Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره دوازدهم، شماره چهار، زمستان ۸۹

توانایی گونه های گیاهی مختلف در حذف ترکیبات نفتی از خاک و تأثیر آلودگی نفتی بر رشد این گونه های گیاهی

علی دریابیگی زند[۱]*
a_d_zand@yahoo.com
غلامرضا نبی بیدهندی[۲]
ناصر مهردادی[۳]
روانبخش شیردم[۴]

تاریخ دریافت:۸۶/۴/۵ **تاریخ پذیرش:۸۶/۵/۱**

چکیده

زیست پالایی گیاهی یک فن آوری اقتصادی و دوستدار محیط زیست می باشد که می تواند در حذف آلودگی نفتی از خاک مؤثر باشد. انتخاب گونه های مقاوم و بومی که قابلیت تطابق با شرایط محیطی در محل آلوده را دارند یک عامل کلیدی در موفقیت زیست پالایی گیاهی است که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. این تحقیق به بررسی پارامترهای رفتاری ۵ گونه گیاهی یونجه، کرچک، آفتابگردان، کتان و ذرت بلالی در خاک بسیار آلوده (بدون کود و کوددار) و توانایی آن ها در حذف ترکیبات نفتی از خاک پرداخته است. پایش رشد گیاه در روزهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ انجام گرفت. آنالیز غلظت آلودگی در خاک به روش گازکروماتوگرافی (GC) با دتکتور FID انجام گرفت (هشت نمونه خاک با سه تکرار). آلودگی نفتی دارای تأثیر قابل ملاحظه بر رشد گیاهان بود. گونه های آفتابگردان و ذرت بلالی نسبت به سایر گونه ها از رشد بهتری در خاک های آلوده برخوردار بودند. در میان گیاهان رشد کرده در خاک آلوده، بیشترین ارتفاع اندام هوایی در گونه گیاهی آفتابگردان (تیمار I-۲۵/۵ سانتی متر)، حداکثر طول ریشه در کرچک (تیمار H -۲۶ سانتی متر)، حداکثر بیومس خشک ریشه در آفتابگردان (تیمار I-۴/۲ گرم) و بیشترین بیومس خشک اندام هوایی برای ذرت بلالی (تیمار E-۲/۶ گرم) به دست آمد. همچنین در میان کودهای استفاده شده، کود پیت بهترین کارایی را بر رشد گیاهان در خاک آلوده به ترکیبات نفتی نشان داد. حداکثر میزان حذف TPHs در کتان (۸۷/۶۳ ٪) مشاهده شد به طوری که این گونه گیاهی توانست در مدت سه ماه بیش از mg/kg ۳۵۰۰۰ از ترکیبات نفتی خاک را حذف کند. نتایج این تحقیق نشان داد تکنولوژی زیست پالایی گیاهی روشی مؤثر و نوید بخش در حذف آلودگی نفتی از خاک های بسیار آلوده می باشد.

واژه های کلیدی: آلودگی نفتی، انتخاب گیاه، پارامترهای رشد، زیست پالایی گیاهی، آلودگی خاک، پالایشگاه تهران .

۱- دکترای مهندسی محیط زیست، استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی*(مسئول مکاتبات).
۲- دکترای محیط زیست، دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- دکترای محیط زیست، دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۴- دکترای محیط زیست، استادیار مؤسسه محیط زیست

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آلودگی خاک به ترکیبات نفتی یکی از شایع ترین معضلات زیست محیطی می باشد (۱). هیدروکربن های نفتی (TPHs) یکی از متداول ترین گروه های آلاینده های آلی پایدار در محیط می باشند (۲). آلودگی خاک به هیدروکربن های نفتی به شکل وسیع در اطراف تأسیسات اکتشاف و پالایش و به شکل موضعی در مسیرهای انتقال این مواد در ایران مشاهده شده است (۳). آلودگی خاک به هیدروکربن های نفتی مختص نقطه یا نقاط آلوده شده نبوده و هیدروکربن های نفتی می توانند در خاک حرکت کرده و خود را به منابع آب زیر زمینی برسانند که این مشکلات در سال های اخیر به وضوح در کشور قابل مشاهده است (نظیر مناطق اطراف پالایشگاه تهران).

به طور کلی تجمع آلاینده ها در خاک می تواند اثرات مخربی بر محیط و سلامت انسان داشته باشد. آلاینده های موجود در خاک می توانند وارد زنجیره غذایی شده و سلامت حیوان و انسان را با خطر جدی مواجه سازند (۴). آبگریزی نسبتاً بالای هیدروکربن های نفتی موجب افزایش چشمگیر قابلیت تجمع این آلاینده ها در خاک و رسوب نسبت به محیط های آبی می گردد (۵). همچنین آبگریزی بالای این ترکیبات موجب پیوستن آن ها به ذرات خاک و رسوب شده و منجر به کاهش دسترسی زیستی به این آلاینده ها جهت جذب بیولوژیکی می گردد (۶و۷). لذا می بایست راهکارهای مناسبی جهت حذف یا کنترل آلاینده های خاک اتخاذ شود. در سه دهۀ اخیر روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی نظیر تصفیه حرارتی، تثبیت و جامد سازی و زیست پالایی یا زیست سالم سازی[1] ، جهت رفع آلودگی از خاک ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته اند. روش های فیزیکی و شیمیایی جهت حذف آلودگی از مناطق با وسعت نسبتاً کم کاربرد دارند و برای مساحت های زیاد نظیر خاک های آلوده به مواد صنعتی، مواد نفتی، محل های معدنکاری و نظایر آن بسیار پر هزینه هستند (۴). علاوه بر هزینه بالا، روش های فیزیکی و شیمیایی مخلّ شرایط طبیعی محیط زیست می باشند (۸و۹).

متأسفانه هزینه های بالای حذف آلاینده ها از خاک به وسیله روش های فیزیکی و شیمیایی متداول سبب شده است بسیاری از کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه که از قدرت فنی و اقتصادی کمتری نسبت به کشورهای پیشرفته برخوردارند، از این مشکل به طور کلی صرف نظر کنند. در عین حال کشورهای صنعتی در تلاش برای دست یابی به فن آوری های پالایش ارزان و کارآمد، پیشگام و پیشتاز هستند که این نشانی از درک صحیح از اهمیت مسایل زیست محیطی و تلاش آگاهانۀ آن ها در برخورد با معضلات زیست محیطی می باشد. سابقه طولانی انجام فعالیت های وابسته به صنایع نفتی در ایران، عدم توجه به مسایل زیست محیطی طی سالیان متمادی و عدم اقدام مؤثر جهت حذف یا کنترل آلودگی های نفتی در کشور گویای این واقعیت است که معضل زیست محیطی آلودگی خاک (و به تبع آن منابع آب) به ترکیبات نفتی در ایران جدی می باشد. هزینه بالای حذف آلاینده ها از خاک از یک سو و جدی تر شدن خطرات بهداشتی مربوط به آلودگی خاک از سوی دیگر موجب تلاش جهت ایجاد و توسعه فن آوری های جایگزین و ارزان تر برای پالایش زمین های آلوده گردیده است. مجموعه این تلاش ها به درک کامل تر از توان میکرو ارگانیسم ها در پالایش مؤثر و اقتصادی خاک های آلوده و در ادامه، استفاده از گیاهان جهت حذف آلاینده های خاک انجامیده است.

زیست پالایی گیاهی[2] یک فن آوری نسبتاً جدید، مؤثر و دوستدار محیط زیست می باشد که توانایی آن در حذف بسیاری از آلاینده ها به ویژه ترکیبات نفتی به اثبات رسیده است. زیست پالایی گیاهی یک روش اقتصادی برای مدیریت مواد زاید به ویژه مقادیر مازاد هیدروکربن های نفتی، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، مواد منفجره، مواد آلی و مواد مغذی می باشد. مواد زایدی که به طور بالقوه با استفاده از زیست پالایی گیاهی قابل مدیریت می باشند بسیار متنوع می باشند که از آن جمله می توان به فلزات،

1- Bioremediation

2- Phytoremediation

www.SID.ir

Archive of SID

رادیونوکلایدها، نمک ها، مواد مغذی، مواد آلی و ... اشاره کرد. زیست پالایی گیاهی می تواند ابزاری قوی در مدیریت مواد زاید نفتی باشد (۱۰).

در زیست پالایی گیاهی همکاری میان ریشه گیاهان و میکروارگانیسم های خاک به تجزیه آلاینده های آلی پایدار کمک می کند. حذف ترکیبات نفتی از خاک در زیست پالایی گیاهی، غالباً به میکروارگانیسم هایی که در ریزوسفر، تحت تأثیر ریشه گیاه زندگی می کنند نسبت داده می شود (۷). جمعیت های میکروبی در خاک های گیاهکاری شده نسبت به خاک های فاقد گیاه بزرگ تر و فعال تر می باشند (۱۱و۱۲). میکروارگانیسم ها در ریزوسفر از ترشحات ریشه سود می برند و گیاهان نیز از سمیت زداییِ متابولیکی از ترکیبات بالقوه سمی، توسط جمعیت میکروبی بهره مند می گردند (۸). همچنین میکروب ها قادرند برخی مواد مغذی لازم برای رشد گیاه را به صورت محلول در آورده و در اختیار گیاه قرار دهند و نیز با تأمین ویتامین ها، آمینو اسید ها، هورمون های گیاهی نظیر آکسین ها به رشد گیاه کمک کنند (۸و۱۳). یکی از مزایای زیست پالایی گیاهی نسبت به سایر روش های پالایش خاک آن است که نیروی محرکهٔ زیست پالایی گیاهی توسط انرژی خورشید تأمین می گردد که موجب کاهش چشمگیر هزینه پالایش خاک می شود. افزودن مواد مغذی به خاک توسط کود دهی می تواند به رشد گیاه (افزایش بیومس گیاه) و از آن طریق به حذف آلودگی کمک کند (۷). در این تحقیق تأثیر برخی کودهای آلی بر رشد گیاهان مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعات رابطه مستقیم بین بیومس گیاه و حذف آلاینده ها از خاک را نشان داده اند. بسیاری از گونه های گیاهی به آلاینده های نفتی حساسند (۱۴). کاهش شدید رشد گیاهان در خاک های آلوده به هیدروکربن های نفتی در برخی مطالعات مشاهده شده است. رشد گیاه ryegrass در خاک آلوده به ۲۵ g/kg مواد نفتی در یک مطالعه ۷۷٪ و در آزمایشی دیگر با شرایط مشابه ۹۶٪ نسبت به شرایط طبیعی کاهش یافت (۱۵). این به دلیل اثرات منفی مستقیم (در اثر تماس با مواد نفتی) و غیر مستقیمِ (با تأثیرگذاری بر عوامل زیستی و غیر زیستی مربوط به رشد گیاه نظیر تغییر میزان مواد مغذی و خصوصیات خاک) ترکیبات نفتی بر گیاه می باشد (۱۶). در مطالعه ای دیگر از گیاه Cyperus laxus در حذف TPH استفاده شد. این گونه گیاهی قادر است در خاک هایی که غلظت TPH در آن ها تا ۲۰۰ g/kg است، رشد کند. در این آزمایش غلظت TPH تا ۹۰٪ در شرایط آزمایشگاهی کاهش یافت (۸). مطالعات haung و همکارانش (۲۰۰۵) نشان داد بازده حذف TPHs از خاک توسط ترکیب روش زیست پالایی گیاهی با زیست پالایی و برخی اقدامات مکانیکی-کشاورزی افزایش می یابد. در آزمایشی دیگر ذرت و Elephant grass توانستند در مدت دو هفته غلظت کل هیدروکربن ها را به ترتیب ۷۷/۵ و ۸۳٪ کاهش دهند (۱۷). به طور کلی چمن ها[1] و علف های یک ساله جهت حذف ترکیبات نفتی در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته اند (۱۱). مطالعات نشان داده است که چمن ها و لگوم ها[2] به علت فرم و شکل ریشه هایشان می توانند در زیست پالایی گیاهی محل های آلوده به ترکیبات نفتی مؤثر عمل کنند، با این حال استفاده از لگوم ها در برخی مطالعات ناموفق بوده است (۱۸).

علی رغم مطالعات نسبتاً وسیع انجام گرفته در خصوص زیست پالایی گیاهیِ خاک های آلوده به ترکیبات نفتی در دنیا، مطالعات بسیار محدود و پراکنده ای در این خصوص در ایران صورت گرفته است (۳و۱۹) که در آن ها آلودگی به طور مصنوعی به خاک پاک اضافه شده است. همچنین بعضاً نتایج متناقضی در متون علمی در خصوص کارایی این روش در حذف آلاینده ها از خاک گزارش می شود (۲۰). علت این امر site-specific بودن روش زیست پالایی گیاهی می باشد. همچنین رفتار خاک هایی که از محل آلوده به ترکیبات نفتی تهیه می شوند با خاک های تمیزی که در آزمایشگاه به آن ها ترکیبات نفتی اضافه می شود، در حین زیست پالایی گیاهی، کاملاً متفاوت است (۲). لذا بهتر است جهت حصول نتایج واقعی تر از خاک تهیه شده از محل آلوده که بازتابنده شرایط واقعی محل

1- Grasses
2- Legumes

www.SID.ir

Archive of SID

آلوده است، استفاده گردد. این امر در تحقیق حاضر لحاظ شده است.

این تحقیق به بررسی توان ۵ گونه گیاهی مختلف در حذف ترکیبات نفتی از خاک های بسیار آلوده که غلظت TPHs در آن بیش از ۵۰۰۰۰ mg/kg است، پرداخته است. همچنین با توجه به این که رشد گیاه، به ویژه در ناحیه ریشه، دارای تأثیر قابل ملاحظه بر کارایی زیست پالایی گیاهی می باشد، توان رشد و پارامترهای رفتاری گونه های گیاهی استفاده شده در این مطالعه نظیر ارتفاع و بیومس اندام هوایی و طول و بیومس ریشه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

۱. تهیه خاک برای اجرای پایلوت

جهت راه اندازی پایلوت، خاک آلوده از زمین های بسیار آلودهٔ پوند شمارهٔ ۴ پالایشگاه تهران و اطراف آن تهیه شد. جهت نمونه برداری از سایت آلوده ابتدا مناسب ترین نقاط درون پوند ۴ که شاخص ترین آلودگی ها به طور واضح قابل مشاهده بود، انتخاب گردید. نقاط منتخب توسط وسایل حفاری ساده کنده شده و خاک ها به محل اجرای پایلوت در خارج از پالایشگاه انتقال داده شد. همچنین در منتهی الیه سمت راست پوند شرقی آلودگی ناچیزی به چشم می خورد که با توجه به محل سرریز آلودگی که در سمت چپ پوند شرقی قرار داشت و مسطح بودن تقریبی پوند، امری طبیعی بود. این نقاط برای نمونه برداری انتخاب نشدند. نمونه های خاک پس از انتقال به محل اجرای پایلوت کوبیده شدند تا کلوخه ها خرد شوند. سپس خاک برهم زده شد و نهایتاً از سرند ۱۰ mm عبور داده شد تا ذرات درشت خاک و سنگدانه ها که قابل خرد شدن نبودند از خاک جدا شده و مخلوطی یکنواخت حاصل گردد. در غالب مطالعات خاک از الک ۲ mm عبور داده می شود که مطابق استانداردهای آشتو[1] و انستیتو تکنولوژی ماساچوست مرز ذرات ماسه و شن است (۲۱). لیکن این امر موجب از دست رفتن بخش قابل توجهی از خاک های درشت دانه و عدم تطابق خاک محل و خاک استفاده شده در زیست پالایی گیاهی می شود. لذا برای آن که ساختار خاک مورد آزمایش بیانگر ساختار واقعی خاک محل آلوده باشد از سرند ۱۰ میلی متری استفاده شد. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک و روش اندازه گیری آن ها در جدول ۱ آمده است.

1- AASHTO

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در زیست پالایی گیاهی

پارامتر	مقدار	روش
رس (٪)	۳۳	هیدرومتری
سیلت (٪)	۳۳	هیدرومتری
ماسه (٪)	۲۰	هیدرومتری
شن (٪)	۱۴	با استفاده از الک
مواد آلی (ğ)	۶/۹۲	Walkley-Black
کربن آلی (ğ)	۴/۰۲	-
pH	۷/۶	1:1 soil/water slurry
EC (دسی زیمنس بر متر)	۲/۹۳	1:2 soil/water slurry
نیتروژن (ğ)	۰/۱۳	کجلدال
فسفر (mg/kg)	۹	اولسن

1-Organic Matter

پس از آن که مخلوط نسبتاً یکنواختی از خاک به دست آمد، خاک به میزان ۱/۵ کیلوگرم توزین و به گلدان های از جنس پی وی سی منتقل شد. تیمارهای اصلی (بدون کود) در سه تکرار و تیمارهای کوددار در دو تکرار آرایش داده شدند. افزایش هدایت الکتریکی (EC) خاک رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد، لیکن اغلب گیاهان تا زمانی که هدایت الکتریکی بزرگ تر از ۴ دسی زیمنس بر متر نشود زیاد متأثر نمی شوند (۱۰). خاک مورد استفاده در این تحقیق دارای EC برابر ۲/۹۳ دسی زیمنس بر متر است (جدول ۱). همچنین آلودگی خاک به هیدروکربن های نفتی موجب کاهش جذب نیتروژن توسط گیاه و افزایش نسبت C/N می گردد. در خاک آلودهٔ مورد مطالعه در تحقیق حاضر نیز نسبت C/N نسبتاً بالا بوده (حدود ۳۰/۹) و این امر می تواند موجب افت کارایی زیست پالایی گیاهی به دلیل کمبود نیتروژن برای متابولیسم هیدروکربن های نفتی گردد (۲۲). لذا در این مطالعه به منظور بهبود وضعیت مواد مغذی خاک و بررسی تأثیر کوددهی بر رشد گیاه در خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی از سه نوع کود آلی استفاده شد. این کودها عبارت بودند از کود حیوانی، خاکبرگ و کود پیت. خصوصیات کود پیت مورد استفاده عبارت بود از ۵/۵ = pH، نیتروژن کل = ۱/۱ درصد، فسفر موجود = mg/kg ۳۲/۷، پتاسیم = mg/kg ۲۲۸۰ و کربن آلی = ۳۰/۹٪. ترکیب خاک در گلدان ها به قرار زیر بود:

۱- خاک C: خاک پاک زمین های اطراف پوند ۴ پالایشگاه تهران بدون سابقه آلودگی (خاک کنترل یا شاهد)

۲- خاک E: خاک بسیار آلوده (ğ۸۰) + خاک پاک (ğ۲۰)

۳- خاک H: خاک بسیار آلوده (ğ۸۰) + خاکبرگ (ğ۲۰)

۴- خاک G: خاک بسیار آلوده (ğ۸۰) + خاک پاک (ğ۱۰) + کود حیوانی (ğ۱۰)

۵- خاک I: خاک بسیار آلوده (ğ۸۰) + کود پیت (ğ۲۰)

غلظت اولیه TPHs در خاک تهیه شده از پوند پالایشگاه تهران mg/kg ۵۰۵۱۶ (بیش از ۵٪ وزنی) بود که نشان دهنده سطح آلودگی بسیار بالا در خاک است. با توجه به آن که در ترکیبات مختلف خاک از مخلوط همگن ۸۰٪ خاک بسیار آلوده و ۲۰٪ خاک پاک و کودهای مذکور استفاده شد، غلظت آلودگی در نمونه های خاک E، H، G و I بیش از mg/kg ۴۰۰۰۰ یا ۴٪ وزنی (mg/kg ۴۰۴۱۲) می باشد (آلودگی بسیار بالا). علاوه بر پرورش گیاهان در انواع خاک های مذکور یک تیمار شاهد (بدون گیاه) که در آن آلودگی به طور طبیعی کاهش می یافت و یک تیمار لندفارمینگ[1] در نظر گرفته شدند. لند فارمینگ عبارت است از برهم زدن خاک آلوده (دستی یا مکانیکی) به منظور هوادهی آن و در نتیجه افزایش توان واکنش های اکسیداسون- احیا در خاک. این روش همچنین آلاینده های دفن شده در خاک را در معرض نور خورشید قرار داده و شرایط را برای فتواکسیداسیون مهیا می سازد. به علاوه امکان تماس آلاینده های خاک و میکروب ها توسط این عمل افزایش می یابد. به طور کلی قابلیت تجزیه زیستی آلاینده های آلی نظیر هیدروکربن های نفتی (به ویژه ترکیبات سبک تر) توسط این روش افزایش می یابد (۱۴).

1- Land-farming

www.SID.ir

Archive of SID

۲. انتخاب گیاهان برای انجام زیست پالایی گیاهی

شناسایی و انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم و مستعد احتمالی در حذف آلودگی های نفتی به شرح زیر انجام گرفت:

الف- مطالعات کتابخانه‌ای به منظور شناسایی گونه‌های گیاهی مقاوم و مستعد در حذف آلودگی های نفتی از خاک با توجه به پژوهش های انجام شده در این زمینه.

ب- انجام بازدیدهای صحرایی جهت بررسی و شناسایی انواع گونه‌های گیاهی در حال رشد در زمین های آلودهٔ بخش شرقی پوند شمارهٔ ۴ پالایشگاه و اطراف آن. به عنوان مثال در اطراف پوند ۴ پالایشگاه تهران گونه های گیاهی آفتابگردان و خارشتر به چشم می خوردند که به صورت خودرو در خاک های آلوده نفتی رشد کرده بودند. از این میان گونه خارشتر به دلیل دارا بودن ریشه های بسیار کم و ضعیف انتخاب نشد، لیکن گونه آفتابگردان نسبت به خارشتر از وضعیت بهتری برخوردار بود، همچنین در برخی مطالعات به عنوان گونهٔ مقاوم به آلودگی نفتی مورد استفاده قرار گرفته بود (۲۳) . لذا برای انجام زیست پالایی گیاهی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

ج- مطالعه و انتخاب برخی گونه های بومی که برای اولین بار در مطالعات زیست پالایی گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند، نظیر کتان که به علت دارا بودن سیستم ریشه گسترده انتخاب شد.

با توجه به بررسی های انجام یافته ۵ گونه گیاهی یونجه، کرچک، آفتابگردان، کتان و ذرت بلالی انتخاب شده و بذر آن ها درون گلدان های مختلف به منظور انجام زیست پالایی گیاهی و نیز بررسی توان رشد در خاک آلوده کاشته شد. بذرها به تعداد ۱۰ عدد (آفتابگردان و کرچک)، ۱۵عدد (ذرت بلالی) و ۲ گرم (کتان و یونجه) در عمق ۲ – ۱/۵ سانتی متری خاک در هر گلدان کاشته شدند و گلدان ها در محوطهٔ باز زیر نور خورشید قرار گرفتند.

۳. اندازه گیری شاخص های رشد گیاه در خاک آلوده

گیاهان در یک دوره سه ماهه از ابتدای شهریور تا انتهای آبان پرورش داده شدند. مانیتورینگ رشد گیاهان در روزهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ انجام گرفت. میزان جوانه زنی در هفته های ابتدایی با شمارش تعداد بذر رشد کرده مشخص شد و مورد بررسی قرار گرفت. ارتفاع اندام هوایی اندازه گیری شد. همچنین پس از طی دوره رشد سه ماهه، گیاهان مورد نظر از گلدان خارج و اندازه گیری های مربوط به طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی انجام گرفت. بدین منظور ابتدا گیاه به دقت از خاک خارج و به آرامی زیر آب روان شستشو داده شد به نحوی که ریشه ها جدا نگردند. سپس با استفاده از خط کش طول ریشه و اندام هوایی اندازه گیری شد. ریشه و اندام هوایی هر گیاه پس از جداسازی درون کیسه نایلونی قرار داده شد. به منظور اندازه گیری بیومس خشک گیاهان به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد درون آون قرار گرفتند و پس از خشک شدن توزین شدند.

۴. نمونه برداری از خاک گلدان ها

پس از تخریب گلدان ها در انتهای روز ۹۰ ام (انتهای پایلوت) و جدا سازی گیاه از خاک، خاک درون هر گلدان بر روی یک کیسه نایلونی ریخته شد و کاملاً بر هم زده شد تا مخلوطی همگن از خاک گلدان به دست آید. با توجه به در دسترس بودن خاک به مقدار کافی محدودیتی در برداشت خاک از گلدان ها وجود نداشت. لذا حدود ۱۵۰-۱۰۰ گرم از خاک همگن شده برداشته شد و برای آنالیز به آزمایشگاه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران ارسال شد.

۵. اندازه گیری غلظت ترکیبات نفتی در خاک

نمونه های خاک در دمای اتاق خشک شدند و سپس از الک ۲ mm عبور داده شدند. نمونه ها پیش از استخراج و آنالیز در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگه داری شدند. استخراج ترکیبات نفتی از خاک توسط اولتراسونیک با استفاده از حلال آلی دی کلرومتان انجام شد. بدین ترتیب که ۱۰ سی‌سی دی کلرو متان به حدود ۵ گرم خاک آلوده اضافه شد و سپس به مدت ۳ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. کل این عملیات سه بار تکرار شد (۲۴). سپس عصاره های به دست آمده تحت جریان ملایم گاز نیتروژن تغلیظ شدند تا حلال

www.SID.ir

Archive of SID

کاملاً تبخیر شده و حجم نمونه تغلیظ شده به ۱ ml برسد. جهت سنجش و اندازه گیری TPHs موجود در خاک از دستگاه گازکروماتوگرافی (GC) استفاده گردید. مدل دستگاه UNICAM 610 با دتکتور FID بود. ستون مورد استفاده برای آنالیز از نوع DB-5 با ۳۰ متر طول، ۰/۲۵ میلی متر قطر داخلی و ۰/۲ میکرون ضخامتِ فیلم بود. مقدار ۲ میکرو لیتر از نمونهٔ تغلیظ شده به دستگاه تزریق شد. دمای انژکتور و دتکتور FID به ترتیب بر روی ۲۸۰ و ۳۴۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد. دمای اولیهٔ ستون به مدت ۵ دقیقه برابر ۵۰ درجه سانتی گراد بود و سپس با گرادیان دمای ۱۰ °C/min به ۲۵۰ درجه سانتی گراد افزایش داده شد و به مدت ۴۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد.

نتایج و بحث

۱. اثر آلودگی نفتی بر پارامترهای رفتاری گیاه

۱. ۱. گونه گیاهی کرچک

جوانه زنی یک مرحله مهم در رشد گیاه است که به وجود آلاینده های مختلف در خاک حساس می باشد (۲۵). گونه های گیاهی مختلف مورد استفاده در این مطالعه رفتار متفاوتی در جوانه زنی نشان دادند. جوانه زنی در گیاه کرچک در ۱۰ روز ابتدایی در هیچ یک از تیمارهای خاک مشاهده نشد. تیمار I در روز ۲۰ ام دارای حداکثر درصد جوانه زنی بود. در طول اجرای پایلوت، جوانه زنی در تیمار های I و H بیش از سایر تیمارها بود که نشان دهنده تأثیر مثبت کود پیت و خاکبرگ بر جوانه زنی گونهٔ کرچک است. افزایش تعداد جوانه ها تا روز ۳۰ ام ادامه داشت و از آن به بعد ثابت باقی ماند. درصد جوانه زنی تیمار E و G کمتر از سایر تیمارها بود. حداکثر طول اندام هوایی در یکی از تکرارهای تیمار I به cm ۱۵ رسید. طول اندام هوایی در روز ۹۰ ام (انتهای پایلوت) در تیمارهای I، H و C بیش از دو تیمار دیگر بود (نمودار ۱). حداکثر طول ریشه متعلق به تیمار H بود (۲۶ cm). حداکثر وزن خشک ریشه ۰/۸ گرم (تیمار E) و حداقل آن ۰/۲ گرم (تیمار C) به دست آمد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی ۲/۱ گرم (تیمار I) و حداقل آن ۰/۴ گرم (تیمار C) بود. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص می گردد استفاده از کود موجب افزایش رشد (ارتفاع و بیومس) کرچک شده است. لیکن به طور کلی این گونه گیاهی رشد مناسبی حتی در خاک شاهد نشان نداد. به عنوان مثال اگرچه در تیمار H طول ریشه و اندام هوایی قابل توجه بود لیکن مشاهدات عینی در محل نشان داد تراکم ریشه کم بوده که این امر در مقدار بیومس منعکس شده است. با توجه به نقش مؤثر ریشه در حذف آلودگی نفتی از خاک توسط مکانیسم تجزیه ریزوسفری[1] و این که بیومس ریشهٔ کرچک در کلیه تیمارهای خاک کم بود (کمتر از ۱ گرم) به نظر می رسد این گیاه در حذف TPHs از خاک کارایی مناسبی نداشته باشد.

۱. ۲. گونه گیاهی یونجه

جوانه زنی در یونجه در روز ۱۰ ام در کلیه تیمارها به غیر از تیمار E مشاهده شد که حداکثر آن به ترتیب در تیمار شاهد و I و حداقل آن در تیمار G بود (نمودار ۲). درصد جوانه زنی بر حسب تراکم سطحی در روز ۲۰ ام برای تیمار شاهد به ۱۰۰ رسید و پس از آن تیمار I با مقدار متوسط ۶۲/۵٪ بیشترین میزان جوانه زنی در بین سایر تیمارها را داشت. با مقایسه تیمار شاهد و تیمار خاک های آلوده مشخص می گردد که حضور هیدروکربن های نفتی دارای تأثیر قابل ملاحظه بر کاهش جوانه زنی گیاه یونجه بوده است. حداکثر ارتفاع اندام هوایی (۴/۵ cm) و طول ریشه (۲۰ cm) نیز به مانند درصد جوانه زنی، به ترتیب متعلق به تیمار شاهد و I بود. این امر تأثیر مثبت کود پیت بر جوانه زنی و رشد گیاه یونجه را نشان می دهد. حداکثر بیومس خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب برابر ۷/۱ و ۲/۲ گرم بود که برای تیمار شاهد به دست آمد. رشد یونجه در تیمار E بسیار ناچیز بود که نشان از تأثیر قابل ملاحظه آلودگی نفتی بر رشد گیاه یونجه است. همچنین بیومس ریشهٔ یونجه در تیمارهای G و H ناچیز بود. یونجه در تیمار H از روز ۶۰ به بعد رو به زردی و خشک شدن بود.

1- Rhizodegradation

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی نفتی میزان جوانه زنی یونجه را ۸۷/۵-۳۷/۵٪ و بیومس خشک ریشه را ۱۰۰-۹۲/۹٪ کاهش داد (جدول ۲). اگرچه تأثیر کود پیت بر رشد یونجه بیشتر از خاکبرگ و کود حیوانی بود، لیکن تأثیر منفی آلودگی نفتی بر رشد گیاه یونجه به حدی بود که استفاده از کود نتوانست به بهبود رشد آن کمک کند. بیومس خشک ریشه یونجه در حضور آلودکی نفتی در تیمار (I) نسبت به تیمار خاک پاک حدود ۹۳٪ کمتر بود.

استفاده از گیاه یونجه در بسیاری از مطالعات زیست پالایی گیاهی موفقیت آمیز بوده است (۲۰و۲۶) لیکن در مطالعه حاضر آلودگی خاک به هیدروکربن های نفتی رشد یونجه را کاملاً تحت تأثیر قرار داد. علت این امر آن است که غلظت TPHs در خاک به مراتب بالاتر از بسیاری مطالعات دیگر بوده است. به عبارت دیگر مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر مطالعات نشان می دهد اگرچه گونهٔ گیاهی یونجه در خاک های آلوده به ترکیبات نفتی مقاوم است، لیکن در خاک های بسیار آلوده، نظیر خاک مورد استفاده در این مطالعه، نمی تواند مقاومت کند و جوانه زنی و رشد آن مختل می گردد.

۱. ۳. گونه گیاهی کتان

گونه گیاهی کتان برای اولین بار در مطالعات زیست پالایی گیاهی خاک های آلوده به ترکیبات نفتی در ایران مورد استفاده قرار گرفت. جوانه زنی در روز ۱۰ ام فقط در تیمار شاهد صورت گرفت و جوانه های سایر تیمار ها (به غیر از تیمار E) در روز ۲۰ ام مشاهده شدند (نمودار ۳). حداکثر میزان جوانه زنی بر حسب تراکم سطحی متعلق به تیمارهای شاهد (۱۰۰ ٪) و I (۶۵ ٪) بود. استفاده از کود حیوانی و خاکبرگ نه تنها تأثیر مثبت بر جوانه زنیِ گیاه کتان نداشت بلکه میزان جوانه زنی در این دو تیمار نسبت به تیمار بدون کود (E) به طور قابل ملاحظه ای کمتر بود. آلودگی نفتی موجب تأخیر و کاهش جوانه زنی قابل ملاحظه در تیمارهای کوددار و بدون کود کتان شد. در مطالعه ای که توسط Adam و Duncan (۲۰۰۲) انجام یافت عدم جوانه زنی دانه های کتان در محیط آلوده به دیزل به نفوذ هیدروکربن ها به درون بذرها و پوساندن آن ها نسبت داده شد. در عین حال غالباً هیدروکربن های فرار با وزن مولکولی کم قادر به نفوذ درون بذرها می باشند. خاک مورد استفاده در این تحقیق به دلیل کهنه بودن[1] عمدتاً شامل ترکیبات نفتی با وزن مولکولی بالا بوده و لذا به نظر می رسد علت اصلی کاهش و تأخیر جوانه زنی در کتان عوامل فیزیکی نظیر نرسیدن و یا دیر رسیدن آب به بذر باشد (۲۵). حداکثر ارتفاع اندام هوایی نیز به ترتیب متعلق به تیمارهای C (۱۵ cm) و I (۸ cm) بود. لیکن به طور کلی ارتفاع اندام هوایی کتان در انتهای پایلوت برای تیمارهای مختلف اختلاف قابل ملاحظه ای با یکدیگر نداشت. حداکثر بیومس خشک ریشه ۵/۲ گرم (تیمار شاهد) و پس از آن ۰/۹ و ۰/۷ گرم به ترتیب برای تیمارهای H و I بود. بیشترین طول ریشه و بیومس خشک اندام هوایی نیز در تیمار شاهد و پس از آن در تیمار I به دست آمد. اگرچه استفاده از کود های آلی (به ویژه کود پیت) در طول و بیومس اندام گیاه مؤثر بود، لیکن این تأثیر قابل توجه نبود. آلودگی نفتی ارتفاع اندام هوایی کتان را ۶۳/۳-۴۶/۶ ٪ و طول ریشه را ۷۸/۲-۳۹/۱٪ کاهش داد (جدول ۲). با توجه به مشاهدات عینی در محل، تراکم ریشه کتان در تیمارهای مختلف چشمگیر بود.

۱. ۴. گونه گیاهی آفتابگردان

گیاه آفتابگردان به طور خودرو در زمین های مجاور پالایشگاه تهران وجود دارد. جوانه های آفتابگردان در کلیه تیمارها به غیر از تیمار E در روز ۱۰ ام مشاهده شدند. تأثیر مثبت خاکبرگ بر جوانه زنی آفتابگردان قابل ملاحظه بود (نمودار ۴). حداکثر درصد جوانه زنی در تیمار H (۱۰۰٪) و حداقل آن در تیمار G (۵۵ ٪) رخ داد. به غیر از تیمار G میزان جوانه زنی در سایر تیمارها بالای ۸۰٪ بود که نشان دهنده مقاوم بودن بذرهای آفتابگردان در مقادیر بالای آلودگی نفتی می باشد. حداکثر ارتفاع اندام هوایی در کلیه تیمارها (به غیر از G) به یکدیگر نزدیک و بیش از ۲۴ cm بود. حداکثر طول ریشه در تیمار شاهد (۲۴ cm) به دست آمد. طول ریشه در

1- Aged soil

www.SID.ir

Archive of SID

تیمارهای مختلف نسبتاً به یکدیگر نزدیک و قابل ملاحظه بود، لیکن ریشه آفتابگردان در تیمارهای مختلف از تراکم قابل توجهی برخوردار نبود. بیشترین بیومس خشک ریشه ۱۱/۹ گرم برای تیمار شاهد و پس از آن ۴/۲ گرم برای تیمار I به دست آمد. حداقل بیومس خشک ریشه در تیمار بدون کود به دست آمد (۰/۹ گرم). حداکثر وزن خشک اندام هوایی نیز در تیمار شاهد به دست آمد (۵/۳ گرم). آلودگی نفتی بیومس خشک ریشه را ۹۲/۴- ۶۴/۷٪ و بیومس خشک اندام هوایی را ۷۳/۶- ۵۴/۷٪ کاهش داد (جدول ۲).

۱. ۵. گونه گیاهی ذرت بلالی

جوانه های ذرت بلالی در کلیه تیمارها به غیر از تیمار E در روز ۱۰ ام مشاهده شدند. آلودگی نفتی موجب به تأخیر افتادن زمان جوانه زنی و نیز میزان آن در تیمار E شد. استفاده از کودهای آلی میزان جوانه زنی را نسبت به تیمار بدون کود بهبود بخشید. تأثیر کود پیت و خاکبرگ بر میزان جوانه زنی ذرت بلالی بیش از کود حیوانی بود. میزان جوانه زنی تیمار شاهد در روز ۲۰ ام و تیمارهای C و I در روز ۳۰ ام به ۱۰۰٪ رسید. حداکثر ارتفاع اندام هوایی در تیمار C (۳۲ cm) و پس از آن در تیمار H و I (به ترتیب ۱۸/۵ و ۱۸ سانتی متر) اندازه گیری شد. ارتفاع اندام هوایی در تیمار G کمتر از سایر تیمارها بود که نشان دهنده عدم تأثیر مثبت کود حیوانی بر رشد ساقهٔ ذرت بلالی است. حداکثر طول ریشه در تیمار کنترل به دست آمد (۳۱ cm). طول ریشهٔ ذرت بلالی در سایر تیمارها نزدیک یکدیگر بود. بیشترین بیومس خشک ریشه در تیمار کنترل (۹/۲ گرم) و پس از آن در تیمار E (۲/۶ گرم) به دست آمد. حداکثر بیومس اندام هوایی در تیمار E (۲/۶ گرم) و سپس تیمار شاهد (۲/۱ گرم) به دست آمد. به طور کلی رشد ریشه و اندام هوایی ذرت بلالی (طول و بیومس) در کلیه تیمارها قابل ملاحظه بود. تأثیر کود در این گونه گیاهی چشمگیر نبود و نزدیکترین تیمار به تیمار شاهد از نظر طول و بیومس اندام، تیمار E بود (نمودار ۵). آلودگی نفتی میزان جوانه زنی ذرت بلالی را ۴۶/۷-۰ ٪ و طول ریشه را ۵۸/۱-۴۸/۴٪ کاهش داد (جدول ۲). با توجه به مشاهدات عینی ذرت بلالی از تراکم ریشه بالایی برخوردار بود. به طور کلی اگرچه آلودگی نفتی توانست پارامترهای رفتاری گیاه را تا حدودی متأثر سازد لیکن این تأثیر به حدی نبود که مانع رشد گیاه شود و یا رشد آن را شدیداً مختل سازد. با توجه به نتایج به دست آمده تا این مرحله به نظر می رسد ذرت بلالی از توان مناسبی در زیست پالایی گیاهی خاک های آلوده به ترکیبات نفتی حتی در غلظت های بالا (تا ۴۰۰۰۰ mg/kg) برخوردار باشد.

۱. ۶. مقایسه تأثیر آلودگی نفتی بر پارامترهای رفتاری گونه های گیاهی مختلف

بهترین درصد جوانه زنی متعلق به ذرت بلالی بود (نمودار ۶). میزان جوانه زنی در تیمارهای G و H در میان گونه های مورد بررسی کمتر از سایر تیمارها بود. پس از تیمار شاهد تیمار I بهترین درصد جوانه زنی را داشت. در اغلب گونه های مورد بررسی شروع جوانه زنی بذرها در خاک آلودهٔ بدون کود دارای یک مرحله تأخیر نسبت به تیمار شاهد بود. لیکن در ادامه میزان جوانه زنی آن ها افزایش یافت و به تیمار شاهد نزدیک شد. از مهم ترین دلایل این تأخیر آن است که هیدروکربن های نفتی با اعمال بازدارندگی فیزیکی مانع رسیدن آب و اکسیژن به بذر شده یا زمان آن را طولانی تر می کنند (۲۵). علاوه بر این کیفیت بذر و میزان سختی پوسته آن کیفیت نفوذ آب به داخل بذر و در نتیجه زمان جوانه زنی را تحت تأثیر قرار می دهد. حداکثر طول ریشه برای ذرت بلالی (۳۱ cm – تیمار C) و کرچک (۲۶ cm – تیمار H) به دست آمد. بیشترین ارتفاع اندام هوایی در میان گونه های مورد بررسی، مربوط به ذرت بلالی (۳۲ cm – تیمار C) و آفتابگردان (۲۵/۵ cm – تیمار I) بود. حداکثر بیومس خشک ریشه در میان گونه های بررسی شده متعلق به آفتابگردان (۱۱/۹ گرم – تیمار C)، ذرت بلالی (۹/۲ گرم – تیمار C) و یونجه (۷/۱ گرم – تیمار C) بود. در میان گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به ترکیبات نفتی حداکثر بیومس خشک ریشه برای آفتابگردان (۴/۲ گرم – تیمار I) و ذرت بلالی (۲/۶ - تیمار E) به دست آمد. کم ترین بیومس خشک ریشه ۰/۲ گرم و مربوط به تیمار H در یونجه و تیمار C در کرچک بود (به غیر از تیمار

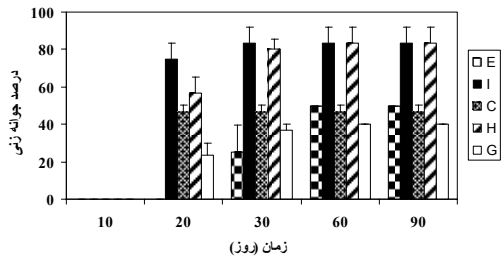
www.SID.ir

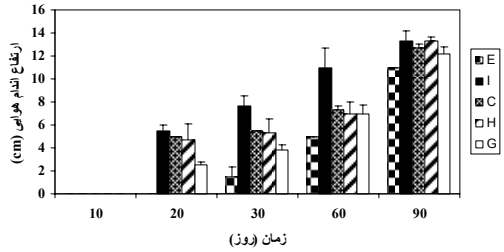
Archive of SID

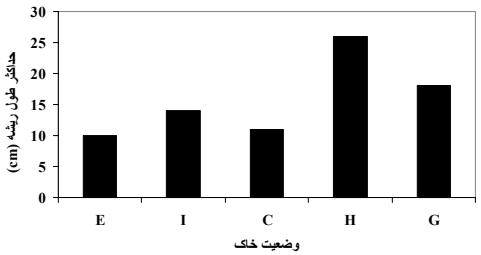
G برای یونجه و کتان و تیمار E برای یونجه که بیومس خشک ریشه ناچیز بود). نمودار ۶ نشان می دهد حداکثر بیومس خشک اندام هوایی متعلق به آفتابگردان (۵/۳ گرم – تیمار C) است. در میان گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی حداکثر بیومس خشک اندام هوایی برای ذرت بلالی (۲/۶ گرم – تیمار E) و آفتابگردان (۲/۴ گرم – تیمار E و ۲/۲ گرم – تیمار I) به دست آمد. مشاهدات عینی نشان داد تراکم ریشه در گونه های ذرت بلالی و کتان بیشتر سایر گونه های گیاهی است.

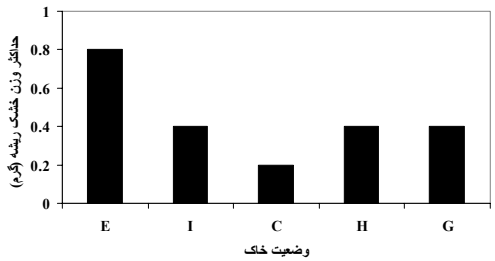
کمبود نیتروژن به عنوان یک ماده مغذی معدنی، غالباً فعالیت میکروبی و به ویژه تجزیه میکروبیِ آلاینده های آلی در خاک را محدود می سازد (۲۷). لذا استفاده از کود می تواند به رشد گیاه کمک نماید. در میان کودهای استفاده شده در این مطالعه، کود پیت بهترین تأثیر بر پارامترهای رفتاری گونه های گیاهیِ پرورش داده شده در خاک های آلوده به ترکیبات نفتی را نشان داد. کود حیوانی دارای ضعیف ترین اثر بود. به عنوان مثال درصد جوانه زنی در تیمار دارای کود حیوانی (G) نسبت به تیمار بدون کود (E) برای گیاهان کرچک، یونجه، کتان و آفتابگردان به طور قابل توجهی کمتر بود (نمودار ۶) که نشان دهنده عدم تأثیر مثبت کود حیوانی بر جوانه زنی گونه گیاهان مورد بررسی در خاک های آلوده است. عملکرد خاکبرگ متوسط بود لیکن در مقایسه با تیمار بدون کود تأثیر قابل ملاحظه ای بر اغلب پارامترهای رفتاری گیاهان نظیر درصد جوانه زنی نداشت. تأثیر خاکبرگ بر طول و بیومس خشک ریشه در برخی موارد مثبت و در برخی موارد غیر مثبت بود. تأثیر منفی آلودگی نفتی در تیمار E که در آن از کود استفاده نشده بود بر جوانه زنی گونه های یونجه، کتان و ذرت بلالی قابل ملاحظه بود. آلودگی نفتی در تیمار بدون کود، طول ریشه را در کلیه گیاهان (به غیر از کرچک) به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد. همچنین بیومس خشک ریشه در کلیه گونه های گیاهی به غیر از کرچک حساسیت بالایی نسبت به وجود هیدروکربن های نفتی در خاک نشان داد. به طور کلی گونه گیاهی کرچک در غالب تیمارها از رشد مناسبی برخوردار نبود.

نتایج نشان می دهد تأثیر آلودگی نفتی بر پارامترهای رفتاری گیاه نظیر جوانه زنی و بیومس خشک به میزان زیادی وابسته به گونه های گیاهی است (جدول ۲). مقاومت گونه های گیاهی مختلف در مقابل آلودگی به هیدروکربن های نفتی خاص گونه است و حساسیت به این نوع آلودگی حتی در میان اعضای نزدیک به هم در یک خانواده گیاهی می تواند متفاوت باشد(۲۵). با توجه به نتایج به دست آمده رشد گونه های ذرت بلالی و آفتابگردان در خاک های آلوده به هیدروکربن های نفتی قابل ملاحظه بود و به نظر می رسد این گیاهان توان مناسبی جهت رشد در خاک های آلوده به غلظت های بالای ترکیبات نفتی و حذف این آلاینده ها داشته باشند.



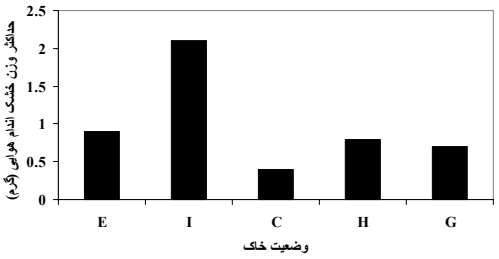




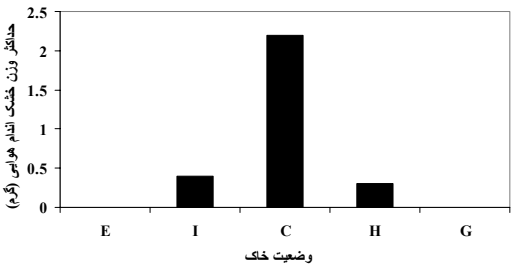


www.SID.ir

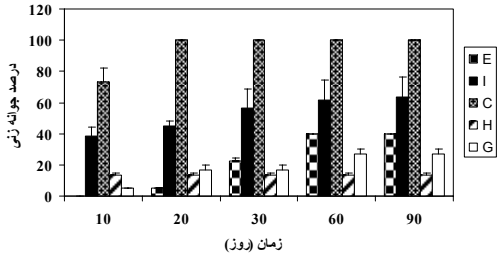
Archive of SID

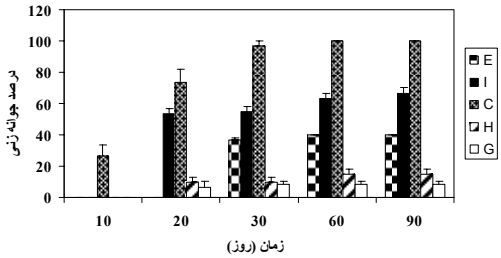


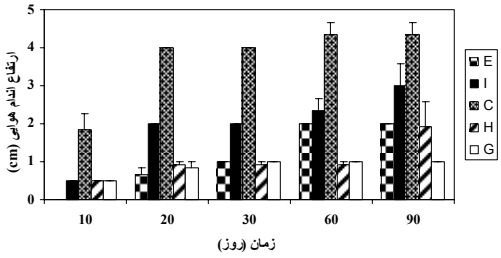
شکل ۱- بررسی پارامترهای رفتاری کرچک

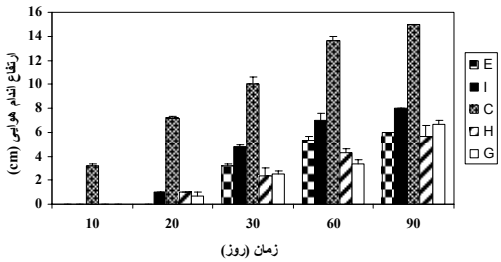


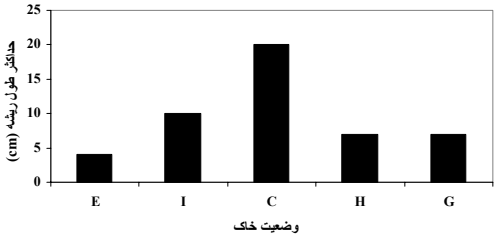
شکل ۲- بررسی پارامترهای رفتاری یونجه

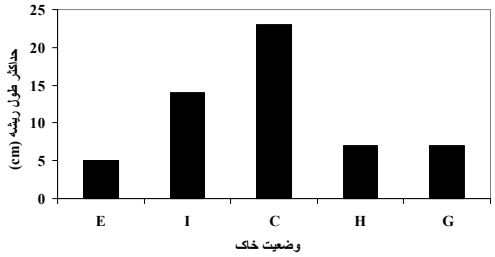


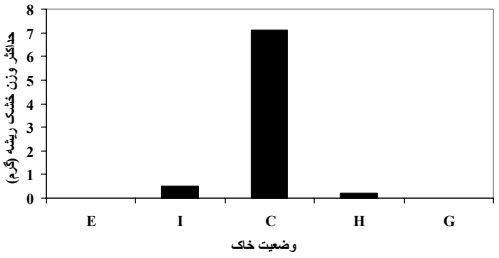


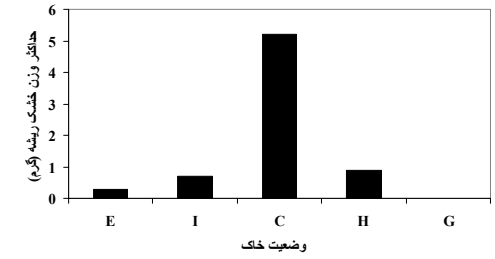






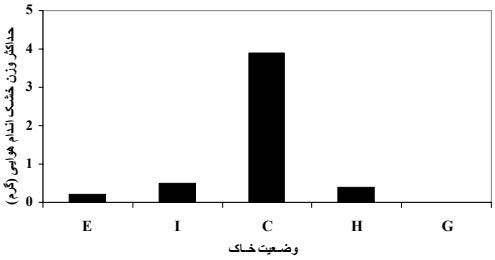




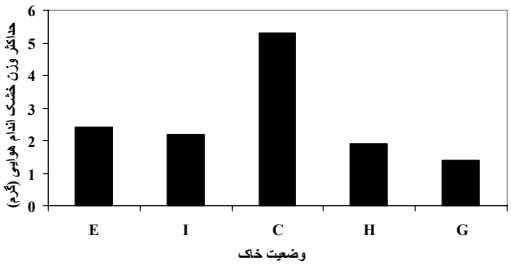


www.SID.ir

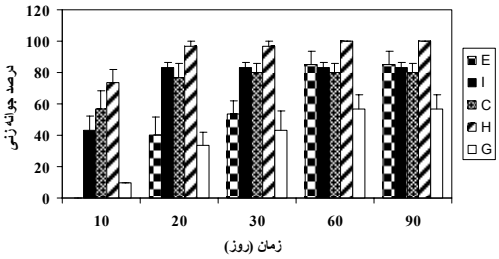
Archive of SID

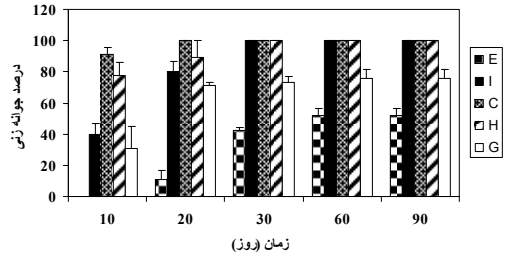


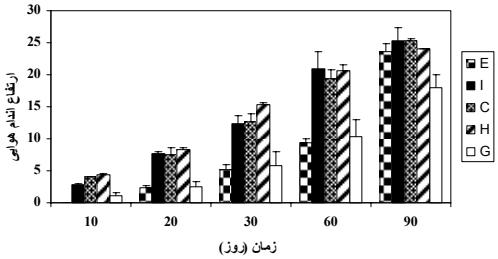
شکل ۳- بررسی پارامترهای رفتاری کتان

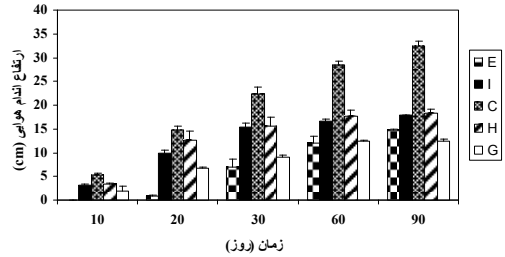


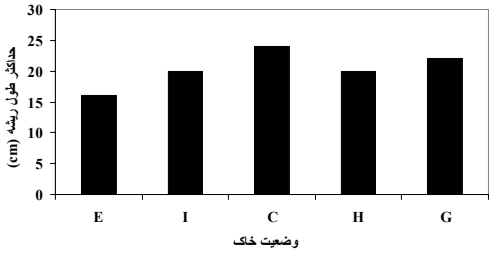
شکل ۴- بررسی پارامترهای رفتاری آفتابگردان

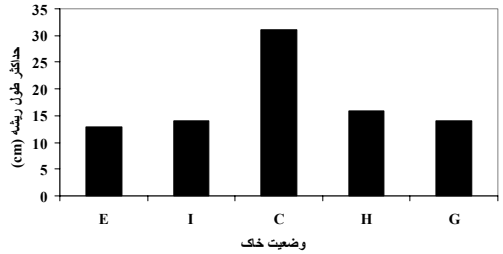


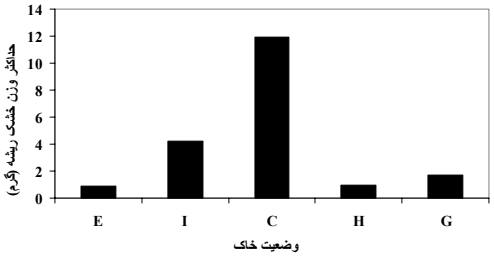


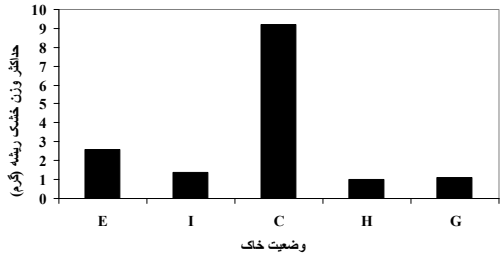






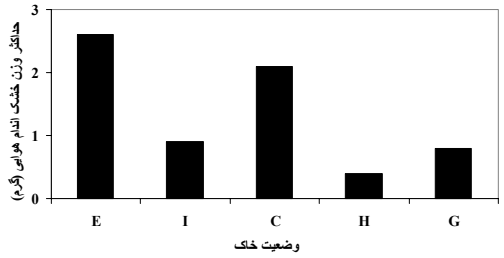




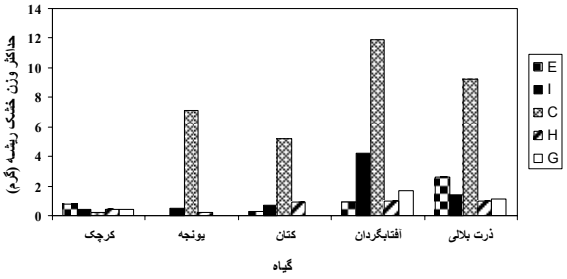


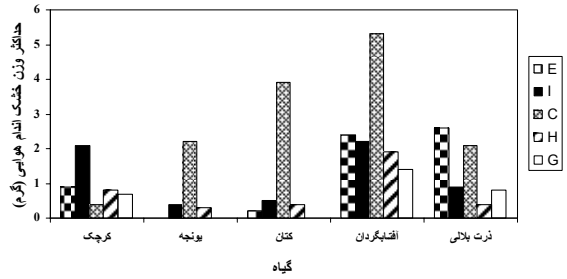
www.SID.ir

Archive of SID

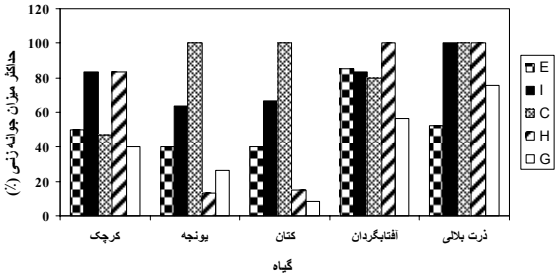


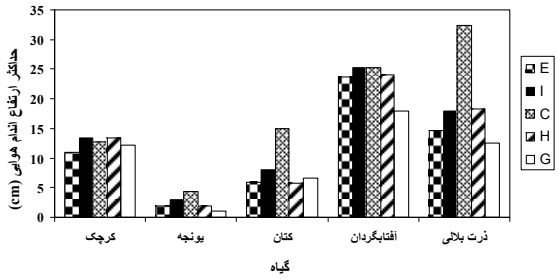
شکل ۵- بررسی پارامترهای رفتاری ذرت بلالی

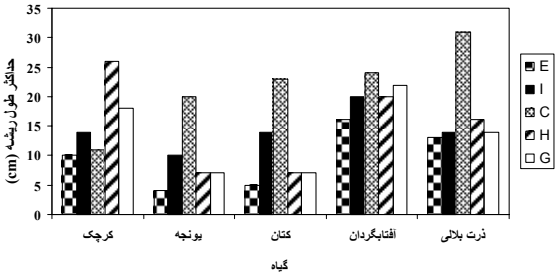




شکل ۶- مقایسه پارامترهای رفتاری گونه های گیاهی مورد بررسی







جدول ۲-دامنه تأثیر آلودگی نفتی بر تغییرات رفتاری گیاهان در تیمارهای مختلف خاک آلوده

گیاه	دامنه تغییرات (ĕ)				
	کاهش میزان جوانه زنی	کاهش ارتفاع اندام هوایی	کاهش طول ریشه	کاهش بیومس خشک اندام هوایی	کاهش بیومس خشک ریشه
کرچک	× - ۱۱	❊ - ۱۵/۴	❊ - ۹/۱	❊	❊
یونجه	۳۷/۵ – ۸۷/۵	۳۳/۳ – ۷۷/۸	۵۰ – ۸۰	۸۱/۸ – ۱۰۰	۹۲/۹ – ۱۰۰
کتان	۳۵ – ۹۲/۵	۴۶/۶ – ۶۳/۳	۳۹/۱ – ۷۸/۲	۸۷/۲ – ۱۰۰	۸۲/۷ – ۱۰۰
آفتابگردان	❊ - ۳۱/۳	❊ - ۳۲	۸/۳ – ۳۳/۳	۵۴/۷ – ۷۳/۶	۶۴/۷ – ۹۲/۴
ذرت بلالی	۰ – ۴۶/۷	۴۲/۲ – ۶۰/۲	۴۸/۴ – ۵۸/۱	❊ - ۸۱	۷۱/۷ – ۸۹/۱

❊ تغییر مقدار پارامتر مربوط به اثر آلودگی نفتی نمی باشد

www.SID.ir

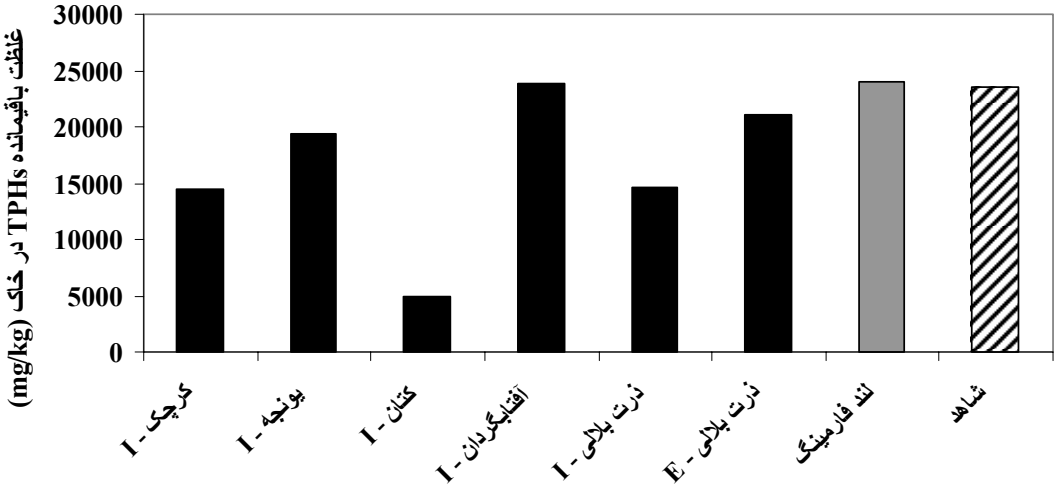
Archive of SID

۲. تأثیر زیست پالایی گیاهی و لندفارمینگ بر تغییر غلظت هیدروکربن های نفتی در خاک

با توجه به نتایج بخش قبل، تیمارهایی از گیاهان مورد بررسی که بهترین پارامترهای رفتاری را در طول اجرای پایلوت نشان داشتند، برای آنالیز غلظت TPHs در خاک انتخاب شدند. در برخی گیاهان با توجه به رشد مناسب بیش از یک تیمار برای آنالیز TPHs انتخاب شد نظیر ذرت بلالی. آنالیز غلظت آلودگی برای دو تیمار فاقد گیاه نیز انجام گرفت. یکی تیمار شاهد که در آن کاهش غلظت آلودگی تنها در اثر عوامل طبیعی[۷] و بدون دخالت گیاه انجام گرفت و دیگری تیمار لندفارمینگ (LF). غلظت اولیه TPHs در کلیه تیمارهای گیاه دار و بدون گیاه mg/kg ۴۰۴۱۲ بود. مقادیر TPHs باقی مانده در خاک پس از انجام زیست پالایی گیاهی در نمودار ۷ آمده است. با توجه به آن که رشد اغلب گیاهان در تیمار I بهتر از سایر تیمارها بود غالب آنالیزها برای این تیمار انجام گرفت. کرچک غلظت TPHs در خاک را به mg/kg ۱۴۴۲۸ رساند. اگرچه پارامترهای رفتاری این گونه در طول زیست پالایی گیاهی مناسب نبود، لیکن موجب حذف قابل توجه TPHs نسبت به تیمار شاهد (NA) شد. غلظت TPHs در تیمار NA پس از سه ماه ۴۱/۶٪ کاهش یافت و به mg/kg ۲۳۵۷۶ رسید (نمودار ۷). غلظت TPHs پس از سه ماه در کلیه تیمارها کاهش یافت. یونجه توانست غلظت ترکیبات نفتی را mg/kg ۲۱۰۸۸ کاهش دهد. کاهش غلظت TPHs توسط یونجه نسبت به تیمار شاهد حدود ۱۸٪ بود. به طور کلی غلظت TPHs در کلیه تیمارهای گیاه دار به غیر از آفتابگردان نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. تغییر غلظت ترکیبات نفتی توسط آفتابگردان نسبت به تیمار شاهد قابل ملاحظه نبود. لندفارمینگ اگرچه در برخی مطالعات موفق بود (۲ و ۱۴) لیکن در این مطالعه نتوانست غلظت TPHs را به طور قابل ملاحظه ای نسبت به تیمار شاهد کاهش دهد. علت این تناقض آن است که در غالب مطالعات آلودگی نفتی به طور مصنوعی به خاک تزریق می گردد و لندفارمینگ بخش های فرار با وزن مولکولی کم را به سرعت در هفته های ابتدایی کاهش می دهد. این در حالی است که خاک استفاده شده در این مطالعه دارای آلودگی کهنه بوده و عمدتاً از ترکیبات نفتی سنگین تهیه شده بود، لذا لندفارمینگ نتوانست ترکیبات نفتی را به طور مؤثر کاهش دهد به گونه ای که حذف TPHs در آن بسیار نزدیک به تیمار شاهد بود. بیشترین و بهترین میزان حذف توسط گونه کتان (۸۷/۶۳٪) صورت گرفت. کتان توانست بیش از mg/kg ۳۵۰۰۰ از ترکیبات نفتی خاک را حذف کند. همچنین کارایی ذرت بلالی در حذف TPHs از خاک آلوده قابل توجه بود (۶۳/۸۴٪ حذف). آفتابگردان اگرچه mg/kg ۱۶۵۳۰ از ترکیبات نفتی خاک را طی سه ماه کم کرد لیکن در مقایسه با سایر گونه های گیاهی عملکرد مناسبی نداشت. با توجه به آن که حذف ترکیبات نفتی از خاک عمدتاً در ناحیه ریشه و توسط تحریک میکروارگانیسم های ناحیه ریشه (تجزیه ریزوسفری) انجام می گیرد و نیز عدم تراکم مناسب ریشهٔ آفتابگردان، به نظر می رسد این گونه گیاهی علی رغم مقاوم بودن به آلودگی نفتی کارایی بالایی در حذف هیدروکربن های نفتی از خاک های بسیار آلوده ندارد. مقایسه تیمار E و I در ذرت بلالی نشان می دهد علی رغم آن که بیومس خشک ریشه در تیمار I کمتر از E است لیکن حذف انجام یافته در تیمار I بیشتر است (نمودار ۷). این امر را می توان به بهبود وضعیت مواد مغذی خاک در اثر افزودن کود پیت و تحریک میکروارگانیسم های ریزوسفر نسبت داد. ذرت بلالی در تیمار بدون کود (E) غلظت TPHs را تنها ۱۰/۷٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. به طور کلی نتایج نشان داد اکثر گونه های گیاهی مورد بررسی در حذف TPHs مؤثر عمل می کنند.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۷- غلظت باقی مانده TPHs در خاک

نتیجه گیری

ترکیبات نفتی از مهم ترین آلاینده های خاک به شمار می آیند. زیست پالایی گیاهی یک فن آوری رو به گسترش در دنیا است که قابلیت بومی شدن در کشور را به لحاظ فنی و اقتصادی دارا می باشد. شناسایی و به کار گیری گونه های گیاهی که مقاومت بالایی در مقابل غلظت های بالای هیدروکربن های نفتی در خاک داشته باشند، یک عامل کلیدی در موفقیت این فن آوری است. در این تحقیق تغییرات رفتاری ۵ گیاه کرچک، یونجه، کتان، آفتابگردان و ذرت بلالی در خاک بسیار آلوده (TPHs >۴۰۰۰۰ mg/kg) و نیز تأثیر کود حیوانی، خاکبرگ و کود پیت بر رشد گیاه مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفت. همچنین توان گونه های مذکور و نیز کارایی لندفارمینگ در حذف آلودگی نفتی از خاک بررسی شد. نتایج نشان داد جوانه زنی گونه ذرت بلالی در خاک های آلوده به ترکیبات نفتی، حساسیت کمتری نسبت به سایر گونه های مورد بررسی دارد. آلودگی خاک به هیدروکربن های نفتی جوانه زنی، طول ریشه، ارتفاع اندام هوایی و بیومس خشک ریشه و اندام هوایی را به طور قابل ملاحظه ای در اغلب گیاهان کاهش داد. در عین حال کود پیت دارای تأثیر مثبت بر پارامترهای رفتاری غالب گیاهان مورد بررسی بود. تأثیر کود حیوانی و خاکبرگ در بیشتر گیاهان چشمگیر نبود. در میان گیاهان رشد کرده در خاک آلوده، بیشترین ارتفاع اندام هوایی در آفتابگردان (۲۵/۵ cm – تیمار I)، حداکثر طول ریشه در کرچک (۲۶ cm – تیمار H)، حداکثر بیومس خشک ریشه در آفتابگردان (۴/۲ گرم – تیمار I) و حداکثر بیومس خشک اندام هوایی برای ذرت بلالی (۲/۶ گرم – تیمار E) به دست آمد. نتایج نشان داد تأثیر آلودگی نفتی بر پارامترهای رفتاری گیاه نظیر جوانه زنی و بیومس خشک به میزان زیادی وابسته به گونه های گیاهی است. با توجه به نتایج به دست آمده گونه های ذرت بلالی و آفتابگردان نسبت به سایر گونه ها از رشد بهتری در خاک های آلوده به هیدروکربن های نفتی برخوردار بودند.

توان حذف گونه های گیاهی با انتخاب بهترین تیمار که غالباً تیمار I بود اندازه گیری شد. حداکثر میزان حذف TPHs توسط گونه کتان (۸۷/۶۳ ٪) انجام گرفت به طوری که کتان توانست در مدت سه ماه بیش از ۳۵۰۰۰ mg/kg از ترکیبات نفتی خاک را حذف کند. در این مطالعه لندفارمینگ نتوانست غلظت TPHs را به طور قابل ملاحظه ای نسبت به تیمار شاهد کاهش دهد. نتایج این تحقیق نشان داد فن آوری زیست پالایی گیاهی روشی مؤثر و نوید بخش در حذف آلودگی نفتی از خاک های بسیار آلوده می باشد. بررسی توأم میزان، روند و نرخ حذف آلودگی نفتی توسط روش زیست پالایی گیاهی به منظور نمایان شدن بهتر کارایی و نیز سرعت این

www.SID.ir

Archive of SID

روش در حذف آلودگی نفتی از خاک در مطالعات آتی پیشنهاد می گردد.

منابع

1. US EPA (2000). Introduction to phytoremediation. EPA/600/R-99/107. Environmental Protection Agency, USA.
2. Huang, X.D., El-Alawi, Y., Gurska, J., Glick, B.R., Greenberg, B.M. (2005). A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. Microchemical Journal 81, 139-147.

۳. رنگ زن، ن. و لندی، ا. (۱۳۸۵). بررسی نقش گیاهان در پالایش خاک های آلوده به هیدروکربن های نفتی (گازوئیل). مجموعه خلاصه مقالات اولین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران، ص ۳۰۳.

4. Khan, A.G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18, 355-364.
5. Karthikeyan, R., Bhandari, A. (2001). Anaerobic biotransformation of aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil microcosms: a review. Journal of Hazardous Substance Research 3, 1-19.
6. Parrish, Z.D., Banks, M.K., Schwab, A.P. (2005). Assessment of contaminant lability during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil. Environmental Pollution 137, 187-197.
7. Luepromchai, E., Lertthamrongsak, W., Pinphanichakarn, P., Thaniyavarn, S., Pattaragulwanit, K., Juntongjin, K. (2007). Biodegradation of PAHs in petroleum-contaminated soil using tamarind leaves as microbial inoculums. Songklanakarin Journal of Science and Technology 29(2), 515-527.
8. Escalante-Espinosa, E., Gallegos-Martınez, M.E., Favela-Torres, E., Gutierrez-Rojas, M. (2005). Improvement of the hydrocarbon phytoremediation rate by *Cyperus laxus* Lam. inoculated with a microbial consortium in a model system. Chemosphere 59, 405-413.
9. Chekol, T., Vough, L.R., Chaney, R.L. (2004). Phytoremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils: the rhizosphere effect. Environment International 30, 799-804.
10. McCutcheon, S.C. and Schnoor, J.L. (Eds) (2003). Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
11. Mueller, K.E., Shann, J.R. (2006). PAH dissipation in spiked soil: Impacts of bioavailability, microbial activity, and trees. Chemosphere 64, 1006-1014.
12. Johnson, D.L., Anderson, D.R., McGrath, S.P. (2005). Soil microbial response during the phytoremediation of a PAH contaminated soil. Soil Biology & Biochemistry 37, 2334-2336.
13. Newman, L.A., Reynolds, C.M. (2005). Bacteria and phytoremediation: new uses for endophytic bacteria in plants. Trends in Biotechnology, 23 (1), 6-8.
14. Huang, X.D., El-Alawi, Y., Penrose, D.M., Glick, B.R., Greenberg, B.M.

www.SID.ir

Archive of SID

(2004). A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. Environmental Pollution 130, 465-476.

15. Tesar, M., Reichenauer, T.G., Sessitsch, A. (2002). Bacterial rhizosphere populations of black poplar and herbal plants to be used for phytoremediation of diesel fuel. Soil Biology & Biochemistry 34, 1883-1892.
16. Dowty, R.A., Shaffer, G.P., Hester, M.W., Childers, G.W., Campo, F.M., Greene, M.C. (2001). Phytoremediation of small-scale oil spills in fresh Marsh environments: a mesocosm simulation. Marine Environmental Research 52, 195-211.
17. Ayotamuno, J.M., Kogbara, R.B., Egwuenum, P.N. (2006). Comparison of corn and elephant grass in the phytoremediation of a petroleumhydrocarbon- contaminated agricultural soil in Port Harcourt, Nigeria. Journal of Food, Agriculture, & Environment 4 (3&4), 218-222.
18. Merkl, N., Schultze-Kraft, R., Infante, C. (2005). Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils. Water, air, & soil pollution 165, 195-209.

۱۹. شهریاری، م.، ثواقبی- فیروزآبادی، غ.، تهرانی، د. و پدیداران، م. (۱۳۸۵). تأثیر مخلوط دو گیاه یونجه و فسکیو در گیاه پالایی خاک آلوده به نفت خام سبک. علوم محیطی، ۱۳، ۳۳-۴۰.

20. Joner, E.J., Hirmann, D., Szolar, O.H.J., Todorovic, D., Leyval, C., Loibner, A.P. (2004). Priming effects on PAH degradation and ecotoxicity during a phytoremediation experiment. Environmental Pollution 128, 429-435.

۲۱. طاحونی، ش. (۱۳۷۹). اصول مهندسی ژئوتکنیک (جلد دوم: مهندسی پی). تهران، موسسه انتشارات پارس آیین، ص۱۵.

22. Xu, J.G., and Johnson, R.L. (1997). Nitrogen dynamics in soils with different hydrocarbon contents planted to barley and field pea. Canadian journal of Soil Science. 77, 453-458.
23. Bailey, V.L. and McGill, W.B. (1999). Assessment of the role of plants in the bioremeidation of two hydrocarbon-contaminated soils. Proceedings of the Phytoremediation Technical Seminar, 31 May – 1 June, 1999, Calgary, AB. Environment Canada, Ottawa, ON. pp. 87-97.
24. US EPA (1998). Method 3550B-ultrasonic extraction, SW-846. In: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods, Washington DC.
25. Adam, G. and Duncan, H. (2002). Influence of diesel fuel on seed germination. Environmental pollution 120, 363-370.
26. Wiltse, C.C., Rooney, W.L., Chen, Z., Schwab, A.P., Banks, M.K. (1998). Greenhouse evaluation of agronomic and crude oil-phytoremediation potential among alfalfa genotypes. Journal of Environmental Quality 27, 169-173.
27. Joner, E.J., Leyval, C., Colpaert, J.V. (2006). Ectomycorrhizas impede phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) both within and beyond the rhizosphere. Environmental Pollution 142, 34-38.

www.SID.ir