بررسی قابلیت گیاهان سورگوم و جو جهت کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک آلوده

چکیده

ترکیبات نفتی یکی از آلودگی‌های متداول خاک در اطراف پالایشگاه‌های نفت می‌باشد. گیاه‌پالایی روشی موثر و مقرون به‌صرفه جهت پالایش خاک‌های آلوده نسبت به سایر روش‌های فیزیکی- شیمیایی است. در این مطالعه گیاه‌پالایی خاک آلوده به نفت با استفاده از گیاهان سورگوم و جو در گلخانه بررسی شد. پس از گذشت 94 روز از کاشت گیاهان مورد مطالعه وزن خشک ریشه و اندام هوایی، تعداد باکتری‌های کل و نفت‌خوار، تنفس میکربی، غلظت باقیمانده کل هیدروکربن‌های نفتی و درصد حذف آن تعیین گردید. هیدروکربن‌های نفتی خاک باعث کاهش معنی‌دار($p<0/05$) حدود 50 درصد در وزن ماده خشک اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه شدند. تفاوت معنی‌داری بین تعداد باکتری‌های کل و نفتخوار در خاک کشت شده با خاک بدون گیاه وجود داشت. میزان تنفس میکربی در ریزوسفر سورگوم در خاک آلوده بیشتر از ریزوسفر جو بود ولی در خاک شاهد تفاوتی در میزان تنفس میکربی در ریزوسفر دو گیاه مورد مطالعه دیده نشد. میزان کاهش غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلوده کشت شده با سورگوم و جو حدود 64-52 درصد تعیین شد که نسبت به خاک آلوده بدون گیاه 30 درصد بیشتر بود بنابراین سورگوم و جو جهت کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک‌های آلوده مورد مطالعه، کارایی بالایی دارند.

کلید واژه‌ها: گیاه‌پالایی، هیدروکربن‌های نفتی، پالایش، سورگوم، جو

---

* پست الکترونیک:

سرآغاز

آلودگی محیط‌زیست به‌وسیله مواد آلاینده حاصل از فعالیت‌های گوناگون بشر سبب ایجاد مشکلات محیط‌زیستی شده است (رضوانی و همکاران، 1384). یکی از مشکلات متداول محیط‌زیست در ایران وجود خاک و آب آلوده به مواد نفتی در نواحی اطراف مناطق نفتی و پالایشگاه‌هاست (گیتی‌پور و همکاران، 1383). آلاینده‌های نفتی موجود در خاک می‌توانند وارد زنجیره غذایی شده و یا در خاک حرکت کرده و خود را به منابع آب زیرزمینی برسانند و سلامت انسان و حیوان را با خطر جدی مواجه سازند (Khan, 2005). امروزه با درک مشکلات محیط‌زیستی به‌وجودآمده، تلاش‌های فراوانی به منظور پاکسازی محیط زیست صورت گرفته است (رضوانی و همکاران، 1384).

برای کاهش آلودگی‌های نفتی خاک از روش‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی استفاده می‌شود. روش‌های فیزیکی و شیمیایی از روش‌های پر هزینه و گران بوده که معمولا برای خاک‌هایی که آلودگی شدید دارند پیشنهاد می‌شوند، در حالی‌که روش زیستی از روش‌های ارزان و مناسب برای کاهش آلودگی‌های نفتی خاک است (Leahy & Rcolwell, 1990). یکی از روش‌های زیستی نسبتاً جدید، اقتصادی، مؤثر و دوستدار محیط زیست گیاه‌پالایی نام دارد (Newman & Reynolds, 2005) که فناوری مبتنی بر تلفیق فعالیت گیاهان و جامعه میکروبی همراه آن برای تجزیه، انتقال، غیرفعال‌کردن و ساکن‌سازی ترکیبات آلاینده خاک و آب‌های زیرزمینی است (Cunningham et al., 1997). یکی از مزایای گیاه‌پالایی نسبت به سایر روش‌های پالایش خاک آن است که نیروی محرکه آن توسط انرژی خورشید تأمین می‌گردد و موجب کاهش چشمگیر هزینه پالایش خاک می‌شود (Luepromchai et al., 2007).

مطالعات بسیاری درباره توانایی گیاهان مختلف در حذف بسیاری از آلاینده‌ها به‌ویژه ترکیبات نفتی به اثبات رسیده است. به عنوان مثال Diab(2008) قابلیت سه گونه گیاهی را جهت پالایش خاک‌های بیابانی آلوده به نفت خام بررسی کرد درصد تخریب نفت در گیاهان مورد مطالعه(Vicia faba, Zea mays,Triticum aestivuml) به ترتیب 62/4٪، 19/9٪ و 17/6٪ گزارش شد.

Zhineng et al(2010) گیاه‌پالایی خاک آلوده به مواد نفتی را با گیاه Pharbitis nil L بررسی کردند. میزان کاهش ترکیبات نفتی بعد از گذشت 127 روز در خاک کشت شده با گیاه به 27/7–67/4٪ رسید در حالی‌که در خاک بدون گیاه فقط به میزان 10/2–35/6٪ بود.

Sijin et al (2010) قابلیت گیاه Bidens maximowicziana را در تخریب پیرن بررسی کردند. بعد از گذشت 50 روز از رشد گیاه میانگین حذف پیرن در خاک آلوده 28٪ بیشتر از خاک بدون گیاه بود.

در مطالعات گیاه‌پالایی گیاهان باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که از حداکثر جوانه‌زنی، رشد، توسعه و سطح ویژه ریشه برخوردار باشند(Adam & Duncan, 2002)، از گیاهان بومی بوده و نسبت به شرایط خاک منطقه سازگار باشند (علایی و همکاران، 1389) و امکان تکمیل دوره رشد آن‌ها در شرایط آلودگی وجود داشته باشد (ذامیادی و همکاران، 1383). گونه‌های گراس، مانند گیاه سورگوم از خانواده گندمیان، علاوه بر توانایی رشد و سازش با شرایط اقلیمی مختلف نظیر آب و هوای گرم و خشک، توانایی حذف آلاینده‌های آلی ناشی از ترکیبات نفتی را نیز به خوبی دارا می‌باشد (Banks, 1999; Mc Catcheon & Schnoor, 2003). جو نیز گیاهی مقاوم از خانواده گراس‌ها است که توانایی بالایی جهت ایجاد سازگاری با شرایط محیطی دارد. ریشه گیاه جو قادر است تا عمق دو متر در خاک نفوذ کند و تراکم بالای ریشه‌های آن در ایجاد شرایط ریزوسفری بسیار کارآمد عمل می‌کنند (رنگ زن و لندی، 1386). هدف از این پژوهش بررسی قابلیت دو گیاه سورگوم و جو جهت کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک آلوده در منطقه پالایشگاه اصفهان بود.

روش کار

نمونه‌برداری خاک

با توجه به مشاوره و هماهنگی انجام شده با بخش محیط‌زیست پالایشگاه اصفهان، نمونه‌برداری خاک آلوده از زمین مجاور واحد گوگرد پالایشگاه صورت گرفت و خاک شاهد از خاک غیرآلوده اطراف همان منطقه نمونه‌برداری شد. عملیات نمونه‌برداری در ۸ ایستگاه انجام شد و مشخصات ۸ ایستگاه نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید. نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به روش مرکب انجام گرفت. نمونه‌ها درظروف در بسته شیشه‌ای و در مجاورت تکه‌های یخ بسته‌بندی شده به آزمایشگاه منتقل شد. در مطالعات قبلی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی در ایران، در اغلب موارد آلودگی به طور مصنوعی به خاک پاک اضافه شده است ولی رفتار خاک‌هایی که از محل آلوده به ترکیبات نفتی تهیه می‌شوند با خاک‌های تمیزی که در آزمایشگاه به آن‌ها ترکیبات نفتی اضافه می‌شود، در حین گیاه‌پالایی، کاملاً متفاوت است (Huang et al., 2005) لذا در تحقیق حاضر جهت حصول نتایج واقعی‌تر از خاک تهیه شده از محل آلوده که بازتاب شرایط واقعی محل آلوده است، استفاده شد.

Comment [a1]: در فرمت نیست

Comment [a2]: ارائه تصویر بر استنادهای علمی می افزاید

Comment [a3]: مشخصات gpsهشت ایستگاه

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

با توجه به نقش بسیار مهم ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر کارایی فرایندهای موثر بر کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک(Tang et al., 2012) ابتدا برخی از این ویژگی‌ها در آزمایشگاه بررسی شد. بدین منظور نمونه خاک‌ها پس از هوا خشک شدن، توسط الک ۲میلی‌متری الک شده و بر روی تمام نمونه‌ها با۳ تکرار، آزمایش‌هایی جهت اندازه‌گیری بافت (روش هیدرومتری)، pH و هدایت الکتریکی(Page et al., 1982)، مواد آلی(Walkley & Black, 1934)، ازت کل (Bremner & Mulvaney, 1982)، پتاسیم(Chapman, 1965)، CEC (Bower et al., 1952)، فسفرقابل جذب (Olsen & Sommers, 1982)، درصد رطوبت و تخلخل انجام شد (جدول ۱).

اندازه‌گیری مقدار هیدروکربن‌های نفتی خاک

به منظور تعیین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و برخی از هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای موجود در خاک ابتدا عصاره‌گیری به روش سوکسله(Christopher et al., 1988) با نسبت مساوی ان‌هگزان و دی‌کلرومتان انجام شد. ترکیبات جدا شده در مرحله قبل جهت جداسازی حلال و تغلیظ نمونه‌ها، درون روتاری توسط خلاء، خشک و تغلیظ گردیدند، سپس به روش کروماتوگرافی ستونی با استفاده از ستون سلیکاژل و آلومینا عملیات خالص‌سازی بر روی آن‌ها انجام شد(Samimi et al., 2009). با استفاده از دستگاه GC و به روش ۸۳۱ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US. EPA, 1984) غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و برخی از هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای موجود در خاک تعیین شد (جدول۲).

آزمایش اولیه جوانه‌زنی و رشد

این مرحله شامل تهیه و تدوین لیستی از گیاهان جهت انجام آزمایش گیاه‌پالایی بود که با توجه به مطالعات قبلی و شرایط منطقه پالایشگاه اصفهان چهارگونه گیاهی فستوکا (Festuca arundinacea)، سورگوم (Sorghum bicolor)، آگروپایرون (Agropyron elongatum) و جو(Hordeum vulgare) برای آزمایش جوانه‌زنی مورد بررسی قرار گرفتند. ۲۵ عدد بذر از هر یک از گیاهان مورد مطالعه در۲ نمونه خاک آلوده و شاهد با سه تکرار در پتری‌دیش کشت داده شد. تعداد بذرهای جوانه‌زده در طول ۱٤روز شمارش شدند. با توجه به نتایج درصد جوانه-زنی، دو گیاه سورگوم و جو جهت آزمایش نهایی گیاه‌پالایی انتخاب شدند.

Comment [a4]: فرمت اسامی علمی رعایت شود

آزمایش گیاه‌پالایی

نمونه خاک‌های مورد مطالعه (خاک آلوده و شاهد) در گلدان‌هایی به قطر ۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر در ۳ تکرار ریخته شدند سپس بذر گیاهان جو و سورگوم درعمق ۱-۲ سانتیمتری سطح خاک کشت شدند. از هر یک از خاک‌های مورد مطالعه، نمونه بدون گیاه نیز جهت حذف اثرات محیطی بر کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی موجود در نظر گرفته شد. آزمایش گیاه‌پالایی در فاصلهٔ مرداد لغایت مهر ۱۳91 انجام شد. دمای حداقل و حداکثر روزانه گلخانه ثبت گردید و آبیاری بر حسب مشاهده وضعیت روزانه گیاهان و به‌گونه‌ای که آبی از ته گلدان خارج نشود، انجام گرفت. به دلیل محدودیت دسترسی به بافت ریشه، عمل برداشت در مراحل انتهایی تحقیق انجام شد. پس از گذشت ۹٤ روز از کاشت گیاهان، نمونه خاک برای تعیین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در تیمارهای گیاهی از خاک ریزوسفری برداشت شد. سپس ریشه و اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه از یکدیگر جدا و در آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ٤۸ ساعت خشک گردید.

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده و شاهد منطقه مورد مطالعه

	شاهد	آلوده
بافت	Sandy clay loam	Sandy clay loam
PH(۱:۲/۵)	۷/۹	۷/۳
EC(ds/m)	۱/۷	۳/۲
CEC ($cmol^+/kg$)	۸/۲	۱۰
مواد آلی(درصد)	۰/۸	٤/۷
نیتروژن کل(درصد)	۰/۰۷	۰/۹
آهک(درصد)	۳۲	۲۵
رطوبت(درصد)	۲۲	۳۱
تخلخل(درصد)	۵۰	۵۰
فسفر(Mg/kg)	٤/۵	۱۹/۸
پتاسیم (Mg/kg)	٦۵	۸٤
سدیم(Mg/kg)	۱٤/۵	۲٤
نیکل(Mg/kg)	۷٤	۱٤٦

جدول(۲) غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و برخی هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای خاک آلوده

هیدروکربن نفتی اندازه‌گیری شده	غلظت (Mg/kg)
کل هیدروکربن‌های نفتی	۷۵۰۰۰
نفتالین	٤۵
فنانترن	۳٤
آنتراسن	٦
فلورانتن	۲۹
پایرن	۱٦
بنزو k فلورانتن	۰/٤
بنزو α پایرن	۰/۷

بررسی میزان تنفس میکروبی در خاک

به منظور بررسی میزان تنفس میکروبی در خاک آلوده و شاهد از هر یک از نمونه خاک‌های ریزوسفری، 25 گرم در ظروف مخصوص تنفس میکروبی ریخته شد. آنگاه به هر یک از خاک‌ها تا 0/7 ظرفیت زراعی آب مقطر افزوده شد و در هر یک از ظرف‌ها، یک لوله آزمایش حاوی10 میلی‌لیتر سود نیم نرمال قرار داده و در ظرف‌ها محکم بسته شد، سپس ظرف‌ها در دستگاه انکوباسیون در دمای 25 درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از مدت یک هفته، لوله‌های آزمایش از داخل ظرف‌های تنفس میکروبی خارج و محتویات آن در داخل ارلن مایر ریخته شد و سپس به هر یک از نمونه‌ها 10 میلی‌لیتر کلریدباریوم ده درصد و چند قطره معرف فنل‌فتالئین افزوده و محتویات ارلن‌مایرها با اسیدسولفوریک 0/25 نرمال تیتر شد. در نهایت میزان میلی‌گرم کربن تولید شده به صورت CO_2 طی فرآیند تنفس میکروبی برحسب میزان اسید مصرفی محاسبه گردید (بسالت پور و همکاران، 1387).

تعیین تعداد کل باکتری‌های خاک و نفت‌خوار

برای تعیین تعداد کل باکتری‌ها در خاک از روش pure plate استفاده گردید. مقدار ۱ گرم خاک در لوله آزمایش حاوی ۹ میلی‌لیتر محلول استریل کلریدسدیم ۹ گرم در لیتر ریخته شد. مخلوط به شدت تکان داده شد و از آن رقت‌های سریال(10^{-1} تا 10^{-8}) تهیه گردید سپس سریال‌های رقیق شده به محیط جامد غنی نوترینت آگار انتقال داده شد. پلیت‌ها در انکوباتور به مدت ٤٨ ساعت و در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد قرار داده شدند سپس کلونی‌های ایجاد شده شمارش گردید.

برای شمارش باکتری‌های نفت‌خوار خاک نیز از روش pure plate استفاده شد با این تفاوت که محیط کشت شامل۹۹۰ میلی‌لیتر محلول استریل آگار و$KH_2PO_4(1), CaCl_2_H_2O(0/02), FeCl_3(0/05), MgSO_4_7H_2O(0/2), K_2HPO_4(1), NH_4NO_3(1)$ در pH برابر ۷ بود و ۱۰ میلی‌لیتر نفت استریل فیلترشده (نفت خام تازه پالایشگاه نفت اصفهان) نیز به عنوان تنها منبع کربن به محیط کشت اضافه شد (Soleimani et al., 2010).

طرح آماری مورد استفاده و تجزیه آماری داده‌ها

در این مطالعه از طرح آماری کاملا تصادفی استفاده شد و داده‌های به دست آمده به وسیلهٔ آزمون‌های مقایسهٔ میانگین نمونه‌های مستقل (T-Test) وآنالیز واریانس با نرم افزار آماری SPSS تجزیه و تحلیل شدند. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

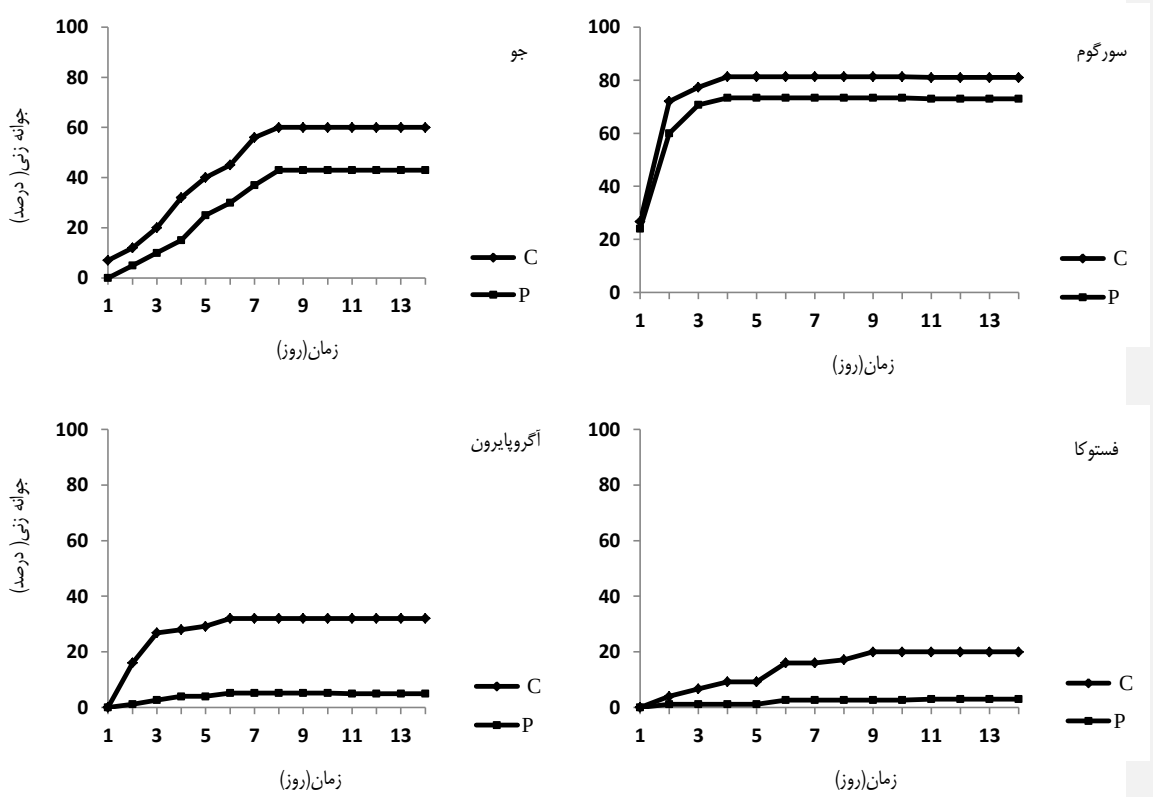
Comment [a5]: خارج از فرمت

نتایج و بحث

نتایج آزمایش اولیه جوانه‌زنی و رشد

شکل ۱ درصد جوانه‌زنی گیاهان جو، سورگوم، آگروپایرون و فستوکا را در طول دوره ١٤ روز در دو تیمار آلوده و شاهد نشان می‌دهد. تحلیل-های آماری مقایسه میانگین نمونه‌های مستقل، نشان دهنده عدم وجود اختلاف آماری در سطح ۵ درصد برای جوانه‌زنی بذر گیاه سورگوم در خاک آلوده نسبت به خاک شاهد و وجود اختلاف آماری برای جوانه‌زنی بذر گیاهان جو، آگروپایرون و فستوکا در خاک آلوده نسبت به خاک شاهد است. میزان کاهش جوانه‌زنی در خاک آلوده نسبت به خاک شاهد برای گیاهان سورگوم، جو، آگروپایرون و فستوکا به ترتیب ١٤، ۲۸، ٨٤، ٨٥ درصد بود و گیاه سورگوم و جو به ترتیب دارای بیشترین درصد جوانه زنی در خاک آلوده بودند(جدول ۳). بذر فستوکا و آگروپایرون نسبت به بذر گیاهان سورگوم و جو به سبب داشتن اندازه کوچکتر و سطح تماس بیشتر بذر با خاک و آلاینده‌های نفتی، کاهش بیشتری در میزان جوانه‌زنی در خاک آلوده نشان دادند ولی بذر سورگوم با اندازه بزرگتر و مقاومت نسبت به آلاینده‌های نفتی دارای بیشترین درصد جوانه زنی در خاک آلوده بود. به نظر می‌رسد در این پژوهش وجود آلاینده‌های نفتی در خاک باعث کاهش جوانه‌زنی گیاهان جو، فستوکا و آگروپایرون در طول دوره آزمایش شده است در حالی‌که شروع جوانه‌زنی فقط با یک روز تاخیر در گیاهان جو، آگروپایرون و فستوکا نسبت به گیاه سورگوم انجام شده است(شکل۱). آنچه سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاه در خاک آلوده به مواد نفتی می‌گردد، ایجاد یک لایه روغنی اطراف بذر است که بر قابلیت جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه تاثیر گذار است (Reilley et al., 1996). مطالعات متعددی به وجود ارتباط مستقیم بین افزایش هیدروکربن‌های نفتی خاک و جوانه‌زنی ضعیف اشاره دارند. به عنوان مثال Maila and (2002) Cloeteجوانه‌زنی گیاه Lepidium sativum را در خاک آلوده به هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای(PAH) بررسی کردند. سطح جوانه زنی گیاه Lepidium با افزایش غلظت PAH در خاک‌های آلوده کاهش می‌یافت. در غلظت‌های 1000 ppm و 50 درصد جوانه زنی به ترتیب 16٪ > و 75٪< بود. بنابراین جوانه‌زنی گیاه Lepidium sativum به عنوان شاهدی جهت کاهش میزان PAH خاک معرفی شد. برخی از مطالعات نیز نشان داده‌اند که اگر چه وجود ترکیبات نفتی در خاک نتوانسته بر جوانه‌زنی برخی از گیاهان اثرگذار باشد ولی موجب

کاهش رشد و عملکرد آن‌ها شده است. Smith et al (2006) در بررسی جوانه‌زنی و رشد ۷ گونه علفی و لگوم در خاک آلوده با سطوح مختلف PAH بیان کردند که تیمارهای مورد مطالعه بر جوانه‌زنی گیاهان تاثیری نداشتند ولی موجب کاهش رشد گیاهان مورد مطالعه شدند.



شکل (۱) مقایسه درصد جوانه‌زنی در دو تیمار آلوده(p) و شاهد(c) در گیاهان مورد مطالعه در مدت ۱۴ روز

جدول (۳) مقایسه میانگین‌های درصد جوانه زنی بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای شاهد و آلوده در مدت ۱۴ روز

	سورگوم	جو	آگروپایرون	فستوکا
خاک آلوده	۷۳^{a}	٤۳^{b}	۵^{c}	۳^{c}
خاک شاهد	۸۵/۳^{a}	٦۰^{a}	۳۲^{b}	۲۰^{b}

اعداد هر سطر با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

نتایج آزمایش گیاه‌پالایی

- **عملکرد ماده خشک گیاه**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان سورگوم و جو در تیمارهای آلوده و شاهد در جدول ٤ آمده است. نتایج نمایانگر آن است که نوع گیاه و نوع تیمار بر عملکرد ماده خشک اثرگذار بوده است. بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی و ریشه سورگوم و جو در خاک آلوده گویای آن بود که وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک موجب کاهش رشد و عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه، در مقایسه با تیمار شاهد شده است. کاهش حدود ۳۰ و ۲۲ درصدی در عملکرد ماده خشک ریشه و کاهش حدود ٤۲ و ۵۱ درصدی در عملکرد ماده خشک اندام هوایی به ترتیب برای جو و سورگوم در تیمار آلوده نسبت به تیمار شاهد دیده شد. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار شاهد برای گیاه سورگوم و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار آلوده برای گیاه جو بود(جدول ٤).

Cheema et al (2009) نیز در مطالعه خود به کاهش ۵۳/۵ و ۲۹/۷ درصدی عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه گیاه Festuca arundinacea در خاک آلوده به فنانترن و پیرین بعد از ٦۵ روز از رشد فسکیوی بلند اشاره کردند.

به نظر می‌رسد که مسمومیت ایجاد شده به سبب وجود آلاینده‌های نفتی در خاک و همچنین ایجاد محدودیت در رشد و توسعه ریشه و کاهش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی، عوامل اصلی کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی در خاک آلوده بوده است (Chaineau et al., 1997).

جدول(۴) نتایج تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاه سورگوم و جو (گرم برگلدان) در تیمارهای شاهد و آلوده

گیاه	سورگوم	جو	جو	سورگوم
	خاک شاهد		خاک آلوده	
وزن خشک ریشه	۰/٤۹ a	۰/٤ a	۰/۲۸ b	۰/۳۸ b
وزن خشک اندام هوایی	٤/۱ a	۲/۸ b	۱/٦ C	۲ C

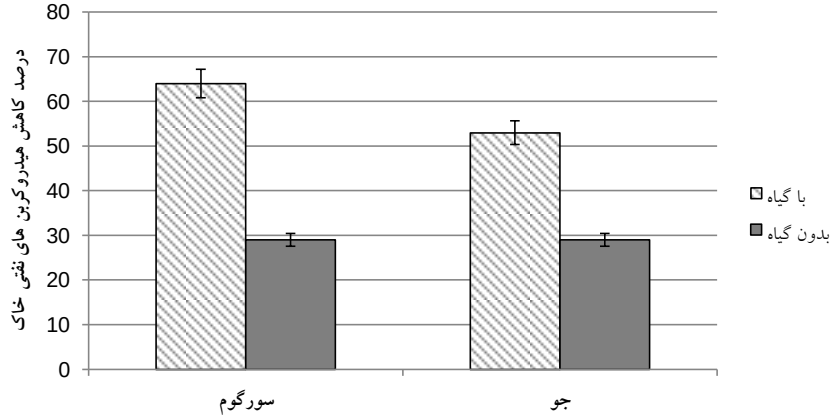
اعداد هر سطر با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار آماری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

- **میزان کل هیدروکربن‌های نفتی خاک**

نتایج آماری نشان داد که در حضور گونه‌های گیاهی سورگوم و جو میزان کاهش هیدروکربن‌های نفتی نسبت به تیمارهای بدون گیاه ۳۰ درصد بیشتر است(شکل ۲). به دلیل وجود اختلاف معنی‌دار آماری بین اثر حضور پوشش گیاهی سورگوم و جو و تیمار بدون گیاه، می‌توان کاهش غلظت هیدروکربن‌های نفتی را مربوط به نقش مؤثر سورگوم و جو بر پالایش آلاینده‌های نفتی موجود دانست. البته نوع گیاه نیز

دارای اثر معنی‌داری بر کاهش غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی خاک بود به شکلی که اختلاف معنی‌داری بین جو و سورگوم درکاهش غلظت هیدروکربن‌های نفتی در تیمار آلوده دیده شد. تجزیه و تخریب آلاینده‌های نفتی در حضور سورگوم نسبت به جو بیشتر بود. سورگوم و جو به ترتیب سبب کاهش حدود ٦٤ و ٥٢ درصدی غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) نسبت به غلظت اولیه این ترکیبات در شروع دوره آزمایش شد. حضور پوشش گیاهی از طریق افزایش قابلیت دسترسی زیستی هیدروکربن‌ها، ترشحات ریشه، تحریک رشد و فعالیت باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن‌های نفتی و بهبود خواص فیزیکی خاک، می‌تواند سبب افزایش تخریب این آلاینده‌های آلی در خاک شود. در همین راستا مطالعات بسیاری درباره نقش گیاهان مختلف در پالایش خاک آلوده به نفت انجام شده است. Liste & Alexander (2000) قابلیت ۹ گونه گیاهی را برای کاهش پیرن در خاک آلوده بررسی کردند. در مدت ۸ هفته میانگین حذف پیرن از خاک با گیاه ٧٤ درصد و در خاک بدون گیاه کمتر از ٤٠ درصد بود.

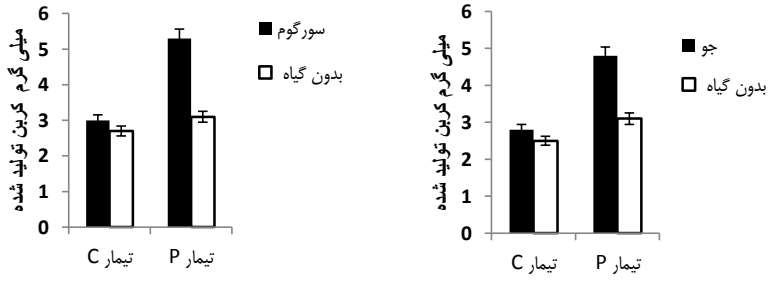
Hutchinson et al (2001) کاهش حدود ۶۸ و ۶۲ درصدی غلظت هیدروکربن‌های نفتی در خاک را به ترتیب در حضور مرغ پنجه‌ای و فسکیو گزارش نمودند. Peng et al(2009) نشان دادند که متوسط کارایی حذف TPH بوسیله Mirabilis Jalapa L در طی 127 روز از دوره کشت 63-41 درصد بود در حالی‌که میزان حذف طبیعی فقط 37-19 درصد بود. اینچنین به نظر می‌رسد که تخریب آلودگی خاک ناشی از فعالیت میکربی در منطقه ریزوسفر است. Kaimi et al (2006) نشان دادند که در محدوده ریزوسفری گیاه رای‌گراس میزان نفت 55 درصد کمتر از ریشه‌های آزاد در همان خاک است همچنین در ریزوسفر تعداد باکتری‌های هوازی بیشتر از خاک غیر ریزوسفری بود و با رشد ریشه‌ها همبستگی مثبت داشت. Agamuthu et al (2010) در مطالعه خود بیان کردند که مقدار هیدروکربن مورد استفاده باکتری‌ها در ریزوسفر گیاه Jatropha curcas بالا است و مکانیسم تخریب از طریق ریزوسفر می‌باشد. در این تحقیق نیز میزان کاهش نفت بیشتری را در ناحیه ریزوسفری نسبت به سایر نقاط گلدان شاهد بودیم.



شکل(2) تاثیر نوع گیاه بر درصد حذف TPH در مقایسه با تیمار شاهد(بدون گیاه)

نتایج بررسی میزان تنفس میکروبی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های میزان کربن تولیدی به صورت CO_2 ناشی از تنفس میکربی در خاک‌های آلوده و شاهد در حضور گیاهان سورگوم و جو در مقایسه با تیمار بدون گیاه نشان داد که در خاک شاهد، تفاوت معنی‌داری در تنفس میکربی بین تیمارهای با حضور گونه‌های گیاهی سورگوم و جو و تیمارهای بدون گیاه وجود ندارد ولی در خاک آلوده این تفاوت معنی‌دار است. در خاک شاهد تنفس میکروبی در حضور سورگوم و جو نسبت به تیمار بدون گیاه فقط ۱۱ درصد بیشتر بود در حالی‌که در خاک آلوده تنفس میکروبی در حضور سورگوم و جو نسبت به تیمار بدون گیاه به ترتیب ۷۱ و ٥٤ درصد بیشتر بود. همچنین در خاک شاهد تفاوت معنی‌داری در تنفس میکربی بین تیمارهای حاوی گیاه سورگوم با تیمارهای حاوی گیاه جو وجود نداشت در صورتیکه در خاک آلوده این تفاوت معنی‌دار بود و تنفس میکربی در حضور سورگوم ۱۰ درصد بیشتر از جو بود (شکل۳). در خاک آلوده نسبت به خاک شاهد میزان تنفس میکربی افزایش یافت زیرا آلودگی باعث تحریک جامعه میکربی خاک شده و فعالیت برخی ریز جانداران را کاهش و برخی را افزایش می‌دهد(Marin et al., 2005). افزایش ریز جانداران احتمالا به دلیل نقش آلودگی به عنوان سوبسترا برای جامعه میکربی و فعالیت زیاد ریز جانداران بومی می‌باشد. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که میزان تخریب هیدروکربن‌های نفتی خاک با تنفس میکربی و تعداد باکتری‌های مخرب ارتباط دارد (Benyahia et al., 2005; Diplock et al., 2009; Lin et al., 2010). گیاهان قادرند از طریق رهاسازی عناصر غذایی و ترشحات خود در خاک و انتقال اکسیژن به ناحیه ریشه موجب تحریک و افزایش فعالیت جمعیت میکروبی تخریب‌کننده آلاینده‌های نفتی شوند. گیاه جو و سورگوم هر دو دارای سیستم ریشه‌ای گسترده می‌باشند، گیاهان با سیستم ریشه‌ای گسترده به دلیل سطح ویژه‌شان باعث افزایش فعالیت میکروبی ناحیه ریشه شده و به این طریق باعث افزایش سرعت تجزیه ترکیبات نفتی در خاک می‌شوند (Hutchinson et al., 2001). در این مطالعه نیز نقش موثر گونه‌های جو و سورگوم جهت افزایش تنفس میکربی و کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک تایید گردید.



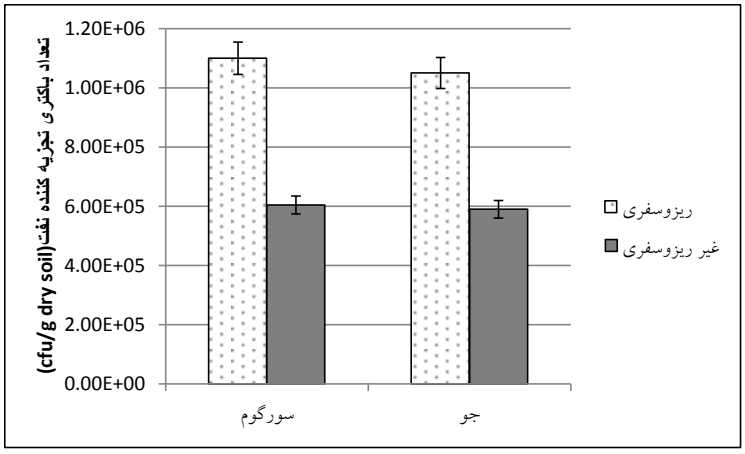
شکل (3) مقایسه میانگین میزان میلی‌گرم کربن تولید شده در فرآیند تنفس میکروبی در خاک‌های آلوده(p) و شاهد(c) در ریزوسفر گیاه جو و سورگوم

نتایج تعیین تعداد باکتری‌های کل و نفت‌خوار خاک

بعد از گذشت 94روز از کاشت دو گونه گیاهی تعداد باکتری‌های کل و نفت‌خوار خاک محاسبه شدند. تعداد باکتری‌های کل و تجزیه‌کننده نفت در نمونه‌های دارای گیاه نسبت به نمونه‌های بدون گیاه بیشتر بود و تفاوت معنی‌داری در سطح 5 درصد در تیمارهای با گیاه نسبت به تیمارهای بدون گیاه مشاهده شد. حضور گونه گیاهی باعث افزایش ریزجاندران نسبت به خاک بدون کاشت گیاه می‌شود (Li et al., 2002;

(Cheema et al., 2009; Sijin et al., 2010). مقایسه نمونه‌های دارای گیاه نشان داد که تعداد باکتری‌های کل در خاک آلوده همواره بیشتر از خاک شاهد است و بیشترین تعداد باکتری‌های کل و تجزیه‌کننده نفت در محدوده ریزوسفری گیاهان سورگوم و جو دیده می‌شوند (شکل 4 و 5). مطالعات بسیاری نشان دادند که مقدار TPH باقیمانده در خاک با تعداد ریز جانداران خاک همبستگی منفی دارد و بیشترین مقدار کاهش نفت در محدوده ریزوسفری خاک است که به علت افزایش تعداد ریزجانداران خاک در این محدوده است (Sharyn & Bentham, 2010; Moreira et al., 2011; Tang et al., 2012; Tejeda et al., 2012). ریزوسفر با افزایش تخریب زیستی آلاینده‌های نفتی، افزایش تعداد و تنوع باکتری‌های تجزیه‌کننده نفت، افزایش ترشح ترکیبات شیمیایی و تحریک گیاهی باعث تخریب هیدروکربن‌های نفتی خاک می‌شود(Tejeda et al., 2012).

شکل (4) مقایسه تعداد باکتری‌های کل در ریزوسفر گیاهان سورگوم و جو در خاک آلوده و شاهد در مقایسه با محدوده غیر ریزوسفری



شکل (5) مقایسه تعداد باکتری‌های تجزیه‌کننده نفت در ریزوسفر گیاهان سورگوم و جو در خاک آلوده

در مقایسه با محدوده غیر ریزوسفری

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از دو گیاه سورگوم و جو جهت کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک منطقه پالایشگاه اصفهان استفاده شد. نتایج نشان داد که این گیاهان قادرند غلظت بالای هیدروکربن‌های نفتی خاک را تحمل کنند و مواد سمی موجود در خاک نتوانسته‌اند بر دانه گیاه تأثیر مستقیم گذاشته و مانع از جوانه زدن آن شوند اگرچه جوانه‌زنی هر دو گیاه در خاک آلوده کاهش یافت. غلظت هیدروکربن‌های نفتی خاک بعد از کاشت کاهش زیادی نسبت به قبل از کاشت نشان دادند به‌طوریکه سورگوم و جو به ترتیب منجر به کاهش ٦٤ و ٥٢ درصدی غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک شدند که نسبت به خاک بدون گیاه حدود ۳۰ درصد بیشتر بود. کاهش غلظت هیدروکربن‌های نفتی در خاک‌های فاقد گیاه به عواملی مانند شستشوی آن از بافت خاک، جذب سطحی، اکسیداسیون در مقابل نور، تبخیر و تجزیه بیولوژیکی نسبت داده شده است(Reillyet et al., 1996) درحالی‌که در خاک‌های دارای پوشش گیاهی، مشخصه جذب و تجزیهٔ گیاهی نیز به موارد فوق اضافه می‌شود. با حضور گیاه در خاک جمعیت و تنفس میکروبی خاک افزایش یافت و منطقه ریزوسفری شرایط مناسب و بهینه را برای رشد و تکثیر باکتری‌ها فراهم آورد. نتایج به‌دست آمده در سطح ۵ درصد مبین نقش مثبت و عملکرد مناسب گیاهان انتخابی در حذف هیدروکربن‌های نفتی از خاک است. اهمیت واقعی این موضوع وقتی خود را نشان می‌دهد که بدانیم آلاینده‌های آلی حتی در غلظت‌های بسیار اندک، تهدیدی جدی برای سلامتی بشر محسوب می‌شوند، بنابراین افزایش در میزان حذف آلاینده‌های نفتی در حضور گیاه سورگوم و جو نقشی بسیار مهم در بهبود وضعیت خاک منطقه دارد و استفاده از این دو گیاه برای کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک آلوده در منطقه پالایشگاه اصفهان پیشنهاد می‌گردد.

Comment [a6]: نیاز به بسط و گسترش بیشتری دارد

Comment [a7]: ارائه نقطه نظرات علمی و پژوهشی کاربردی برای آینده در قالب پیشنهاد و توصیه می تواند مفید واقع گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از زحمات مدیر عامل محترم شرکت پالایش نفت اصفهان، مدیر محترم اداره پژوهش و توسعه این شرکت جناب آقای مهندس ناظم و سایر پرسنل محترم به خصوص جناب آقای مهندس هدایتی کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

فهرست منابع

بسالتپور، ع.ا.؛ حاجعباسی، م.ع.؛ خوشگفتارمنش، ا.ح. و افیونی، م. 1387. بررسی پالایش خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی اطراف پالایشگاه تهران به روش تحریک گیاهی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 15(4):35-22.

ذامیادی، آ.؛ لیاقت، ع.؛ ثواقبی، غ. و حسن‌اقلی، ع. 1383. مدیریت استفاده از فاضلاب صنعتی در کشاورزی. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. 359-347.

رضوانی، م.؛ نورمحمدی، ق. و زعفریان، ف. 1384. پاکسازی مواد آلاینده خاک، آب‌های زیرزمینی و هوا به وسیله گیاهان(Phytoremediation). مجله علوم کشاورزی. 11: 25-7.

رنگ زن، ن. و لندی، ا. 1386. نقش گیاهان در پالایش خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی. مجله علمی کشاورزی. 30(3): 91-79.

علایی، ا.؛ وکیلی، ف. و شریف، ا. م. 1389. گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فنانترن با استفاده از گیاه سورگوم. محیط شناسی. 36(53): 88-79.

گیتی پور، س.؛ نبی بیدهندی، غ.ر. و گرجی، م.ا. ۱۳۸۳. آلودگی خاک‌های جنب پالایشگاه تهران در اثر نشت ترکیبات نفتی. محیط شناسی. 30(34): ۳۹-45.

Adam, G. & Duncan, H. 2002. Influence of diesel fuel on seed germination. J. Environ. Pollut. 120: 363-370.

Agamuthu, P.; Abioye, O.P. & Abdul Aziz, A. 2010. Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using Jatropha curcas. Journal of Hazardous Materials. 179(1-3): 891-894.

Banks, M.K. 1999. Evaluation of dissipation mechanisms for benzo(a) pyrene in the rhizosphere of tall Fescue. J. Environ. Qual. 28: 294-29.

Benyahia, F.; Abdulkarim, M.; Zekri, A.; Chaalal, O. & Hasanain, H. 2005. Bioremediation of crude oil contaminated soils: A black art or an engineering challenge?. Process safety and environmental protection. 83(4): 364-370.

Bower, C.A.; Reitmeir, R.F. & Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Sci. 73: 251-261.

Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen - Total. In A.L. Page, R.H. Miller, & D.R. Keeney (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agron. 9:595-624.

Chaineau, C.H.; Morel, J.L. & Oudot, J. 1997. Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. J. Eviron. Qual. 26: 1478-1483.

Chapman, H. D. 1965. Total exchangeable bases. Ch. 58. In C. A. Black (ed.) Methods of soil analysis, Part 2. Soil sci. Soc. of amer., Madison, WI.

Cheema, S.A.; Khan, M.I.; Tang, X.; Zhang, C.; Shen, C.; Malik, Z.; Ali, S.; Yang, J.; Shen, K.; Chen, X. & Chen, Y. 2009. Enhancement of phenanthrene and pyrene degradation in rhizosphere of tall fescue (Festuca arundinacea). Journal of Hazardous Materials. 166(2-3): 1226-1231.

Comment [a8]: با فرمت مقاله نویسی مجله و تکنیک های ادبیات پارسی ویرایش شود.

Christopher, S.; Hein, P.; Marsden, J. & Shurleff, A.S. 1988. Evaluation of methods 3540 (soxhlet) and 3550 (Sonication) for evaluation of appendix IX analyses from solid samples. SCUBED, Report for EPA contract 68-03-33-75, work assignment No.03, Document No. SSS-R-88- 9436.

Cunningham, S.D.; Shann, J.R.; Crowley, D.E. & Anderson, T.A. 1997. Phytoremediation of contaminated water and soil. In E.L. Kruger, T.A. Anderson, & J.R. Coats (eds.), Phytoremediation of soil and water contaminants, ACS Symposium Series No. 664. American Chemical Society, Washington, DC.

Diab, E.A. 2008. Phytoremediation of oil contaminated desert soil using the rhizosphere effects. Global Journal of Environmental Research. 2 (2): 66-73.

Diplock, E.E.; Mardlin, D.P.; Killham, K.S. & Paton, G.I. 2009. Predicting bioremediation of hydrocarbons: Laboratory to field scale. Environmental Pollution. 57(6): 1831-1840.

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.

Hutchinson, S. L.; Banks, M. K. & Schwab, A.P. 2001. Bioremediation and biodegradation. Phytoremediation of aged petroleum sludge: Effect of inorganic fertilizer. Environ. Qual. 30: 395-403.

Kaimi, E.; Mukaidani, T.; Miyoshi, S. & Tamaki, M. 2006. Ryegrass enhancement of biodegradation in diesel-contaminated soil. Environmental and Experimental Botany. 55(1-2): 110-119.

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.

Leahy, J. G. & Colwell, R. R. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. Microbial. Rev. 54: 305–315.

Li, C.H.; Ma, B.L. & Zhang, T.O. 2002. Soil bulk density effects on soil microbial population and enzyme activities during the growth of maize (Zea Mays) planted in large pots under field exposure. J. Plant. Sci. 82: 147- 154.

Lin, T. C.; Pan, P.T. & Cheng, S.S. 2010. Ex situ bioremediation of oil-contaminated soil. Journal of Hazardous Materials. 176(1-3):27-34.

Liste, H.H. & Alexander, M. 2000. Accumulation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere soil. Chemosphere. 40(1): 11-14.

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.

Maila, M.P. & Cloete, T.E. 2002. Germination of Lepidium sativum as a method to evaluate polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal from contaminated soil. International Biodeterioration & Biodegradation. 50(2): 107-113.

Marin, J.A.; Hernandez, T. & Garcia, C. 2005. Bioremediation of oil refinery sludge by land farming in semiarid conditions: influence on microbial activity. Environ. Res. 98: 185-195.

Mc Catcheon, S.C. & Schnoor, J.L. 2003. Phytoremediation, transformation and control of contaminants, Wiley- Interscience.

Moreira, I.T.A.; Oliveira, O.M.C.; Triguis, J.A.; Santos, A.M.P.; Queiroz, A.F.S.; Martins, C.M.S.; Silva, C.S. & Jesus, R.S. 2011. Phytoremediation using Rizophora mangle L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's). Microchemical Journal. 99(2): 376–382.

Newman, L.A. & Reynolds, C.M. 2005. Bacteria and phytoremediation: new uses for endophytic bacteria in plants. Trends in Biotechnology. 23(1): 6-8.

Olsen, S.R. & Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Methods of soil analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (eds.). Pp: 403-431.

Page, A.L.; Miller, R.H. & Keeeney, D.R. (eds.). 1982. Methods of soil analysis. Part2-Chemical and Microbiological methods. Seconds edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.

Peng, S.; Zhou, Q.; Cai, Z. and Zhang, Z. 2009. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by Mirabilis Jalapa L. in a greenhouse plot experiment. Journal of Hazardous Materials. 168(2-3): 1490-1496.

Reilley, K. A.; Banks, M.K. & Schwab, A.P. 1996. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Rhizosphere. J. Environ Qual. 25:212-219.

Samimi, S.V.; Akbari Rad, R. & Ghanizadeh, F. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons contamination level in collected samples from vicinity of a highway. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering. 6(1): 41-52.

Sharyn, E. G. & Bentham, R.H. 2010. Rhizoremediation of hydrocarbon contaminated soil using Australian native grasses. Science of the Total Environment. 408(17): 3683-3688.

Sijin, L.u.; Yanguo, T.; Jinsheng, W. & Zongjian, S. 2010. Enhancement of pyrene removed from contaminated soils by Bidens Maximowicziana. Chemosphere. 81: 645–650.

Smith, M.J.; Flowers, T.H.; Duncan, H.J. & Alder, J. 2006. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAHs residues. Environmental Pollution. 141(3): 519-525.

Soleimani, M.; Afyuni, M.; Hajabbasi, M.A.; Nourbakhsh, F.; Sabzalian, M.R. & Christensen, J.H. 2010. Phytoremediation of an aged petroleum contaminated soil using endophyte infected and non-infected grasses. Chemosphere. 81: 1084–1090.

Tang, J.; Lu, X.; Sun, Q. & Zhu, W. 2012. Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation conditions. Agriculture, Ecosystems & Environment. 149:109-117.

Tejeda-Agredanoa, M.C.; Gallego, S.; Vila, J.; Grifoll, M.; Ortega-Calvo, J.J. & Cantos, M. 2012. Influence of the sunflower rhizosphere on the biodegradation of PAHs in soil. Soil Biology & Biochemistry. xxx: 1-11.

U.S. EPA. 1984. Interalaboratory comparison stunt: Methods for volatile and semi–volatile compounds, Environmental monitoring systems laboratory, office of research and development, Las Vegas, NV, EPA. 600/4-84- 027.

Walkley, A. & Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

Zhineng, Z.; Qixing, Z.; Shengwei, P. & Zhang, C. 2010. Remediation of petroleum contaminated soils by joint action of Pharbitis nil L. and its microbial community. Science of the Total Environment. 408(22): 5600–5605.

Sorghum bicolor (L.) Moench and Hordeum vulgare capability to reduce petroleum hydrocarbons from contaminated soil

Abstract

petroleum compounds are one of the most frequently encountered pollutants in oil refineries soil. Phytoremediation has become a cost-effective alternative to physicochemical methods of remediation, where feasible. In this study a greenhouse experiment was conducted to evaluate the phytoremediation of petroleum contaminated soil using Sorghum bicolor (L.) Moench and Hordeum vulgare. After 94 day of plants growth, shoot and root dry weight, total and oil-degrading bacteria, microbial activity, Total Petroleum Hydrocarbons(TPHs) residual concentrations and removal percentages were determined. TPHs have caused a significant ($P < 0.05$) reduction in shoot dry weight by more than 50%. There was significant difference in bacterial counts (total and oil-degrading bacteria) of planted soils than control. Microbial activity in the rhizosphere of Sorghum was more than Hordeum in contaminated soil but no significant differences were observed in the rhizosphere of Sorghum and Hordeum in control soil. The concentration of TPH_S decreased by 52% - 64% in 94 days when the contaminated soil was cultivated with Sorghum and Hordeum, representing an improvement of 30% compared to contaminated soil without plants. Thus, Sorghum and Hordeum could be high efficient for removal of petroleum from oil-contaminated soils.

Comment [a9]: نیاز به ویرایش مجدد دارد تا به زبان علمی آکادمیک درآید

Keywords: Phytoremediation; Petroleum Hydrocarbons; Remediation; Sorghum; Hordeum