معرفی تکنولوژی گیاه‌پالایی و گیاه پالاینده‌های فضای سبز

مینا تقی زاده
دانشجوی دکتری باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
محسن کافی
هیئت علمی گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

چکیده

با افزایش فعالیتهای صنعتی ، آلودگی محیط زیست یکی از مشکلات پیش روی انسان حاضر است. در این بین آلودگی با فلزات و مواد غیر زیستی یک مشکل جهانی زیست محیطی است . تصفیه هم زمان آلودگیهای چند گانه با استفاده از روشهای شیمیایی و سنتی هم از نظر تکنیکی مشکل است و هم پر هزینه می باشد، علاوه بر اینکه این روشها باعث تخریب ترکیبات بیوتیک خاک می شوند. به همین منظور تکنولوژی نوظهور گیاه پالایی برای پالایش آلودگیهای خاکی، زیرزمینی و فاضلاب به دلایل کم هزینه بودن و پایین بودن تکنولوژی مورد نیاز در دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گیاه پالایی شامل ۵ تکنولوژی مختلف است که هر کدام یک مکانیزم متفاوت برای پالایش آلودگی دارد. تا کنون گیاه های فراانباشت زیادی به منظور پالایش و تصفیه مناطق آلوده شناسایی شده است. اما اکثر این گونه های گیاهی متعلق به گروه گیاهان خوراکی و مرتعی می باشند که احتمال وارد شدن به زنجیره غذایی و تهدید سلامتی بشر را به دنبال دارد. به همین منظور گیاهان زینتی و فضای سبزی گزینه های بسیار مناسبی برای این تکنولوژی می باشند پس از طی شدن زمان پالایش گیاهان برداشت شده می توانند در شرایط کنترل شده دفن و سوزانده می شوند که خاکستر آنها نیز می تواند به منظور احیای مجدد فلزات مورد استفاده قرار گیرند.

واژه های کلیدی: گیاه پالایی- آلودگی های زیست محیطی- پالایش- پساب- فلزات سنگین

مقدمه

انسانی که امروز به کمک دانش و صنعت پیشرفته مشکلات بسیاری را از پیش پای خود برداشته، در مقابل هزاران مساله که خود ناشی از پیشرفت تکنولوژی می باشد، بر جمع دشواریهایش افزوده است. برای مثال با افزایش فعالیتهای صنعتی و منابع آلاینده، آلودگی محیط زیست یکی از مشکلات پیش روی انسان حاضر است. هوای آلوده به ذرات سمی، آبهای آلوده به مواد بیماری زا و سمی، دفع زباله به طور غیر بهداشتی، خاکهای آلوده، زندگی موجودات زنده را در کره خاکی با مشکل مواجه کرده است. فاضلابها یکی از عوامل آلوده کننده محیط زیست بشمار می آیند. در این بین آلودگی با فلزات و مواد غیر زیستی یک مشکل جهانی زیست محیطی است که نتیجه فعالیتهای معادن، صنایع، کشاورزی و نظامی می باشد. تجمع آلودگی ها در زنجیره غذایی عامل تهدید کننده اساسی سلامت بشر می باشد. در اغلب کشورهایی با صنایع مادر آلودگی ها به میزان بالایی شناسایی شده. خاکها و آبهای آلوده هم برای تولید محصولات کشاورزی و هم مصارف انسانی خطرناک می باشند. گر چه جلوگیری از تولید آلودگی قطعا گزینه اولیه است اما به طور کلی در مناطق صنعتی این اصول دنبال نمی شود. در بیشتر مناطق صنعتی که نیازمند تصفیه اند، حاوی مخلوطی از انواع آلودگیها در غلظتهای مختلف در خاک، آبهای زیرزمینی و یا فاضلابها می باشند. این ضایعات خطرناک شامل انواع نمکها، مواد آلی، فلزات سنگین، عناصر کمیاب و ترکیبات رادیواکتیو می باشند. تصفیه هم زمان آلودگیهای چند گانه با استفاده از روشهای شیمیایی و سنتی هم از نظر تکنیکی مشکل است و هم پر هزینه می باشد، علاوه بر اینکه این روشها باعث تخریب ترکیبات بیوتیک خاک می شوند(۱و ۴). گیاهان به دلیل خصوصیات سیستمیک قدرت فتوسنتزی با یک کارآیی بالا قادرند عناصر را در طی فعالیتهای متابولیکی متعددشان پالایش نمایند به همین منظور فیتوتکنولوژی نوظهور گیاه پالایی برای پالایش آلودگیهای خاکی، آبهای زیرزمینی و فاضلاب به دلایل کم هزینه بودن و پایین بودن تکنولوژی مورد نیاز، در دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گیاه پالایی بعنوان کاربرد گیاهان سبز شامل گونه های گیاهی گراسها، گیاهان پهن برگ علفی و چوبی به منظور حذف، جذب یا کم خطرتر کردن آلودگیهای زیست محیطی نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، آلودگیهای آلی و ترکیبات رادیواکتیو در خاک، آب یا هوا تعریف می گردد. این تعریف شامل تمام تاثیرات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی گیاهان که کمک می کنند به جذب، بلوکه کردن، هضم و متابولیسم آلودگیها می باشد(۵و ۷).

تاریخچه گیاه پالایی

واژه گیاه پالایی Phytoremediation شامل پیشوند یونانی Phyto به معنی گیاه و ریشه لاتین Remedium به معنی اصلاح یا حذف یک عامل مزاحم و خارجی می باشد. این تکنیک به یکسری از تکنولوژیهایی با استفاده از گیاهان طبیعی یا ترنسژنیک برای پالایش آلودگی زیست محیطی آلی و غیر آلی خاک، آب، هوا بر می گردد. پیش زمینه حرکت اولیه به سمت توسعه تکنولوژیهای گیاه پالایی به دلیل پتانسیل پالایندگی هزینه کم آن بود. گر چه لغت گیاه پالایی یک تکنیک نسبتا جدید است اما کاربرد آن قدمت طولانی دارد. در سال ۱۹۶۲ تحقیقاتی با استفاده از گیاهان آبی برای پالایش آبهای آلوده به مواد رادیواکتیو در مناطق هسته ای روسیه شروع گردید. آنها دریافتند برخی گیاهان رشد یافته در خاکهای آلوده بدون نشان دادن علایم سمیت قادر به تجمع مقادیر بالای فلزات در بافتهایشان هستند. چنی در سال ۱۹۸۳ اولین کسی بود که hyperaccumulators را برای پالایش فلزات مناطق آلوده معرفی کرد. مزایای قابل توجه تکنولوژیهای گیاه پالایی در یک دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و هم اکنون مراحل تجاری شدن خود را طی می کند. برای مثال ۳۰ در صد پروژه های تحقیقات سازمان محیط زیست آمریکاEPA در سال۲۰۰۰ اختصاص به پروژه های

گیاه پالایی فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو داشت (۷و ۱۵).

گیاه پالاینده ها

گیاه پالاینده ها مجموعه ای از گیاهان می باشد که برای حذف مواد آلی، فلزی، بقایای آفت کشها و بقایای مواد رادیواکتیو از خاک یا پسابها مورد استفاده قرار می گیرد. این فیتوتکنولوژی هم می توانند به صورت مستقل و هم در تلفیق با سایر روشهای پالایش به کار رود. بر اساس این تعریف یک گیاه پالاینده باید حداقل ۱۰۰ mg/g (۰/۱۰ در صد وزن خشک) کادمیم، آرسنیک و برخی از فلزات کمیاب، ۱۰۰۰ mg/g (۰/۱ درصد وزن خشک) کبالت، مس، کروم، نیکل و سرب و ۱۰۰۰۰ mg/g (۱ درصد وزن خشک) منیزیم و نیکل را در بافتهایش انباشت کنند(۳۱ و ۱۵).

تکنولوژیهای گیاه پالایی

گیاه پالایی بر اساس نوع گیاه شامل ۵ تکنولوژی مختلف است که هر کدام یک مکانیزم متفاوت برای پالایش آلودگی های خاک، آب و یا فاضلاب دارند(۴، ۱۵ و ۱۹):

۱ - Rhyzofiltiration

این تکنیک شامل استفاده گیاهان خاکی و آبی به منظور جذب، تغلیظ و رسوب آلودگی ها از منابع آلاینده آبی بر روی ریشه گیاهان می باشد. ریزوفیلتریشن می تواند پسابهای صنعتی، روان آبهای کشاورزی یا رسوبات اسیدهای معدنی را تا حدودی تیمار کند. این تکنیک هم به صورت in-situ و هم ex-situ برای پالایش مناطق آلوده بکار می رود. ترشحات ریشه و تغییرات pH ناحیه ریزوسفر باعث رسوب این فلزات بر روی سطح ریشه می شود. اکثر محققان اعتقاد دارند که گیاهان پالاینده باید فلزات را فقط بر روی ریشه هایشان تجمع دهند. دوشنکو در سال ۱۹۹۵ تشریح کرد که انتقال فلزات به اندام های هوایی کارآیی ریزوفیلتریشن را به خاطر افزایش حجم بقایای مواد گیاهی آلوده که نیازمند مدفون کردن است را کاهش می دهد. در مقابل زو و همکاران در سال ۱۹۹۹ اظهار داشت که کارآیی تکنیک می تواند با استفاده از گیاهان مرتفع به خاطر توانایی آنها در جذب و انتقال فلزات در گیاه افزایش یابد. جدا از این اختلاف نظرها این مسأله واضح است که انتخاب صحیح گیاه کلید اطمینان موفقیت ریزوفیلتریشن به عنوان یک استراتژی تصفیه آب می باشد. دوشنکو و کاپولینک در سال ۲۰۰۰ خصوصیات یک گیاه ایده ال برای ریزوفیلتریشن را تشریح کردند؛ این گونه گیاهان باید قادر به تجمع و مقاومت در برابر مقادیر معنی داری از فلز مورد نظر، جابجایی و برداشت آسان، هزینه نگهداری کم و حداقل ضایعات ثانویه را داشته باشند. همچنین برای ایجاد عملکرد بالا، تولید مقادیر بالای بیومس ریشه یا سطح بالایی از ناحیه ریشه را داشته باشند. چندین گونه از گیاهان آبی مثل Pennywort, duckweed, Hyacinlh توانایی حذف فلزات سنگین را از آب دارند ولی به هر حال این گیاهان به خاطر کوچکی اندازه و رشد کند ریشه هایشان، پتانسیل محدودی برای ریزوفیلتریشن دارند. همچنین به علت بالابودن محتوای آبی این گیاهان، خشک کردن، کمپوست کردن و یا خاکستر کردن آنها مشکل می باشد. کیهان خاکی به دلیل ارتفاع بلندتر و سیستم ریشه ای گسترده به نظر می رسد مناسبتر باشند. گیاهانی نظیر آفتابگردان، خردل هندی، تنباکو، چاودار، اسفناج و ذرت کارایی بالایی برای حذف فلزات نشان داده اند. به خصوص خردل هندی که ثابت شده یک دامنه وسیع (۴۰۰-۵۰۰ mg/lit) حذف سرب را دارد. ریزوفیلتریشن یک تکنولوژی کم هزینه در تیمار آبهای سطحی یا آبهای زیرزمینی حاوی آلودگیهای کم اما با غلظتهای معنی دار فلزات سنگینی نظیر کرم، سرب و روی می باشد. به دلایل فواید تکنیکی ریزوفیلتریشن مانند در کاربرد پالایش اکثر آلودگیهای فلزی، توانایی در تیمار حجمهای زیاد آبهای آلوده، نیاز کمتر به مواد شیمیایی سمی، کاهش حجم ضایعات ثانویه، احتمال احیای مجدد و امکان تنظیم و انتشار کنترل شده تجاری شدن آن را امکان پذیر می باشد.

۲- phytostabilization

گاهی اوقات ضروریت فوری و تقدم برای پالایش سایتهای آلوده به فلزات وجود ندارد. یک تکنیک پالایش که می تواند برای اصلاح چنین سایتهایی به کار رود غیر متحرک کردن و تثبیت فلزات در خاک است. گرچه مهاجرت فلزات در خاک خیلی کم است ولی اغلب خاکها در معرض فرسایش اند که این مسأله سلامتی انسان و محیط زیست را در معرض خطر قرار می دهد. فیتواستبلیزیشن که به عنوان یک تکنیک phytorestoration نیز شناخته می شود، یک تکنیک پالایش براساس گیاهان است که آلودگیها را تثبیت کرده و از طریق کنترل هیدرولیکی، مهاجرت آلودگی ها را به داخل آبهای زیرزمینی متوقف کرده. این تکنیک دقیقاً یک نسخه تغییر یافته روش in place inactivation در اثر عمل اصلاحی گیاهان بر روی خاک می باشد. برخلاف سایر روشهای گیاه پالایی، هدف فیتواستبلیزیشن حذف آلودگیهای فلزی از یک سایت نمی باشد، بلکه با تثبیت آنها خطر تهدید سلامت انسان و محیط زیست را کاهش می دهد. گیاهان انتخاب شده برای فیتواستبلیزیشن باید سیستم انتقال ضعیف آلودگیهای فلزی به اندامهای هوایی که توسط انسان و حیوانات ممکن است مصرف گردد، داشته باشد. عدم فلزات نفوذ یافته در اندامهای هوایی، ضرورت تیمار بقایای شاخ و برگ را به عنوان ضایعات خطرناک را حذف می کند. گیاهان انتخاب شده باید به آسانی بتوانند در محل استقرار یابند، مراقبت آسان، دارای رشد سریع، کانوپی متراکم، سیستم ریشه ای گسترده و مقاوم در برابر آلودگیها باشند. تحقیقات اسمیت و برادشاو در سال ۱۹۹۲ منجر به معرفی دو رقم Agrostis و festuca که هم اکنون به صورت چمن تجاری در دسترس هستند، برای فیتواستبلیزیشن آلودگیهای مس، روی و سرب شد. فیتواستبلیزیشن بیشترین کارآیی را در خاکهایی با بافت ظریف و محتوای بالای مواد آلی دارند و برای تیمار یک دامنه وسیع از سایتهایی که نواحی بزرگی از آلودگیهای سطحی را دارند، مناسب می باشد. درعین حال برای مناطقی که دارای آلودگیهای بالا هستند به دلیل عدم رشد و بقای گیاهان در آن منطقه کارآیی ندارند. فیتواستبلیزیشن فوایدی بیش از فعالیتهای اصلاحی خاک از جمله: هزینه خیلی کم، پایین آوردن ریسکهای محیط زیستی، کاربرد آسان و ارزش زیبا شناختی آن در طراحی منظر سایتهای آلوده دارد. استراتژی فیتواستبلیزیشن در مواقعی که کمبود بودجه در برنامه های اصلاحی و پالایش وجود دارد یا منطقه آلوده بسیار وسیع می باشد، روشی کاربردی و با ارزش می باشد. همچنین این تکنیک به عنوان یک استراتژی موقتی به منظور کاهش ریسک در سایتهایی که هنوز تصمیم گیری برای انتخاب متد پالایش برای آن پیچیده می باشد، کارآمد است.

۳- phytovolatilization

برخی آلودگیهای فلزی نظیر آرسنیک، جیوه یا سلنیوم به صورت آلاینده های گازی در محیط زیست وجود دارند. در سالهای اخیر محققان بر روی یکسری گیاهان طبیعی یا تراریخته که قادر به جذب شکلهای عنصری این فلزات از خاک و تبدیل آنها به فرمهای گازی در طی مراحل بیولوژیکی درونی گیاه و رها کردن آنها به داخل اتمسفر بررسی کرده اند. این تکنیک که فیتوولاتلیزشین نام دارد، بحث برانگیزترین تکنولوژی گیاه پالایی می باشد، چون به هر حال جیوه و سلنیوم به شکل ترکیبات فرار رها شده به اتمسفر بدون شک سمی هستند. بیشترین تمرکز تحقیقاتی بر روی فیتوولاتلیزشین سلنیوم انجام گرفته، زیرا این عنصر در نواحی خاکهای غنی از سلنیوم مشکل جدی در اکثر نقاط جهان می باشد. رها سازی ترکیبات فرار سلنیومی از گیاهان آلی اولین بار توسط لویز ۱۹۶۶ گزارش شد. تری و همکاران در سال ۱۹۹۲ گزارش کردند که اعضای خانواده براسیکاسه قادر به رها سازی سلنیوم به صورت ترکیبات مختلف گازی تا بیش از ۴۰ گرم در یک هکتار درطی یک روز می باشند. برخی از گیاهان آبی نظیر Thypa مناسب برای فیتوولاتلیزشین سلنیوم تشخیص داده شده اند.سرویس تحقیقات کشاورزی USD's دریافت که برخی از گیاهان به

خوبی در محیطهای حاوی مقادیر بالای سلنیوم رشد کرده و تولید ترکیبات سلنیوم فرار به شکل دی متیل سلنید و دی اتیل دی سلینید را می کنند. در سالهای اخیر تلاشهایی به منظور وارد کردن ژنهای باکتریایی ردوکتاز یون Hg به داخل گیاهان با هدف فیتوولاتلیزشین Hg صورت گرفته است. فیتوولاتلیزشین سلنیوم و جیوه به اتمسفر به هر حال چندین مزیت دارد. ترکیبات فرار سلنیوم نظیر دی اتیل سلنید ۶۰۰ تا ۵۰۰ برابر سمیت نسبت کمتر به شکلهای غیر آلی این عناصر در خاک دارند. این تکنیک همچنین یک روش دائمی برای پالایش سایتها است، زیرا فرمهای غیر آلی این عناصر حذف شده و شکلهای گازی نیز احتمال ندارد دوباره در همان مکان یا سایتهای نزدیک نشست کند. بنابراین سایتهایی که این تکنولوژی را اعمال می کنند نیاز به مدیریت زیادی پس از کاشت گیاهان ندارند، علاوه بر این دیگر نیازی به مدفون کردن مواد گیاهی نیز نمی باشد. به هر حال پیش بینی های این تکنیک توافق دارد که فیتوولاتلیزشین برای سایتهایی که هم جوار مراکز جمعیتی اند یا دارای شرایط اقلیمی که منجر به نشست سریع ترکیبات فرار می شود، عاقلانه نمی باشد زیرا که بر خلاف سایر تکنیکهای گیاه پالایی، پس از حذف آلودگیها از این طریق کنترل کمتری برای عدم مهاجرت آنها به نواحی دیگر وجود دارد.

۴- Phytoextraction

فیتواکسترکشن شناخته ترین متد پالایش در میان تکنولوژیهای گیاه پالایی و اکثر تحقیقات بر روی این زمینه تمرکز یافته است. واژه گیاه پالایی و فیتواکسترکشن گاهی به اشتباه به یک مفهوم به کار می رود، در حالی که فیتواکسترکشن یک نوع تکنولوژی خاصی در پالایش می باشد. مراحل فیتواکسترکشن شامل استفاده گیاهان به منظور حذف آلودگیهای فلزی و رادیواکتیو از ماتریکس خاک می باشد. این متد بهترین روش به منظور حذف آلودگیهای اولیه از خاک و ایزوله کردن آنها بدون تخریب ساختار خاک و حاصلخیزی آن می باشد که بر می گردد به خاصیت phytoaccumulation گیاهان که باعث جذب و تغلیظ آلودگیهای خاک در بیومس گیاهی می شود. اگر دسترسی این فلزات در خاک برای گیاهان مناسب نباشد ممکن است استفاده از کلاتهای سنتزی یا ترکیبات اسیدزا به منظور آزاد شدن آنها به داخل محلول خاک و جذب کافی آنها در گیاه لازم باشد. پس از رشد کافی گیاه و تجمع فلزات در بیومس، بخشهای هوایی گیاه برداشت و حذف شده. برخی محققان عنوان کردند که سوزاندن مواد گیاهی برداشت شده به مقدار زیادی حجم مواد برداشت شده برای دفن ضایعات گیاهی را کاهش می دهد. حتی در برخی موارد فلزات قابل ارزش می توانند از خاکستر غنی فلزی به عنوان یک سنگ معدن زیستی bio-ore استخراج گردند و به این طریق مقداری از هزینه پالایش نیز احیا شود. فیتواکسترکشن باید به عنوان یک فعالیت پالایش طولانی مدت که نیازمند سیکل های زراعی بیشتری به منظور کاهش غلظت آلودگیها و رسیدن آن به یک سطح قابل قبول می باشد، نگاه شود. زمان مورد نیاز برای پالایش بستگی به نوع و گسترش آلودگیها، طول فصل رشد و کارآیی حذف فلزات توسط گیاهان در دامنه ای بین ۱ تا ۲۰ سال طول می کشد. این تکنولوژی مناسب برای پالایش نواحی گسترده آلودگیها در عمقهای سطحی با مقادیر کم تا متوسط می باشد. در تعیین کارآمدی این تکنیک فاکتورهای زیادی دخیل می باشند. فیتواکسترکشن فقط در سایتهایی قابل اجرا است که حاوی آلودگیهای فلزی کم تا متوسط باشند زیرا رشد گیاهان در غیر این مناطق با محدودیت مواجه است. همچنین این آلودگیها باید قابلیت دسترسی زیستی bioavalibility برای گیاهان داشته باشند. زمین باید نسبتاً عاری از موانع نظیر درختهای افتاده و توپوگرافی قابل قبولی برای اجرای عملیات کشت را داشته باشد. موفقیت فیتواکسترکشن بستگی به چند خصوصیت گیاهی دارد از جمله توانایی تجمع مقادیر زیاد بیوس، رشد سریع، توانایی تجمع مقادیر زیاد فلزات در بافتهای هوایی که نتیجه اینها حذف اکثر آلودگیها از خاک

می باشد. گیاهان در نظر گرفته شده برای این تکنولوژی باید بـه غلظتهای بـالای این فلزات مقـاوم و کارآمد در انتقال آنها از ریشـه ها به اندامهای هوایی باشـند. سـایر صفات گیاهی مطلوب شامل توانایی مقاومت به شـرایط خاکی (نظیر pH، شوری، ساختار خاک و محتوای آب ...)، تولید سیسـتم ریشه ای متراکم، مراقبت آسان و استقرار سریع، مقاومت به حشرات، آفات و بیماریها می باشـد. اگرچه گیاهی که تمامی این صفات را دارا باشـد، وجود ندارد ولی چشم انداز پروژه های تحقیقاتی با تمرکز بر روی گیاهان اصلاح شده و تراریخته در این زمینه وجود دارد.

phytodegration -۵

در فیتودگریشن مواد آلی، یکسری از فعالیتهای متابولیسمی گیاهان باعث کاهش و حذف آلودگیها از طریق ترسنفورم کردن، شکستن، تثبیت و تبدیل کـردن بـه ترکیبات فـرار می شـود. در تکنولوژی فیتودگریشـن مواد آلی به مولکولهای سـاده تر در بافتهای گیاهی تجزیه شده. گیاهان دارای آنزیمهایی اند که می توانند بقایای آمونیومی، حلالهای کلروره نظیر تری کلرواتیلن و سـایر علفکشـها را تجزیه و تبدیل کنند. این آنزیمها معمولاً دهالوژناز، اکسیرناز و ردوکتاز می باشـند. ریزودگریشن تجزیه مواد آلی در خاک از طریق فعالیتهای میکروبی ناحیه ریشـه (ریزوسفر) است و مراحل آن کندتر از فیتودگریشن می باشـد. یک سری از مخمرها، قارچها، باکتریها و سـایر ارگانیزمها مواد آلی مانند سـوختها و حلالها را مصرف و حـذف می کنند. کلاً تکنولوژیهای گیاه پالایی انحصاری نمی باشند و ممکن است هم زمان چند تکنیک با هم نیز استفاده شود و این بستگی به نوع و حجم ... آلودگیها دارد.

گیاه پالاینده های زینتی

تاکنون گیاه های فراانباشـت زیـادی به منظور پالایش و تصفیه مناطق صنعتی و آلوده شناسـایی و معرفی شـده اسـت. بطوریکه تاکنون ۱۶۳ تاکسا گیاهـی متعلق به ۴۵ خانـواده با توانایی رشـد بر روی غلظتهای بالای فلزات شناسـایی شـده اند. اما اکثر این گونه های گیاهـی متعلق به گروه گیاهان خوراکی و مرتعی می باشـند که احتمال وارد شدن به زنجیره غذایی انسـان، حیوانات و تهدید سلامتی بشـر را به دنبال دارد. به همین منظور گیاهان غیر خوراکی به خصوص گیاهان زینتی و فضای سـبزی گزینه های بسـیار مناسبی برای این تکنولوژی می باشند. (۵) آزمایشات گلخانه ای و مزرعه ای بر روی هیبریدی از درخت سـپیدار .Populus sp نشان داد که این گونه گیاهی قادر به تجمع مقادیر بالایی از Zn (mg/kg۰۰) در برگهایش می باشـد. (۸۱) آزمایشات درون شیشه ای با افزودن µm ۰/۵ سرب در محیط کشـت نشان داد که گیاهچه های باززایی شـده Populus tremula بـا تجمع mg۳۵۰۰ سـرب در یک گرم بیومس گیاه توانایی بالایی را در جذب این فلز سـنگین دارنـد. (۱۵) محققان گیاه زینتی خرزهـره Nerium oleander را به دلیل انباشت مقادیر بالایی از سرب (۸۷ mg/g) در واحد وزن خشک برگها در منطقه آلوده به سرب را به عنوان یک گیاه شاخص برای ارزیابی و مونیتور کردن سرب در هوا معرفی نمودند. در شرایط کشت هیدروپونیک تیمار شـده با فلز سرب، Canna×generalis که یـک گیاه زینتی مهم در فضای سـبز می باشـد و دارای بیومس بالایی نیز اسـت، پتانسـیل زیادی را برای فیتواکسترکشن سـرب از محلول غذایی دارد. Pelargonium sp. یا شمعدانی معطر کارآمدی بالایی برای فراانباشـت فلزات سنگین دارد. در طی یک مطالعه گلخانه ای، قلمه های جوان شـمعدانی معطر در بستر مصنوعی کشت و با محلولهای مختلف فلزی در غلظتهای متفاوت کشـت داده شـد. نتایج نشـان داد که این گونه زینتی قادر به جذب مقادیر زیادی از سـه آلاینده اصلی فلزی (سـرب، کادمیوم و نیکل) در یک زمان نسـبتا کوتاه می باشد. ریشه های این گیاه قادر به اسـتخراج سـرب، کادمیوم و نیـکل به مقادیـر ۹%، ۲/۷% و ۱/۹% به ترتیب در وزن خشک گیاه در طی ۱۴ روز از محلولهای غذایی می باشـد. پیش بینی شد اگر این سرعتهای جذب در شـرایط مزرعه هم حفظ گردد، شمعدانی معطر قادر به تصفیه یک سایت ؛آلوده با آلاینده های فلزی

در کمتر از ۱۰ سال می باشد و با تراکم ۱۰۰ گیاه در متر مربع این گیاه قادر به جذب ۵۰۰۰-۱۰۰۰ کیلوگرم سرب در هکتار در سال می باشد. ویژگی برجسته این گیاه آن است که توانایی بقا و رشد بر روی خاکهای حاوی آلودگی چند گانه فلزی یا مخلوط آلودگیهای فلزی و هیدروکربنی می باشد. (۱۰) در یک تحقیق جالب ارزیابی توانایی گیاهان زینتی برای حذف آلاینده های فرار در اتمسفر داخلی ساختمانها توسط ۷۳ گونه گیاهی زینتی مورد بررسی قرار گرفت که در این آزمایش ۱۰ گونه گیاهی از جمله Hydrangea macrophylla, crassula portulacea, ficus microcarpa, citrus medica بیشترین ظرفیت را برای حذف بنزن از اتمسفر داخلی ساختمانها در طی ۲ روز از خود نشان دادند. (۲۱) مقایسه ۵ گونه از درخت بید .Salix spp به منظور توانایی برای استخراج و تجمع فلزات سنگینی از جمله کادمیوم، کروم ، مس، نیکل، سرب و روی در بخشهای هوایی انجام گرفت و رقم S. dasyclados را برای فراانباشتی مس، رقم هیبرید S. daphnoides×S. pupurea برای کروم، S. triandra برای نیکل، S. schwerinii برای سرب و روی و S. fragilis برای کادمیوم معرفی شدند. (۷۱) استفاده از جذب Cs ۱۳۷ برای آنالیز و ردیابی آلاینده ها در شرایط هیدروپونیک با کشت چند گونه گیاهی شامل گیاهان مردابی، آفتابگردان و Populus simonii مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج جذب Cs ۱۳۷ Popular نسبت به گیاهان دیگر بالاتر بود و بیشترین تجمع در مناطق توسعه سلولی نظیر گره ها، نوک برگ، برگهای جوان و مریستم ساقه های جوان مشاهده شد. (۶۱) گیاه زینتی دارویی Alyssum lebiacum به عنوان گیاه فراانباشت نیکل در یک سایت آلوده با آلودگیهای چند گانه که حاوی آلودگی هیدروکربنهای چند حلقه ای آروماتیک بود پتانسیل بالایی در جذب نیکل داشت. (۱۱) فعالیت آنزیم روبیسکوRUBPC یک مارکر خوب برای تعیین درجه سمیت فلزات در گیاهان می باشد. در همین راستا مطالعه کلروپلاست برگهای Populus nigra نشان داد که با افزایش غلظت مس در خاک، تجمع مس در برگها نیز افزایش می یابد. در این تحقیق مطالعه جذب فلزات سمی (کادمیوم، مس، آلومینیوم، جیوه و نیکل) و پاسخ فیزیولوژیکی برخی درختان غیر مثمر(Salix,Btula, Populus, Quercus, fagus) و تعدادی از گیاهان دارویی (Hypercium,Karwinskia) مورد بررسی قرار گرفت. گونه های دارویی مورد نظر بدون کاهش رشد و بیومس تجمع بالایی از کادمیوم را به خصوص در ریشه هایشان داشتند. اما فعالیت Oxygen Evolution Rate (OER) در کلروپلاست این دو گیاه توسط مس، جیوه و نیکل اثر بازدارندگی داشت. درجه مقاومت سلولهای کالوس Popular alba ازنظر فاکتورهایی نظیر وزن تر، وزن خشک و شاخص رشد در تیمار کادمیوم نتایج قابل توجهی داشت(۶) .(mol۱۰) پروفایل توسعه ریشه به منظور ارزیابی استقرار ریشه چمن Lolium perenne در سطوح مختلف آلودگیهای دیزلی برای کارآیی هضم زیستی در منطقه ریزوسفر Biodegredation نیز مطالعه شد. (۸) مقاومت به کادمیوم در شرایط درون شیشه ای دو نوع چمن فصل گرم Cynodon dactylon و Paspalum vaginatum با بررسی میزان رشد و تشکیل ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. (۲) برخی از جنسهای گونه های سرخس Pteris که بعنوان گیاهان فراانباشت آرسنیک شناخته شده اند، در شرایط هیدروپونیک بیشترین تجمع را در قسمت هوایی نسبت به ریشه ها داشتند. (۱۰) سیستم سنتز یکسری فیتوکلاتها (پروتئین‌های‌غنی از سیستئین) برای مکانیزم سم زدائی کادمیوم در یکسری از بازدانگان و نهاندانگانی نظیر Gingko biloba, Abies alba, picea abies, Pinus pin, Pinus sylvestris, Phoeonix dactylifera, Cyperus esculentum, Ananas comosus, ...شناسایی شد. اصلاح گیاهان با تولید بیومس بالا و پتانسیل انباشت زیاد یک روش کارآمد برای انتقال توان گیاه پالایی می باشد. عموما ژنهای دخیل در مقاومت و انباشت توسط ژنهای زیادی کنترل می شود و بنابراین

تحریک تک ژن وارد شـده به گیاه میزبان مشـکل می باشـد. تکنیکهای مهندسـی ژنتیـک به منظور ایجاد کارآیی بیشـتر ژنهای تجمعی به سایر گیاهان توسـط تعداد زیادی از محققان ارائه شده است. (۹) خردل هنـدی Brassica juncea به عنوان یک گیاه فراانباشـت با بیومس بالا شناخته می شود. به منظور بالا بردن کارآیی گیاه پالایی در گیاه محققان یک ژن آنزیم سلنوسیسـتئین ترنسفراز (SMT) را از گیاه کند رشد Astragalus bisulcatus را به خردل هندی منتقل کردند و مشاهده نمودند با بیان فوق العاده این ژن مقاومت به سـلنیوم و تجمع آن نسـبت به ارقام وحشی تفاوت چشمگیری پیدا کرد. (۱۴) همچنین با اسـتفاده از کشت امبریوژنتیک و تکنیک انتقال ژن در درخت لاله Liriodendron tulipfera دانهالهایـی تولید شـدند که بیان ژن تغییر یافته Mer A را از باکتری داشـته باشند. به ایـن صورت که توده پلـی امبریوژنتیک درخت لاله (PEMS) از طریق بمبـاران ذره ای با ژن مقاومت به جیوه (Mer A) از یک باکتری ترسفورم گردید. دانهال سوماتیکی درخت لاله که حاوی ژن مدیفاید شـده بود در محیط حاوی سـطح سمی MM ۵۰ یـون جیوه رشـد نرمالـی داشـت. همچنین این گیاهچه های ترسـفورم شـده جیوه(Hg II) را به میزان ۱۰ برابر بیشـتر از گیاهچه های وحشـی به شـکل عنصری و کم خطرتر آن (Hg ۰) به اتمسفر رهـا نمودنـد(Phytovolatilization). این گیاه با اسـتفاده از روش اگروباکتریـوم در ریزنمونه های شاخسـاره های نابجا حاصل از ریزنمونه های برگی ترسفورم شـده در حضور MM ۵۰ یون جیوهHg II باززایی و ریشه دار شدند. گیاهچه های ترنسفورم شـده در حضور یون جیوه HgII، ۴-۲ برابر بیشتر Hg ۰ را نسـبت به گیاهچه های ترنسفورم نشده به اتمسفر رها نمودند.

نتیجه گیری کلی

گیاه پالایی یک تکنولوژی رو به گسترشـی است کـه از ۱۰ سـال پیش جنبه های کاربـردی آن در تمام دنیا آغاز گردید و آن شامل پالایش آلودگی های ارگانیک، غیر ارگانیک و مواد رادیواکتیویته می باشد. این تکنیک پایدار و ارزان خیلی سریع به عنوان یک راه حل جایگزین برای روشـهای تصفیه سنتی رواج پیدا کرد. در بیشتر سایتهای آلوده گونه های گیاهی علفی و مقاومی وجود دارد و پالایش توسط آنها و سایر گونه های غیـر خوراکی بویژه گونه هـای زینتی به دلیل عدم وارد شـده به شـبکه زنجیره غذایی یک روش ایمن تصفیه بیولوژیکی می باشـد. پس از طی شدن زمان پالایش گیاهان برداشت شده و می توانند به منظور کاهش حجم بقایای مواد آلوده گیاهی، متراکم شده و سـپس در شرایط کنترل شده دفن و سوزانده می شـوند که خاکسـتر آنها نیز می تواند به عنوان یک سـنگ معدن زیسـتیbio-ore به منظور احیای مجدد فلزات مورد استفاده قرار گیرند. اما به هر حال در این تکنیک نیز یکسری محدودیتهایی وجود دارد. از موارد قابل توجه آن اسـت که به هر حال گیاهان برای استخراج و انباشت مواد آلوده پتانسیل خاصی دارنـد. همچنین پس از طی مدتی این بقایای آلوده باید برداشـت و مدفون یا سـوزانده شوند که ایجاد عدم شـرایط بازگشـت مجدد این فلزات به خاک و نشـت مواد آلوده به محیط ضروری می باشد. عموما گیاه های فراانباشـت شناخته شـده دارای بیومس پایین، رشد کند و سیستم ریشه ای سطحی اند که پتانسیل گیاه پالایی را پایین می آورد. عواملی مانند pH خاک و آب در فراهمی زیستیbioavailable فلزات سـنگین برای گیاهان بسیار تاثیر گذار است و هنوز مطالعات تکنیکی بسـیاری برای شناسـایی گیاهان فراانباشـت برای پالایـش آلودگیهای چند گانه در مناطق آلوده مورد نیاز است.

منابع مورد استفاده:

1- Azevedo, J.A. and R.A. Azevedo. 2006. Heavy metals and oxidative stress: where do we go from here? Communications in biometry and crop science Vol. 1, No. 2, pp:135-138 (g7-6)

2- Baldwin, P.R. and D.J. Butcher. 2007. Phytoremediation of arsenic by two hyperaccumulators in a hydroponic environment. Microchemical journal vol 85 pp:297-300(s8)

3- Baycu, G. 2002. Phytochelatin biosynthesis and cadmium detoxification. Journal of cell and molecular biology 1:45-55 (g10)

4- Ghosh, M. and S.P. Singh. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its bypr-oducts. Applied ecology and environmental research 3(1): 1-8 (g5-3)

5- Hinchman, R.R., M.C. Negri and E.G. Gatliff. 1996. Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater and wastewater. Argonne national laboratory, Applied natural sciences (g3-1)

6- Kechavarzi, C., K. Pettersson, P. Leeeds-harrison, L. Ritchie and S. Ledin. 2007. Root stablishment of perennial ryegrass (L. Perenne) in diesel contaminated subsurface soil layers. Environmental pollution 145 pp:68-74(s9)

7- Kramer, U. 2005. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. Current opinion in biotechnology 16:133-141 (g4-2)

8- Kuo, Y., Y. Chang, M.A. Lila and H. Chiu. 2005. Screening growth and root formation in cadmium-treated turfgrass using a whole-plant microculture system. Journal of plant nutrition 28 No.6 pp:1041-1048(s11)

9- LeDuc, D.L., M. AbdelSamie, M. Montes-Bayon, C.P. Wu, S. J. Reisinger and N. Terry. 2006. Overexpressing both ATP sulfurylase and selenocysteine methyltransferase enhances selenium phytoremediation traits in Indian mustard. Environmental Pollution 144 70-76(b15)

10- Liu, Y., Y. Mu, Y. Zhu, H. Ding and N.C. Arens. 2007. which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air?. Atmospheric environment 41 pp: 650-654 (f0)

11- Lux Alexander, E. Masarovicova, K. Kralova, F. Sersen, A. Bumbalova and D. Liskova. 2005. Toxic metals uptake and physiological responses of trees and some medicinal plants.(p11)

12- Meers, E., B. Vandecasteele, A. Ruttens, J. Vangronsveld and F.M.G. Tack. 2007. Potential of five willow species (Salix spp.) for phytoextraction of heavy metals. Environmental and experimental botany vol 60 pp:57-68 (p6)

13- Memon A.R., D. Aktoprakligil, A. Ozdemir and A. Vertii. 2001. Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. Turk j bot 25 pp: 111-121 (g11-5)

14- Merkle, S.A. Engineering forest tree with heavy-metal resistance genes for phytoremediation. Agricultural biotechnology(b5)

15- Prasad, M.N.V. and H.M.O Freitas.

2003. Metal hyperaccumulation in plants – biodiversity biotechnology Vol.6 No.3 (g1- 4)

16- Singer A.C.,T. Bell, C.A. Heywood, J.A.C. Smith and I.P. Thompson. 2006. Phytoremediation of mixed-contaminated soil using the hyperaccumulator plant Alyssum lesbiacum: evidence of histidine as a measure of phytoextractable nickel. Environmental pollution (s5)

17- Soudek, P., T. Vanek, H. Lipavska, J. Albrechtova and R. Tykva. Phytoremediation of toxic metals and radionuclides at the laboratory scale(p14)

18- Spirochova, I., T. Vanek, P. Soudek and J. Puncocharova. A study of accumulation of heavy metals by in vitro culture of plants (p15)prospecting for phytoremediation technology. Electronic journal

19- Vavasseur, A. and G. Peltier. 2003. Biodepollution and bioremediation plants to clean up soils and water. Clefs cea No.48 pp:85-87 (g13-7)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی