل آهک (دانه های درشت سنگ آهک)، کود اسب و گیاهان مقاوم به اسید / فلز برای کنترل حلالیت فلزات و برای پوشش رسوبات استفاده شده است. قطعات شاهد که هیچگونه اصلاحاتی روی آنها انجام نشده، در ۶ سال گذشته روان آبی شدیداً فلزی و اسیدی با pH ۵، ۳ که از استانداردهای کیفیت آب تجاوز کرده است، تولید کرده اند. قطعاتی که در آنها اصلاحات و کاشت گیاهان مقاوم به اسید / فلز صورت گرفته است، روان آب سطحی با کیفیت آب قابل قبول تری تولید کرده اند.

## اصلاح خاکهای آلوده به فلز با پالایش سبز

جذب هر فلز توسط گیاه بستگی به دسترسی میکروارگانسیم ها به فلز در محیط آلوده دارد. تغییرات شیمی خاک مانند کاهش pH یا محدود کردن ورود آنیون به سیستم می تواند قابلیت دسترسی به فلزات را برای جذب ریشه افزایش دهد. بسیاری از گیاهان را می توان در برخی شرایط خاک به جذب مقادیر قابل توجه فلزات وادار کرد. تغییرات در وضعیت میکربی خاک اطراف ریشه گیاه (برای مثال، وجود مایکوریزا) می تواند اثرات فراوانی را (مثبت و منفی) بر جذب فلز توسط ریشه های



گیاه اعمال نماید. به هر حال پژوهشگرانی که در این زمینه فعالیت می کنند تنها بر اقتصادی بودن پالایش سبز از طریق گیاهانی که در این ظرفیت بالایی از ذخیره کردن آلاینده ها هستند (hyperaccumulator) اتفاق نظر دارند.

گیاهانی وجود دارند که تراکم بیش از حد فلزات در خاک را با جذب، جابه جایی و ذخیره، تحمل می کنند. بسیاری از این گیاهان در خاکهای غنی از فلزات رشد و نمو کرده اند. پژوهشهای انجام شده در دو دهه اخیر نشان داده اند که گیاهان ویژه توانایی انباشت فلزات سنگین تا ۳ درصد (وزن خشک گیاه) و تا ۲۵ درصد (وزن خشک گیاه) در عصاره / شیره گیاهی بدون هیچگونه آسیب دیدگی را دارند: (Baker et al., 1990) (Baker Walker, 1990). گیاه شناسان گونه های مشابه گیاهان رادرسبازی از کشورها مانند بریتانیا، آلمان، اتریش، اسپانیا، فرانسه، ایتالیا، بلغارستان، یونان، چک، اسلواکی، کنگو، جزایر فیلیپین، کالدونینای شمالی، نیوزیلند، ژاپن و ایالات متحده، شناسایی کرده اند. این نویسندگان

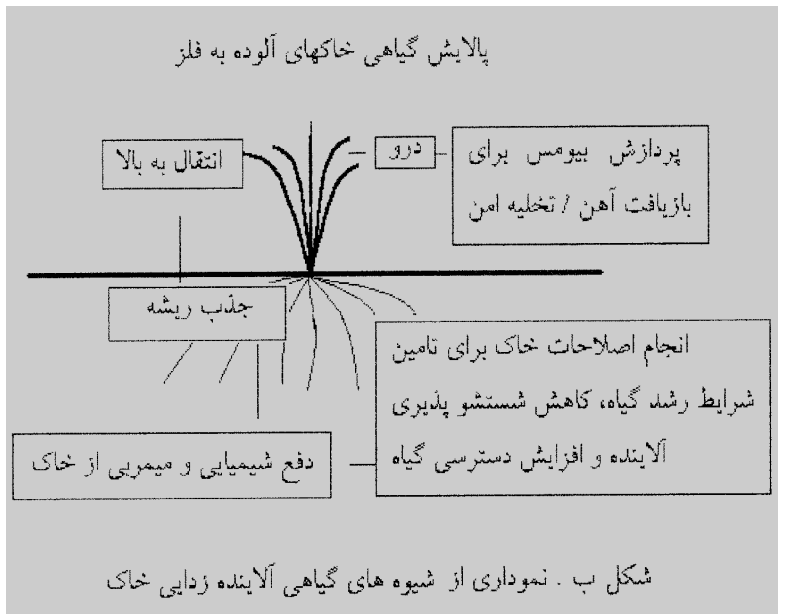
وابستگی انباشت عناصر را به گیاه، فلز و شرایط محیط زیست گزارش کرده اند. ساختارهای حاکم بر تحمل شکر و جذب تراکم بیش از حد فلزات به داخل برگهای گیاهان، موضوع پژوهشهای متعددی بوده است (Verkleij et al., 1991) (Gabbrielli et al., 1991). ساختارهای تحمل، تراکم روی در جدار سلولی، ترکیب نیکل با پکتین در سلولهای درشت، ترکیب حلقوی نیکل، کبالت و روی با مالیک اسید، ترکیب روی با زله گیاهی، ترکیب حلقوی نیکل با سیترات و ترکیب کبالت با کریستالهای کلسیم اکسالات در بافتهای گیاهی، را شامل می شوند. شناخت ساختارهای مقاومتی، به شناسایی خصوصیات ژنتیکی لازم برای انتقال فلزات قابل تحمل به گیاهانی با توانایی رشد متراکم تر و خصوصیات ریشه ای عمیق تر، کمک می کند. پیشنهاد شده است که برای اصلاح خاکهای آلوده به فلز از گیاهان ذخیره کننده استفاده شود (Baker et al., 1991).

مرجع اخیر همچنین پیشنهاد کرده است که در برخی موارد می توان بیومس مملو از فلز تولید شده (سنگ آهن زنده) را خاکستر کرده و نسبت به بازیافت اقتصادی فلزات اقدام نمود. همچنین امکان به کارگیری استخراج بیولوژیکی فلزات به عنوان یک شیوه استخراج، برای فلزات با ارزش اقتصادی خاص، وجود دارد (شکل ب). همراهمسازی گیاهان خازن بالا با بیومس زیاد و سیستمهای عمیق ریشه ای به همراه مهندسی ژنتیک ممکن است به تولید نوعی فن آوری پالایش کارا، بینجامد. بسیاری امیدوارند که بتوان این تکنیک را به عنوان یک تکنیک اقتصادی، پایدار و پالایش در محل برای بسیاری از زمینهای که در آنها فن آوریهای بسیار گرانتر پاکسازی موجود می باشند، استفاده نمود. دانشمندان گیاه و خاک در حال توسعه فن آوریهای هستند که در صورت ترکیب و نتیجه دهی، وجود محصولات ژنتیکی پالایش سبز را در آینده ای نزدیک ممکن خواهند ساخت.

## پالایش سبز خاکهای آلوده به مواد آلی

گیاهان مرتباً مورد هجوم انواع مختلف ترکیبات آلی فعال بیولوژیکی قرار می گیرند. بسیاری از آفات گیاهی (قارچها، باکتریها و علفهای هرز) رسته گسترده ای از عوامل ضدحیاتی را تشکیل می دهند که در گیاهان نسبت به آنها سازگاری و مقاومت، پیدا کرده اند. اخیراً با توسعه صنعت آفت کشها، ظرفیت متابولیکی سیستم گیاهی شناخته شده است. بیشتر علف کشهای جدید براساس تفاوتهای متابولیکی گونه های گیاهی به صورت انتخابی عمل می کنند. 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 که علفهای هرز نامطلوب قادر به



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 برای پالایش خاکهای آلوده ثابت کرده‌اند. در این راهبرد پالایشی، گیاهان آلاینده‌ها را از خاک جذب و آنها را به مواد غیرسمی تبدیل می‌کنند و یا در داخل ترکیب یک سلول ثابت قرار خواهند داد (برای مثال لیگنین). قابلیت گیاهان در سمزدایی آفت کشته‌ها به شکل گسترده‌ای تشخیص داده شده است. مشابه سیستمهای دفع سموم پستانداران، گیاهان به عنوان کبدهای سبز زمینی نیز توصیف شده‌اند (۱۹۹۲ Sandermann). با افزایش دانش مهندسی ژنتیک، بسیاری از پژوهشگران شروع به ترکیب ژنهای متابولیکی اکاریوتیک و پروکاریوتیک (prokaryotic eukaryotic) در داخل کروموزمهای سلول جنسی گیاهی کرده‌اند. یکی از اهداف فعلی موردعلاقه صنعت آفت کشته‌ها، تولید گیاهانی با مقاومت بیشتر نسبت به آفت کشته‌های شناخته‌شده موجود می‌باشد تا بتوان استفاده آفت کشته‌ها را به شرایط گسترده‌تر کشاورزی، توسعه داد. ممکن است بسیاری از ایده‌ها، فنون و فرضیه‌هایی که از آنها برای تولید گیاهانی با قابلیت فزاینده دگرگون‌سازی سموم استفاده می‌شود. جایگاهی در بازار پالایش پیدا کنند. امتیازات انحصاری نیز در این زمینه مطرح شده‌اند.

با وجود قابلیت دگرگون‌سازی آفت کشته‌ها، گیاهان معمولاً ارگانسیم‌هایی سازنده هستند و نه مخرب. در مقایسه با سوخت و ساز میکروبیها، گیاهان در گستره باریکتری از مواد فعالیت کرده، مراحل تجزیه ساده‌تری را تکمیل می‌کنند و معمولاً آفت کشته‌ها را به نمونه‌ای مولکولی تجزیه نمی‌کنند. درک ذاتی و منطقی بر ترکیب شالوده‌های مهندسی و طبیعت گیاهان اتوروفیک با ظرفیت تجزیه ساز میکروبی حکم می‌کند. چنین ترکیب گیاه میکربی در ناحیه فعال بیولوژیکی اطراف ریشه‌های گیاه (rhizosphere) وجود دارد. نخستین پژوهشهای انجام شده در این زمینه امیدوارکننده بوده‌اند (Anderson, Walton, ۱۹۹۲) تصور می‌شود که تجزیه آلاینده‌هایی که معمولاً 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 پژوهشی اخیر در مورد محدوده ریشه‌ها شامل انتخاب گیاه، نمونه‌های جایگزین ریشه‌ای، ترکیب ترشحات ریشه گیاه و اثر آن بر مجموعه‌های میکربی، ترشح ترکیبات ویژه برای درک چگونگی سوخت و ساز میکربی و تزریق میکربهایی با قابلیت نابودسازی موثر آفت کشته‌ها 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 را تغییر داده و یا تجزیه آلاینده‌های آلی نظیر هیدروکربن نفتی را افزایش دهد. در رسوبات دریاچه‌ای که آلوده به

هیدروکربنهای نفتی می‌باشند پس از استقرار رسوبات در تخلیه گاههای بالادست و کاشت علفهای برمودا، کاهش به میزان ۸۰ درصد در هیدروکربنهای نفتی مشاهده شده است (Skogerboe et al., ۱۹۹۴). پیشنهاد شده به عنوان خاک در اطراف دریاچه‌ای که رسوبات از آن برداشت شده بودند، استفاده شود (شکل پ).



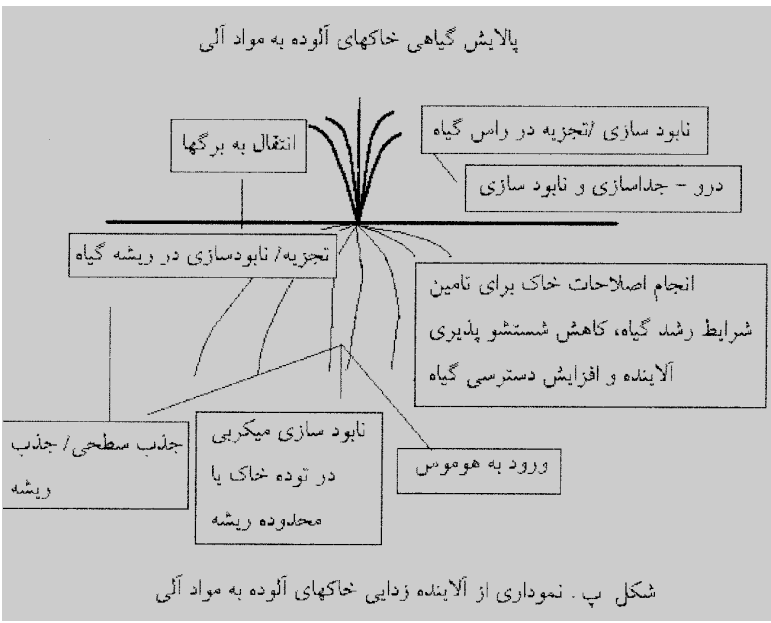
ثبت آفت کشته‌های مصرفی در خاک، پرداخته شده است. با استفاده از مدل‌های موجود، جذب و جریان آلاینده‌ها در داخل گیاه (Ritchie, ۱۹۹۱) می‌توان اقدام به نتیجه‌گیری کلی کرد. صنعت آفت کشته معمولاً سعی دارد با استفاده از پارامترهای نسبتاً ساده قابل اندازه‌گیری، سرنوشت و اثر یک آفت کش را پیش‌بینی نماید. ضریب کسر اکتان آب (Kow) یکی از این پارامترهای کارآمد می‌باشد.

آلاینده‌هایی با «log Kow» قابلیت حلالیت بالایی در آب داشته و پیش‌بینی می‌شود که در صورت نبود سیستم تثبیت هیدرولوژیکی و شرایط ریزش محدود باران، موجب آلودگی

آبهای زیرزمینی شوند. به علاوه، گیاهان معمولاً این ترکیبات محلول را با نسبتی کمتر از آب جذب می‌کنند. معمولاً ترکیباتی با چنین حلالیت بالایی، در آوند‌های گیاه، متحرک به حساب می‌آیند. در برخی موارد این امر ممکن است به تراکم فرعی بینجامد. به هر حال علم گیاهشناسی، شیمی و فیزیک اظهار می‌دارند که در چنین شرایطی (وجود ترکیبات باحلالیت زیاد) کارایی پالایش سبز کاهش می‌یابد. مقدار جذب ترکیبات چربی دوست (log Kow) در حدود ۴ تا ۵) بوسیله ریشه گیاهان کمی بیشتر بوده و به نظر می‌رسد که این ترکیبات در آوند‌ها متحرک اما در الیاف نامتحرک باشند.

این است که در این گستره (۲.۵ تا ۴) بسیاری از آفت کشته‌های بکار برده شده در خاک، یافت می‌شوند. شاید این بهترین دلیل بر خصوصیات فیزیکی این ترکیبات باشد که به آنها اجازه جابه‌جایی در محدوده خاک، جذب بوسیله ریشه و تداخل مناسب در سازگار سوخت و ساز گیاه را می‌دهد. بنابراین این گونه‌های مواد ترکیبات مناسبی برای پالایش سبز می‌باشند و بسیاری از آلاینده‌های پیشین در این گستره یافت شده‌اند. با توجه به نتیجه جذب محدود این مواد،

پیش‌بینی می‌شود که ترکیبات باز هم موجب بروز مشکلاتی در آبهای زیرزمینی شوند. بنابراین کارآمدی پالایش سبز به عنوان یک شیوه پالایش، به نوع خاک، بارندگی، چگونگی ورود ماده به محیط زیست، سمشناسی و شرایط معمول محل بستگی دارد. ترکیبات چربی دوست (log Kow) 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 نسبی آلاینده در کالبد خاک و



## زمینه فعالیتهای پژوهشی

پژوهش در زمینه پالایش سبز نخستین مراحل خود را طی می‌کند. گستره وسیعی از پژوهشهای تئوری و عملی 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 و شیمیایی جذب، انتقال و سم زدایی آلاینده‌ها بوسیله گیاهان نیاز می‌باشد.

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

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

نیستند. هنگامی که مواد یونی باشند، چگونگی تحرک آنها هم در خاک و هم در گیاه تغییر می‌کند. قاعداً ترکیبات فرار (برای مثال علف کش ترفلان) تحت این شرایط باید نامتحرک باشند، با وجود این در حالت فرار این مواد می‌توانند در فضای خالی خاک حرکت کنند و به وسیله ریشه‌ها جذب شوند. موارد مشابه نیز در محدوده پالایش سبز اجتناب ناپذیر بوده و تا حدودی بر اساس ثابت قانون هنری برای آلاینده مورد نظر، قابل پیش بینی هستند. معلوم شده است که بسیاری از خصوصیات خاک، گیاه و ریشه گیاه اثرات متقابل گیاه با هر ترکیب دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. (et al, 1990) (e.g. Hsu) اما به پژوهشهای بسیار گسترده‌تری در این زمینه نیاز است. داده‌ها در شکل پ بسیاری از مطالب بالا را در قالب یک نمایش برنامه ریزی شده ارائه می‌دهد.

گیاهان در اولین مراحل خود به سر می‌برد و تلاش بیشتر در این زمینه ضروری می‌باشد. ژنهای نابودکننده، که از سیستمهای اکاریوتیک و پروکاریوتیک تولید شده‌اند به مرور در برگهای گیاه آشکار می‌شوند. بسیاری از شرکت‌های شیمیایی کشاورزی بزرگ ژنهای نابودکننده آفات را به داخل سلولهای گیاه تزریق می‌کنند. یافت، تولید و ارایه ژنهای نابودکننده برای آلاینده‌های صنعتی چندان دور از دسترس نیست. احتمال دارد که بسیاری از این سیستمها در ظرفیت خود در حال فعالیت باشند، اما بیشتر آنها در این زمینه مورد آزمایش قرار نگرفته‌اند. بکارگیری سیستمهای آنزیمی 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 شک می‌توان برای افزایش توان تخریبی گیاه تغییر داد. علوم تئوری، عملی و کاربردی فتونی را ایجاد کرده‌اند که هنوز وارد پالایش سبز خاکهای آلوده نشده‌اند.

## نتیجه گیری

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

- ۱- آلاینده نزدیک سطح باشند،
- ۲- آلاینده نسبتاً غیر قابل شستشو باشند،
- ۳- احتمال خطر ناگهانی آلاینده‌ها برای سلامت و محیط زیست ناچیز باشد. زمینهای آلوده تا اندازه‌ای با استفاده از گیاهان، پالایش شده‌اند. در جامعه

مهندسی نیز شکافی پیدا می‌شوند. به هر حال جامعه متخصصین زراعت موفق به ارایه اصول فنی کاملی شده است که بیان می‌کنند گیاهان واقعا فلزات را به درون می‌کشند، سموم را جذب کرده و مواد آلی ویژه‌ای را سم زدایی می‌کنند. تجمع زیاد فلزات در گیاه به همراه تخریب یا تجزیه فزاینده مواد آلی همراه با تراکم بیشتر گیاهی و سیستمهای ریشه‌ای عمیق‌تر ممکن است به تولید فن آوری قوی‌تر پالایش سبز که موجب ایجاد گزینه‌های پالایش ارزاتر، پایدار و کمتر تهاجمی شود، بینجامد. دانشمندان گیاه و خاک فن آوریهای ایجاد کرده‌اند که اگر ترکیب و بهینه سازی شوند، بکارگیری گیاهان را برای پالایش سبز را در آینده‌ای 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 این پژوهش بسیار مناسب می‌باشند.