تأثیر گیاه پالایی و زیست افزایی بر حذف فنانترن و پایرن از خاک آلوده

محمد **مهدی بانشی**[۱]، **روشنک رضایی کلانتری**[۲*]، **احمد جنیدی جعفری**[۲]،
سیمین ناصری[۳]، **نعمت ا... جعفرزاده**[٤]، **عماد دهقانی فرد**[٥]

[۱] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یاسوج، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۳] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[٤] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران
[٥] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۷/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲۶

چکیده

در این تحقیق، کارایی گیاه پالایی خاکهای آلوده به فنانترن و پایرن و همچنین تاثیر زیست افزایی و سورفاکتانت غیر یونی Tween80 بر کارایی آن توسط دو گیاه سورگوم و اسپرس مورد بررسی قرار گرفت.

خاکهای جمع آوری شده از مراتع استان کهکیلویه و بویراحمد در ایران، با غلظت های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک خشک از فنانترن و پایرن به صورت مجزا و ترکیبی (۹ سطح) آلوده شده، و در هر گلدان ۱/٥ کیلوگرم خاک ریخته شد و در حالات مختلف طبیعی، زیست افزایی و سورفاکتانت به صورت مجزا و ترکیبی (۱۲ حالت) که مجموعا ۱۰۸ حالت می گردید با سه تکرار (۳۲٤ گلدان) به مدت ۱۲۰روز، در شرایط مشابه فیلد قرار گرفت. در پایان، مقدار فنانترن و پایرن خاک با HPLC تعیین مقدار و درصد حذف مشخص گردید. جمعیت میکروبی خاک و ریزوسفر نیز شمارش گردید.

نتایج نشان داد که هر دو گیاه به طور چشمگیری باعث بهبود حذف فنانترن و پایرن از خاک می گردند. زیست افزایی و سورفاکتانت غیریونیTween80 نیز باعث افزایش راندمان حذف گردیدند. در حالت ترکیبی گیاه، زیست افزایی و سورفاکتانت حذف به طور قابل توجهی افزایش نشان داد؛ به طوری که حذف ۹۹/٤٪ و ۹۸٪با اسپرس و ۹٦/٥٪ و ۹۹٪ با سورگوم، به ترتیب برای فنانترن و پایرن به دست آمد.

این تحقیق نشان داد که هر دو گیاه سورگوم و اسپرس، دارای عملکرد مناسبی در فرآیند گیاه پالایی خاکهای آلوده به فنانترن و پایرن می‌باشند و افزایش سورفاکتانت و زیست افزایی، کارایی فرآیند گیاه پالایی را تا نزدیک به حذف کامل فنانترن و پایرن از خاک، بهبود می‌دهد.

کلمات کلیدی: گیاه پالایی، زیست افزایی، فنانترن، پایرن، گیاه سورگوم و اسپرس، خاک‌های آلوده

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران
ایمیل: rezaei.r@iums.ac.ir - **شماره تماس**: ۰۲۱-۸۸٦۰۷۹٤٦

مقدمه

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) یک گروه از آلودگی های آلی پایدار هستند که دارای دو یا چند حلقه بنزنی هستند. این ترکیبات در اثر سوختن ناقص یا پیرولیز مواد آلی تولید می گردند.[1] PAHs آبگریز بوده و با سرعت جذب مواد می گردند، بنابراین به طور گسترده ای در خاک، رسوبات و مواد دارای چربی یافت می شوند.[1و2] برخی از این ترکیبات به عنوان مواد جهش زا، سرطان زا و تراتوژنیک شناخته شده اند. در چند دهه اخیر، روش های گوناگونی برای حذف آنها از خاک های آلوده پیشنهاد شده که شامل روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می گردد[1]. گیاه پالایی و زیست افزایی، از روش های حذف بیولوژیکی در محل می باشند که هم از نظر هزینه و هم از نظر زیست محیطی دارای مقبولیت می باشند.[3و4] گیاه پالایی، استفاده از گیاهان برای حذف آلودگی های خاک، رسوبات و آبهای سطحی و زیر زمینی می باشد که در طی دهه گذشته توسعه یافته است[5و6]. آلاینده های آلی مثل هیدروکربن های نفتی، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs)، حلال های آلی و حشره کش ها که با خاک ترکیب شده اند، می توانند به وسیله گیاه دریافت شده و به شکل غیر سمی منتقل یا ذخیره شوند. همچنین افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی در ریزوسفر گیاه، باعث تجزیه آلاینده های آلی می گردد[7]؛ چون گیاه باعث تهیه منابع انرژی کربن و نیتروژن به وسیله ترشحات ریشه و سلول‌های ریزشی می گردد که بصورت ترشحات آلی محلول آزاد شده و ممکن است حدود ۲۰-۱۰ درصد از محصولات فتوسنتز سالیانه گیاه را شامل شود[8]. همچنین استفاده از گیاه، باعث بهبود ساختار خاک و افزایش هوادهی و رطوبت گردیده، ترشحات ریشه دارای آنزیم هایی است که می تواند در تجزیه PAHs مشارکت کنند و گیاه باعث انتقال فیزیکی ترکیبات آلی به داخل بافت و سپس معدنی سازی آنها می گردد.[4]

برای حذف بهتر PAHs چند عامل مهم باید در نظر گرفته شود. گیاهان بومی منطقه استفاده شوند که شرایط خاک و آب و هوا را تحمل نمایند و نیاز به مراقبت کمی داشته باشند، مثل کوددهی، تا هزینه ها کاهش یابد. در خاکهای با مواد غذایی کم، رشد نمایند که تحقیقات استفاده از بقولات (legumes) را به علت خاصیت تثبیت نیتروژن، ارجح می دانند. همچنین گیاهان باید دارای سطح بالایی از ریشه باشند.[5]

یک گونه گندمیان (سورگوم) و یک گونه از بقولات (اسپرس) در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. این گیاهان در شرایط آب و هوایی ایران به راحتی کشت شده، دارای گستره رویشی وسیعی بوده و در گستره متفاوتی از شرایط خاک و آب و هوا رشد می کنند. سورگوم دارای سیستم ریشه ای پخشان بوده و سطح بالایی از ریشه را ایجاد می کند و اسپرس، به علت توانایی بقولات در تثبیت ازت و عدم نیاز به نیتروژن که باعث رشد آنها در خاکهای آلوده با میزان C/N بالا می شود، انتخاب شده است. تجزیه میکروبی یکی از فرآیندهای مهم تجزیه PAHs در خاکهای آلوده می باشد.[9] دو فرآیند مهم برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم ها در فرآیند حذف بیولوژیکی عبارتند از: (۱) زیست برانگیزی که با افزودن نوترینت ها یا گیرنده های نهایی الکترون یا ترکیبی از آنها انجام می شود؛ (۲) زیست افزایی که شامل اضافه کردن گونه های میکروبی خارجی که توانایی تجزیه مواد سمی مورد نظر را دارند می باشد[10]. در این تحقیق، با اضافه کردن مخلوط باکتریایی که از خاک های آلوده به ترکیبات نفتی جداسازی و با فنانترن و پایرن آدابته شده، به منظور افزایش توانایی حذف استفاده شده است.

افزایش حلالیت (PAHs) در سیستم خاک – آب می تواند انتقال جرم را بهبود داده و باعث افزایش دسترس‌پذیری ترکیبات و در نتیجه افزایش تجزیه زیستی PAHs گردد. در مطالعات متعددی از سورفاکتانتها بدین منظور استفاده شده چون سورفاکتانتهای کاتیونی می تواند بر رشد میکروارگانیس‌ها اثر منفی گذارد. بنابراین در اکثر مطالعات، از

سورفاکتانت‌های آنیونی و غیریونی استفاده شده است. یکی از سورفاکتانت‌های غیریونی، Tween 80 است که می تواند باعث افزایش پخش PAHs درسیستم خاک و آب گردد[9] و به نظر می رسد که توان دسترس پذیری بیولوژیکی (Bioavailability) ترکیبات PAH را در فرآیند گیاه پالایی توام با زیست افزایی، ارتقاء دهد.

در این تحقیق تاثیر گیاه سورگوم و اسپرس، سورفاکتانت Tween 80 و باکتریهای تجزیه کننده فنانترن و پایرن، را به صورت جدا و ترکیبی، برای حذف فنانترن و پایرن در غلظت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه خاک آلوده به فنانترن و پایرن

خاک از مراتع شهر یاسوج در استان کهکیلویه و بویراحمد در جنوب ایران، از عمق ۱۵-۰ سانتی متری، جمع آوری گردید؛ در هوا خشک و خرد شده و با الک ۲mm غربال گردید. خاک غربال شده با فنانترن و پایرن (پایرن با خلوص ۹۶٪ فنانترن با خلوص ۹۸/۵ شرکت مرک)، در چند غلظت (از ۱۰۰۰ تا۶۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) آلوده گردید . برای این منظور، مقدار مشخصی از فنانترن یا پایرن را در استن حل نموده و به خاک اضافه گردید و اجازه داده شد تا استن تبخیر گردد. سپس از خاک آلوده شده با فنانترن و پایرن، به نسبتی به خاک اضافه گردید که ۱۰٪ کل خاک، خاک آلوده شده باشد و به غلظت مورد نظر در آزمایش برسد (جدول ۱) و برای اطمینان از یکنواخت بودن،کاملا مخلوط شده و با الک ۲mm غربال گردید. غلظت آلاینده، در حالات مختلف طراحی اندازه گیری و تفاوت معنی داری با غلظت مورد نظر نداشتند. ۱/۵ کیلوگرم از خاک را در گلدان به ارتفاع ۲۰ و قطر ۱۵ سانتی متر ریخته و یک هفته در دمای آزمایشگاه قرار گرفت.

افزایش سورفاکتانت و باکتری های تجزیه کننده

ابتدا سورفاکتانت Tween80 را در آب مقطر حل کرده و سپس خاک هر گلدان را کاملا پخش نموده و به وسیله اسپری کردن و به هم زدن، حجمی از محلول به خاک اضافه می گردید تا غلظت سورفاکتانت به ٤٥ mg/kg خاک خشک برسد. مخلوط باکتریایی بر روی محیط کشت نوترینت آگار، کشت داده شده و به مدت ٢٤ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس کلنی ها در آب مقطر استریل حل شده تا OD=1 حاصل شود و پس از کشت و شمارش باکتریها، حجمی از محلول به خاک اسپری گردید که به هرگرم خاک، حدود^{6}۱۰ باکتری اضافه شود. بلافاصله بعد از اضافه کردن باکتری ،خاک ها را در گلدان ریخته و سریعا آبیاری گردیدند.

گیاهان

دو گیاه مورد استفاده در این تحقیق که سورگوم، از خانواده گندمیان به علت توانایی بالای آن در مطالعات متعدد گیاه پالایی به دلیل مقاومت بالا در برابر شرایط محیطی بخصوص کم آبی، سطح ریشه پخشان و گسترده و توانایی تحمل آلاینده ها، و اسپرس، به دلیل اینکه در مراتع کشور بخصوص استان وفور داشته، از خانواده لگوم ها بوده که خاصیت تثبیت ازت را دارند و نیاز به کوددهی ومراقبت کمی دارند و می تواند باعث افزایش کارآیی گیاه پالایی گردد، انتخاب شده اند. بذر ضد عفونی آنها از شرکت پاکان بذر تهیه گردید.

طراحی آزمایش

خاک ها ی تهیه شده و غربال شده طبق جدول ۱ در ۹ غلظت جداگانه و ترکیبی از پایرن و فنانترن تهیه شد. برای هر یک از غلظت ها، ۱۲ حالت طبق جدول ۲ (طبیعی، با باکتری، سورفاکتانت، اسپرس، سورگوم) و ترکیب دو تایی (باکتری + سورفاکتانت، باکتری + سورگوم ، باکتری + اسپرس، سورفاکتانت + سورگوم و سورفاکتانت + اسپرس) و ترکیب

سه تایی آنها (باکتری + سورفاکتانت + سورگوم و باکتری + سورفاکتانت + اسپرس) در ۱۰۸ حالت و در سه تکرار، که مجموعا ۳۲٤ گلدان می گردید، تهیه و طراحی آزمایش توسط نرم افزار Design expert 7 و به صورت full factorial انجام پذیرفت.

در هر کدام از ۳۲٤ گلدان، ۱/۵ کیلوگرم خاک آماده شده از ۱۰۸ حالت فوق الذکر، ریخته و در هر گلدان ٦ بذر از هر گیاه با دانسیته مساوی، در عمق ۱/۵ سانتی متری خاک، کاشته شد؛ به صورت یک روز در میان به میزان ٦۰ درصد ظرفیت نگهداشت آب، با آب مقطر، آبیاری و به مدت یک هفته در آزمایشگاه نگهداری تا جوانه زنی انجام گیرد. سپس در هر گلدان، ۳ گیاه یکنواخت نگهداری و بقیه حذف شدند. گلدان ها به محل حفاظت شده مشابه فیلد منتقل گردید. گلدانها بصورت تصادفی هر سه روز یکبار، جابجا گردیدند.

سنجش فتانترن و پایرن از خاک

برای استخراج فتانترن و پایرن از نمونه های خاک، از روش شرح داده شده توسط PAN و دیگران و xu و همکارانو Gao و همکاران استفاده گردید [۱۲و۱۱،۳]. خاک گلدان ها به دقت جمع آوری ، یکنواخت و با الک ۲mm غربال گردید. ۲ گرم از خاک به داخل لوله سانتریفوژ ریخته؛ با ۲ گرم Na_2SO_4 بی آب مخلوط گردید؛ ۱۰ میلی لیتر دی کلرومتان به آن اضافه و برای مدت یک ساعت در دمای ٤۰ درجه سانتیگراد در اولتراسیونیک قرار گرفت. سپس لوله ها با دور ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و ۳ میلی لیتر از مایع، از ژل سیلیکا، عبور داده شد. سپس ماده با محلول ۱:۱ هگزان و دی کلرومتان ترقیق گردید. نمونه های رقیق شده در دمای ٤۰ درجه سانتیگراد تبخیر، و با متانول به حجم اولیه ۲mL رسانده شد. نمونه ها با فیلتر فایبر گلاس ۰/۲۲ میکرون فیلتر، و به وسیله کرماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC, CECIL 4100, USA) با ستون C18 با طول ۲۵ سانتیمترو قطر داخلی٤/۲ میلیمتر و دتکتور UV/Vis، فازمتحرک متانول:آب (۸۰:۲۰ v/v) با میزان جریان 1ml/min طول موج۲۲۰ نانومتر، آنالیز انجام گردید.

جدول ۱: غلظت اولیه PAHs در خاک آلوده شده (mg/kg)

	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
Pyrene	۰	۱۰۰	۳۰۰	۰	۰	۱۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۳۰۰
Phenanthrene	۰	۰	۰	۱۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۳۰۰

جدول ۲: طراحی آزمایشات متغیرها و سطوح آنها

	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}
Natural attenuation	+											
Bioaugmentation		+				+	+	+			+	+
Surfactant Tween80			+			+			+	+	+	+
Sorghum				+			+			+		+
Onobrychis S.					+			+	+		+	

جدول ۳: درصد حذف پایرن و فنانترن خاک در ۱۲ حالت طراحی

	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}
Pyrene Mean	۳٦/۸	٤٤/۹	٤٦/۷	٦۰/٥	٦٥/۲	٥۷/۲	۷۳/۸	۷٤/۱	۸۹/۷	۸۲/۷	۹۸	۹٦/٥
SD	۱/۲٥	۲/۹۱	۱/۹۲	۲/۹۲	۲/٤۳	۲/٤٤	2.59	۲/۱	۱/٦۷	2.05	۱/٦۷	۱/۹۸
Phenan Mean	٥۱/۲	٥۹/٤	٦۱	۷٤/۱	۷٥/۱	۷۱/٥	۸٥/۲	۸٥	۹۲/۷	۹۰/۳	۹۹/٤	۹۹
SD	۲/٥۸	۳/۲۸	۱/۸۷	۲/۱۱	۲/۳۳	٥/۰۷	۲/۰۹	۳/۸۹	۲/۳۳	۲/۹٥	۰/۸۸	۱/۰۷

شمارش میکروبی

برای سنجش باکتری های خاک، از خاک حالت های بدون گیاه و در حالات دارای گیاه از خاک ریزوسفری که خاک چسبیده به ریشه می باشد، استفاده گردید. نمونه ها تا موقع آزمایش در دمای ٤ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. شمارش باکتری خاک با روش رقت متوالی انجام گردید.[۱۳و۱٤] ابتدا یک گرم از خاک با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر استریل مخلوط گردید تا رقت 10^{-2} حاصل شود؛ سپس یک میلی لیتر از آن را به ۹ میلی لیتر آب مقطر استریل اضافه تا رقتهای متوالی تا 10^{-6} به دست آید. از سه رقت نهایی، ۱ میلی لیتر بر روی پلیت نوترینت آگار با روش pour plate کشت داده شد. پلیت ها در دمای ۳۷ درجه قرار گرفته و پس از یک روز، کلنی های باکتری شمارش و بصورت $CFUg^{-1}$ خاک خشک بیان گردید. برای سنجش رطوبت خاک، از هر نمونه، ٥ گرم به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه خشک گردید ؛خاک خشک شده وزن و میزان رطوبت مشخص گردید[۱٥].

نتایج و بحث

جدول ۳ میزان حذف فنانترن و پایرن را در همه حالات نشان می دهد.

اگر چه در این تحقیق، از خاک مراتع بدون سابقه آلودگی مشخص استفاده گردید؛ ولی تجزیه نسبتا قابل توجهی در مدت ۱۲۰ روز هم برای فنانترن و هم برای پایرن در حالت طبیعی انجام پذیرفت. هر چند میزان تجزیه به نوع ترکیب بستگی داشت و فنانترن خیلی بیشتر از پایرن (۱/٤ برابر) تجزیه گردید.

این نتایج با نتایج تحقیقات دیگر که در آن PAH_S با وزن مولکولی بالا نسبت به PAH_S با وزن ملکولی پایین، در برابر تجزیه مقاوم تر می باشند، مطابقت دارد[۸،۱٦و۱۲،۱۷]. بالاتر بودن میزان حذف فنانترن، ناشی از فراریت و قابلیت تجزیه بیولوژیکی بالاتر آن نسبت به پایرن است[٤].

این میزان نسبتا بالای تجزیه، ممکن است به علت افزایش فعالیت جمعیت میکروبی خاک در اثر تامین رطوبت مناسب با آبیاری ایجاد شده باشد.

با زیست افزایی، افزایش حذف برای هر دو آلاینده مشاهده می شود، ولی این افزایش حذف برای پایرن بیشتر از فنانترن می باشد (۲۲٪ برای پایرن، ۱٦٪ برای فنانترن). در تحقیقات قبلی نیز زیست افزایی باعث افزایش حذف آلاینده ها از خاک گردیده است[۱۸-۲۲].

Teng.y و همکاران گزارش کرده اند که زیست افزایی باعث افزایش ۳۲/۲ ٪ در متوسط حذف PAH_S گردیده است که این افزایش حذف برای پایرن ۳٥/۱ ٪ بوده است[۲۳]. Mohan و همکاران نیز افزایش ۲٤٪ درحذف پایرن از خاک را با زیست افزایی گزارش نموده اند[۲٤]. Rodrigo و همکاران، با افزایش کنسرسیوم باکتریایی شامل پنج نوع باکتری، حذف ۹۹٪ برای فنانترن و ۹٦٪ برای پایرن را در مدت ۷۰ روز به دست آورند[۲٥]. هر چند Yu و همکاران در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که زیست افزایی، تاثیری بر حذف فنانترن و پایرن از

رسوبات آلوده نداشته، ولی زیست برانگیزی تاثیر چشمگیری داشته است[۲]. در تحقیق دیگر، اضافه کردن باکتری آدابته شده در مدت چهارده روز با فنانترن با غلظت ۱۰۰ و ۵۰۰ mg/kg را به ترتیب ۱۰۰٪ و ۲۵/۸٪ حذف نموده است[۲۶].

افزودن سورفاکتانت Tween 80 با میزان 45mg/kg باعث افزایش ۰/۲۷ برابری حذف برای پایرن (از ۳۶/۸٪ به۴۶/۷٪) و ۰/۱۹ برابری (از ۵۱/۲٪ به ۶۱٪) برای فنانترن گردیده است.

سورفاکتانت ها به منظور افزایش میزان دسترس پذیری بیولوژیکی و تجزیه بیولوژیکی PAH_S بکار می روند (P1). سورفاکتانت باعث بهبود تحرک شده و واجذب PAH_S را از خاک، تسهیل می نماید که ممکن است حذف آلاینده از خاک را بهبود بخشد. مطالعات قبلی نیز تاثیر سورفاکتانت بر واجذب و افزایش حذف PAH_S را تائید می نماید[۲۷و۲۸]. Zhou ازسورفاکتانت غیریونی و آنیونی برای واجذب فنانترن ازخاک استفاده نمود و به این نتیجه رسید که سورفاکتانت می تواند باعث بهبود حلالیت فنانترن در سیستم آب–خاک گردد[۲۹].

زیست افزایی و سورفاکتانت Tween 80، تاثیر تقریبا مشابهی بر حذف فنانترن و پایرن از خاک داشتند و تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده نگردید (Pvalue<۰/۰۵).

در خاک های دارای گیاه، میزان حذف پایرن و فنانترن نسبت به خاک بدون گیاه افزایش قابل ملاحظه ای را نشان می دهد (Pvalue<۰/۰۵). حذف با گیاه سورگوم ۶۰/۴٪ و ۷۴/۱٪ (۶۴٪ و ۴۴/۷٪ بیشتر از کنترل) و با Onobrychis. S ۶۵/۲٪ و ۷۵/۱٪ (۷۷/۱٪ و ۴۶/۶٪ بیشتر از کنترل) به ترتیب برای پایرن و فنانترن می باشد. عملکرد گیاه Onobrychis. S نسبت به سورگوم در حذف پایرن بهتر بود (Pvalue<۰/۰۵)، ولی در حذف فنانترن تفاوت معنی داری نداشتند و این مشخص می کند که گیاه Onobrychis. S می تواند حتی موثرتر از گیاه سورگوم در فرآیند گیاه پالایی فنانترن و پایرن از خاک عمل نماید و افزایش راندمان حذف در فرآیند گیاه پالایی برای پایرن، خیلی بیشتر از فنانترن می باشد (۷۷/۱–۶۴٪ در برابر ۴۶/۶–۴۴/۷٪). تحقیقات گذشته بر روی گیاهان مختلف کارایی بالای این فرآیند را در حذف آلاینده ها از خاک تایید می نماید[۱۵،۳۰و۳۱]. تحقیق Hans-Holgerliste با استفاده از ۹ گیاه نشان داد که در محیط با گیاه، بیش از ۷۴٪، در حالی که در محیط بدون گیاه کمتر از ۴۰٪ از فنانترن خاک حذف شده است[۳۲]. Lu و همکاران نیز حذف پایرن را در خاک بدون گیاه ۵۷–۴۷٪، و در خاک با گیاه ۸۳–۷۶٪ که ۲۸٪ بالاتر از خاک بدون گیاه بود، گزارش کرده اند[۸]. Sans-Hwan Lee و همکاران، با چهار گونه گیاه از خانواده لگوم ها و گراس ها بیش از ۹۹٪ فنانترن و ۹۴–۷۷٪پایرن را از خاک حذف نمودند که حذف پایرن توسط لگوم ها بیشتر از گراس ها بود، ولی برای فنانترن تفاوتی نداشتند که در این مورد، با نتیجه این تحقیق مطابقت داشت[۵].

اثر گیاهان بر تجزیه آلاینده ها، ممکن است در نتیجه تاثیرهای نامشخص ریشه گیاه بر وضعیت خاک اطراف باشد. این تاثیر شامل افزایش فعالیت میکروبی ریزوسفر و آنزیم های گیاهی ناحیه ریشه است که می توانند به عنوان حد واسط تجزیه عمل نمایند[۵]. از آنجایی که PAHs از ترکیبات هیدروفوب بوده، آزاد شدن آنها از ترکیب خاک به فاز آبی، بسیار کند صورت می پذیرد و این باعث می شود این آلاینده ها به صورت طولانی در خاک باقی بمانند [۳۳و۳۴] و حذف کامل آنها از خاک، به وسیله یک فرآیند منحصر به فرد خیلی مشکل و زمان بر باشد[۳۵]. در این مطالعه نیز، در طول ۱۲۰ روز، با فرآیند های مختلف تنها ۶۵/۷ – ۳۶/۸٪ از پایرن و ۷۵/۱ – ۵۱/۱۸٪ از فنانترن خاک حذف گردید که نشان می دهد اگر چه این فرآیندها بر افزایش حذف تاثیر چشمگیری داشته اند، ولی هنوز غلظت قابل توجهی از آلاینده ها در خاک وجود دارد. بنابراین سیستم های ترکیبی فرآیندهای فوق مورد بررسی قرار گرفت. در روش سیستم های چند گانه گیاه پالایی، کارایی بالاتر در حذف فنانترن و پایرن از خاک آلوده، به خصوص در حذف پایرن، مشاهده گردید که در برخی از این

روشها کارایی تا نزدیک به حذف کامل ارتقاء یافت. در همه این روشهای ترکیبی، حذف حداقل ۷۳٪ برای پایرن و ۸۵٪ برای فنانترن حاصل گردیده است. درحالت ترکیبی زیست افزایی با سورفاکتانت، حذف فنانترن و پایرن به ترتیب ۷۱/۵٪ و ۵۷/۲ ٪ رسید که اختلاف معنی داری با هر دو حالت زیست افزایی (۲۰٪ و ۲۷٪ بالاتر) و سورفاکتانت (۱۷٪ و ۲۷٪ بالاتر) به تنهایی داشت. این افزایش راندمان حذف ممکن است ناشی از اثر سینرژیسم این دو فرآیند باشد که سورفاکتانت باعث افزایش دسترس پذیری بیولوژیکی آلاینده شده و باکتریهای آدابته شده، که توانایی تجزیه این آلاینده ها را دارند، با سرعت و میزان بیشتری می توانند آنها را تجزیه نمایند.

نتایج حاصله با تحقیق Chao مطابقت داشت که با اضافه کردن سورفاکتانت Brig30 و افزایش چهار نوع باکتری، بهبود قابل توجهی در تجزیه DEHP از خاک را گزارش نمود[۳۶].

Shin و همکاران، با بیوسورفاکتانت رامنولیپید و زیست افزایی در حذف فنانترن به این نتیجه رسیدند که بیوسورفاکتانت تاثیری در حذف نداشته است[۳۷].

درحالت ترکیبی زیست افزایی و گیاه سورگوم، میانگین حذف فنانترن و پایرن به حد قابل توجه ۸۵/۲ ٪ و ۷۳/۸٪ افزایش می یابد که نسبت به حالت گیاه سورگوم به تنهایی، به ترتیب ۱٤/۹ ٪ و ۲۲٪ افزایش حذف را برای فنانترن و پایرن نشان می دهد. در همین حالت ترکیبی برای گیاه Onobrychis s. نیز حذف تقریبا مشابهی نسبت به سورگوم مشاهده می شود (۸۵٪ و۷٤/۱٪ به ترتیب برای فنانترن وپایرن). این حالت ترکیبی هر دو گیاه تفاوت معنی داری را نسبت به حالتهای هر گیاه به تنهایی در حذف فنانترن و پایرن از خاک نشان می دهد که با نتایج مطالعات قبلی مطابقت داشت[۳۸و۱]. Yu و همکاران، حذف فنانترن از خاک را توسط گیاه ۹۱٪ و در حالت ترکیبی گیاه و باکتری، بالای ۹۹٪ و برای پایرن توسط گیاه ۹۰٪ و در حالت ترکیبی گیاه و باکتری ۹٦٪ اعلام نمودند[٤]، هر چند Xu و همکاران، با سیستم ترکیبی گیاه و باکتری افزایشی را در حذف فنانترن و پایرن مشاهده نکردند[۱۲]. افزایش راندمان حذف ممکن است در اثر تشدید فعالیت باکتریها دراثر ایجاد شرایط مساعدی باشد که در ریزوسفر گیاه ایجاد شده است. در حالت ترکیبی سورفاکتانت با گیاه، برای هر دو گیاه افزایش معنی داری در میزان حذف هر دو آلاینده مشاهده گردید. این افزایش میزان حذف برای Onobrychis. S ۲۲٪ و ۳۷/۵٪ و برای سورگوم ۲۱/۹٪ و ۳۷٪، به ترتیب برای فنانترن و پایرن، بالاتر از میزان حذف هرگیاه به تنهایی بود و افزایش راندمان حذف پایرن نسبت به افزایش راندمان حذ ف فنانترن بیش از ٦۰٪ بالاتر بود. در مطالعه Cheny و همکاران، افزودن Tween 80 در فرآیند گیاه پالایی با گیاه آگروپایرن بر حذف فنانترن بی تاثیر بود ولی حذف پایرن را ۷۹٪ – ٦۱٪ افزایش داد. Gao و دیگران، با اضافه کردن سورفاکتانت ها از جمله Tween80، افزایش چشمگیری در حذف پایرن از خاک را در فرآیند گیاه پالایی به دست آوردند. در حالت ترکیبی سه گانه گیاه، سورفاکتانت و زیست افزایی، حذف قابل توجه برای فنانترن و پایرن از خاک انجام شد. در این حالت ترکیبی برای گیاه Onobrychis. S ۹۹/٤٪ و ۹۸٪ و برای گیاه سورگوم ۹۸/۹٪ و ۹٦/۵٪ حذف، به ترتیب برای فنانترن و پایرن، به دست آمد.

حذف PAHs از خاک می تواند در اثر حذف غیر بیولوژیکی شامل تبخیر یا شسستشو یا در اثر دریافت و تجمع گیاهی و یا تجزیه به وسیله میکروارگانیسم های خاک باشد.

حذف غیر بیولوژیکی در اثر شستشو منتفی است، زیرا مقدار آب در حد ٦۰٪ ظرفیت نگه داشت آب حفظ گردید و هیچ نشتی در طول آزمایش حاصل نشد. از طرفی، چون فشار بخار این آلاینده ها پایین است ($۱۰^{-۱}$ و $۱۰^{-۲/۵}$ atmmol برای فنانترن و پایرن)، بنابراین تبخیر از خاک بعید است. در این تحقیق، میزان PAHs در بافت گیاه تعیین مقدار نشد، ولی مطالعات قبلی نشان داده اند که دریافت/تجمع گیاهی را می توان نادیده گرفت، زیرا ضریب $logk_{ow}$ برای فنانترن ٤/۱۷ و برای پایرن ۵/۱۳ می باشد و ترکیبات هیدروفوب با $logk_{ow}>$

4 نمی توانند به وسیله گیاه و توسط فرآیند transpiration دریافت شوند.

تاثیر غلظتهای اولیه فنانترن و پایرن خاک بر میانگین حذف در کلیه حالات مختلف طبق جدول ٤ بود. کمترین حذف پایرن درحالتی که غلظت ترکیبی بالای فنانترن و پایرن را در خاک وجود داشت (mg/kg ۳۰۰) به میزان ٦٦/٨٪ و حداکثر حذفپایرن درحالتی بوده که غلظت اولیه آن ۱۰۰mg/kg و غلظت فنانترن صفر بوده مشاهده گردید. حداکثر حذف فنانترن به میزان ۸۱/٤٪، درحالتی که غلظت آن ۱۰۰mg/kg و بدون پایرن بوده، رخ داده و کمترین آن در حالتی است که غلظت هر دو آلاینده حداکثر (mg/kg ۳۰۰) بوده است. از نظر آماری تفاوت معنی داری در میانگین حذف در غلظت های اولیه مختلف فنانترن و پایرن مشاهده نگردید.

نتایج این مطالعه با مطالعه XU و همکاران که با چهار نوع گیاه فنانترن و پایرن را از خاک حذف نمودند، مطابقت دارد. ولی Goa و همکاران به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت اولیه فنانترن باعث بهبود کارایی حذف شده، ولی افزایش غلظت اولیه پایرن کارایی حذف را کاهش می دهد. عدم تاثیر غلظت اولیه فنانترن و پایرن بر کارایی حذف، می تواند ناشی از کارایی بالای این روشها که منجر به کاهش غلظت اولیه آلاینده شده و در نتیجه تاثیر آن بر کارایی حذف را کاهش می دهد.

جمعیت باکتریایی

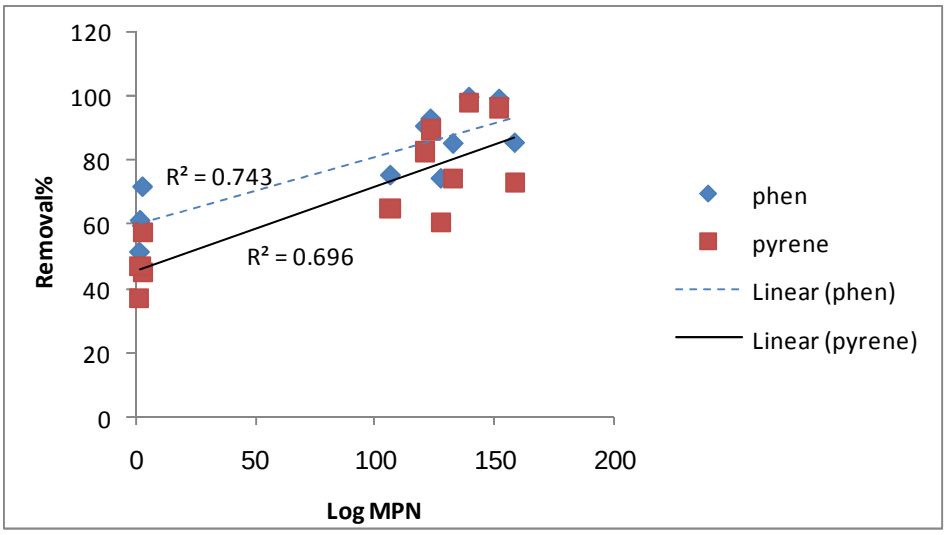
جمعیت باکتریایی درخاک های بدون گیاه و در ریزوسفر گیاهان، در پایان ۱۲۰ روز شمارش گردید. تعداد باکتری درحالات مختلف خاکهای بدون گیاه (طبیعی، زیست افزایی، سورفاکتانت و سورفاکتانت + زیست افزایی) در محدوده 10^{7} cfu/g خاک خشک بود و در ریزوسفر، حالات مختلف با گیاه در محدوده 10^{9} cfu/g خاک خشک بود (نمودار ۱)

جدول ٤: درصد حذف پایرن و فنانترن درهمه حالات غلظتهای اولیه آلاینده

		C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
Pyrene	Mean	–	٧٠/٦	٦٧/٧	–	–	٦٩/٦	٦٩/١	٦٩/٤	٦٦/٨
SD		–	١/٩٢	٢/٠٣	–	–	٢/١	١/٩٥	٢,٠٢	١/٩٩
Phenan	Mean	–	–	–	٨١/٤	٧٩/٢	٧٩/٢	٧٦/٩	٧٨,٧	٧٦/٦
SD		–	–	–	١/٥	١/٦٣	١/٥٩	١/٧١	١/٤٣	١/٥٧

جدول ٥: تعداد باکتری‌های خاک در هر گرم خاک (درحالتهای مختلف)

	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}
Log CFU	٧/٢٧	٧/٤٩	٧/٣٣	٩/١١	٩/٠٣	٧/٥	٩/٢	٩/١٢	٩/٠٩	٩/٠٨	٩/١٤	٩/١٨
SD	٠/٤٩	٠/٤	٠/٥٣	٠/١٣	٠/١٨	٠/٣٩	٠/٧٨	٠/١٤	٠/١٥	٠/١٤	٠/٩٣	٠/١٢



نمودار ۱: همبستگی باکتری خاک با درصد حذف فنانترن و پایرن خاک

این افزایش جمعیت باکتری، نتیجه رشد باکتریها در حضور ریشه گیاهان است. زیرا از ریشه گیاهان موادی مثل آمینواسیدها، اسیدهای آلی، آنزیم ها، قندها و ترکیبات کربوهیدرات ترشح می گردد که می توانند بعنوان منبع کربن و انرژی مورد استفاده قرارگرفته و باعث افزایش جمعیت باکتری در ریزوسفر گردند. نتایج آزمون آماری نشان می دهد که کاشت گیاه بصورت معنی داری جمعیت باکتریایی را افزایش می دهد (Pvalue<۰/۰۱). تعداد جمعیت باکتریایی در ریزوسفر حالات مختلف دارای گیاه اختلاف معنی داری با هم نداشت.

زیست افزایی در خاک بدون گیاه، باعث افزایش جمعیت باکتریایی در سطح معنی داری گردیده (Pvalue<۰/۰۵) ولی درخاک با گیاه، این اختلاف معنی دار نبود.

سورفاکتانت Tween80 چه درخاک بدون گیاه و چه در خاک دارای گیاه بر جمعیت باکتری تاثیر قابل ملاحظه ای نداشت.

غلظت اولیه فنانترن و پایرن نیز تاثیر معنی داری بر جمعیت باکتریایی نداشت. تعداد جمعیت باکتریایی خاک، با میزان حذف فنانترن و پایرن از خاک، به طور معنی داری همبستگی نشان داد (Pvalue<۰/۰۱). (نمودار ۱)

در گزارش Janbondhu و همکاران، تعداد باکتری در ریزوسفر، ۷/۵ –۵ برابر خاک غیر ریزوسفری بوده و با افزایش غلظت پایرن تا ۱۰۰mg/kg، باکتری افزایش و در غلظت های بالاتر تعداد باکتری کاهش داشت. در مطالعه Gao و همکاران، با افزایش غلظت فنانترن و پایرن جمعیت باکتری خاک کاهش ولی در ریزوسفر افزایش را نشان داد. در مطالعه دیگری با افزایش غلظت فنانترن و پایرن، تعد اد باکتری خاک بدون گیاه، خاک با گیاه و در ریزوسفر افزایش را نشان داد. عدم تاثیر غلظت اولیه فنانترن و پایرن بر جمعیت باکتریایی خاک ممکن است ناشی از کارایی مطلوب این روشها در حذف این آلاینده ها و در نتیجه آدابته شدن جمعیت باکتریایی در دوره طولانی ۱۲۰ روزه با شرایط خاک باشد.

نتیجه گیری

استفاده از گیاه سور گوم و onobrychis.s می تواند حذف فنانترن و پایرن را از خاک بهبود دهند و onobrychis در حذف پایرن، عملکردی به مراتب بهتر از سورگوم

دارد. استفاده از سیستم های ترکیبی گیاه پالایی (multi – technique – phytoremediation) باعث بهبود فرآیند حذف می گردد. افزایش باکتری یا Tween80، می تواند کارایی فرآیند گیاه پالایی را برای حذف فنانترن و پایرن بهبود دهد. همچنین استفاده توام از باکتری و سورفاکتانت Tween80 در فرآیند گیاه پالایی، می تواند حذف را بطور قابل ملاحظه ای تا نزدیک به حذف کامل ارتقاء دهد. تاثیر مثبت Tween80، ناشی از توانایی محلول سازی و واجذب آن است که باعث بهبود دسترس پذیری بیولوژیکی آلاینده های خاک می گردد.

آزمون همبستگی نشان داد که راندمان حذف پایرن و فنانترن رابطه معنی داری با جمعیت میکروبی خاک دارند.

نتیجتا اینکه، عمکلرد زیست افزایی و Tween80 می تواند باعث بهبود کارایی گیاه پالایی در حذف فنانترن و پایرن از خاک آلوده گردد. تحقیقات بیشتر در مورد کارایی سایر گیاهان بومی و همچنین مسیر تجزیه PAHs و مشخص کردن مقدار دریافت یا تجمع گیاه برای آینده توصیه می گردد.

منابع

1. Zhang J, Yin R, Lin X, Liu W, Chen R. Intractive Effect of Biosurfactant and microorganism to Enhanced Phytoremediation for Removal of Aged Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from contaminated soils. J Health Sci 2010;56(3): 257-66.
2. Yu KSH, Wong AHY, Yau KWY, Wong YS, Tam NFY.Natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation on biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mangrove sediments. Mar Pollut Bull 2005;51:1071-7.
3. Sheng-wang PAN, Shi-qiang WEI, Xin Y, Sheng-xian CAO. The removal and remediation of phenanthrene and pyrene in soil by mixed cropping of alfalfa and rape. Agri Sci China 2008;7(11):1355-64.
4. Yu XZ, Wu SC, Wu FY, Wong MH. Enhanced dissipation of PAHs from using mycorrhizal ryegrass and PAH-degrading bacteria. J Hazard Mater 2010; ACCEPTED.
5. Lee S-H, Lee W-S, Lee C-H, Kim J-G. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. J Hazard Mater 2008;153(1-2): 892-8.
6. Zhang Z, Zhou Q, Peng S, Cai Z. Remediation of petroleum contaminated soils by joint action of Pharbitis nil L. and its microbial community. Sci Total Environ 2010;408: 5600-5.
7. Kirk JL, Klironomos JN, Lee H, Trevors JT. The effects of perennial ryegrass and alfalfa on microbial abundance and diversity in petroleum contaminated soil. Environ Pollut 2005;133: 455-65.
8. Lu S, Teng Y, Wang J, Sun Z. Enhancement of pyrene removed from contaminated soils by Bidensmaximowicziana. Chemosphere 2010;81(5): 645-50.
9. Cheng KY, Lai KM, Wong JWC. Effects of pig manure compost and nonionic-surfactant Tween 80 on phenanthrene and pyrene removal from soil vegetated with Agropyronelongatum. Chemosphere 2008;73(5): 791-7.
10. Hamdi H, Benzarti S, Manusadžianas L, Aoyama I, Jedidi N. Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions. Soil Bio Biochem 2007;39: 1926-35.
11. Gao Y, Zhu L. Plant uptake, accumulation and translocation of phenanthrene and pyrene in soils. Chemosphere 2004;55(9): 1169-78.
12. Xu SY, Chen YX, Wu WX, Wang KX, Lin Q, Liang XQ. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation. Sci Total Environ 2006;363(1-3): 206-15.
13. Euliss K, Ho C-h, Schwab AP, Rock S, Banks MK. Greenhouse and field assessment of phytoremediation for petroleum contaminants in a riparian zone. Bioresour Technol 2008;99: 1961-71.
14. pedologyNio. Method of studying on soil Microbiology. Chinese Academy of Science: Science Press; 1985.
15. Kaimi E, Mukaidani T, Miyoshi S, Tamaki M. Ryegrass enhancement of biodegradation in diesel-contaminated soil. Environ Experiment Botany 2006;55: 110-9.
16. Cheema SA, Khan MI, Tang X, Zhang C, Shen C, Malik Z, Ali S, Yang J, Shen K, Chen X and others. Enhancement of phenanthrene and pyrene degradation in rhizosphere of tall fescue (Festucaarundinacea). J Hazard Mater 2009;166(2-3): 1226-31.
17. Gao Y, Yu XZ, Wu SC, Cheung KC, Tam NFY, Qian PY, Wong MH. Interactions of rice (Oryza sativa L.) and PAH-degrading bacteria (Acinetobacter sp.) on enhanced dissipation of spiked phenanthrene and pyrene in waterlogged soil. Sci Total Environ 2006;372(1): 1-11.

18. Colombo M, Cavalca L, Bernasconi S, Andreoni V. Bioremediation of polyaromatic hydrocarbon contaminated soils by native microflora and bioaugmentation with Sphingobiumchlorophenolicum strain C3R: A feasibility study in solid- and slurry-phase microcosms. Int Biodeterior Biodeg 2011;65(1): 191-7.

19. Madueño L, Coppotelli BM, Alvarez HM, Morelli IS. Isolation and characterization of indigenous soil bacteria for bioaugmentation of PAH contaminated soil of semiarid Patagonia. Int Biodeterior Biodeg 2011;65(2): 345-51.

20. Mrozik A, Piotrowska-Seget Z. Bioaugmentation as a strategy for cleaning up of soils contaminated with aromatic compounds. Microbiol Res 2010;165(5): 363-75.

21. Tahhan RA, Ammari TG, Goussous SJ, Al-Shdaifat HI. Enhancing the biodegradation of total petroleum hydrocarbons in oily sludge by a modified bioaugmentation strategy. Int Biodeterior Biodeg 2011;65(1): 130-4.

22. Xu Y, Lu M. Bioremediation of crude oil-contaminated soil: Comparison of different biostimulation and bioaugmentation treatments. J Hazard Mater 2010;183: 395-401.

23. Teng Y, Luo Y, Sun M, Liu Z, Li Z, Christie P. Effect of bioaugmentation by Paracoccus sp. strain HPD-2 on the soil microbial community and removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from an aged contaminated soil. Bioresour Technol 2010;101(10): 3437-43.

24. Venkata Mohan S, Prasanna D, Purushotham Reddy B, Sarma PN. Ex situ bioremediation of pyrene contaminated soil in bio-slurry phase reactor operated in periodic discontinuous batch mode: Influence of bioaugmentation. Int Biodeterior Biodeg 2008;62(2): 162-9.

25. Jacques RJS, Okeke BC, Bento FM, Teixeira AS, Peralba MCR, Camargo FAO. Microbial consortium bioaugmentation of a polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soil. Bioresour Technol 2008;99(7): 2637-43.

26. Janbandhu A, Fulekar MH. Biodegradation of phenanthrene using adapted microbial consortium isolated from petrochemical contaminated environment. J Hazard Mater 2011;187: 333-40.

27. Ahn CK, Kim YM, Woo SH, Park JM. Soil washing using various nonionic surfactants and their recovery by selective adsorption with activated carbon. J Hazard Mater 2008;154(1-3): 153-60.

28. Zhou W, Zhu L. Efficiency of surfactant-enhanced desorption for contaminated soils depending on the component characteristics of soil-surfactant-PAHs system. Environ Pollut 2007;147(1): 66-73.

29. Zhou W, Zhu L. Enhanced desorption of phenanthrene from contaminated soil using anionic/nonionic mixed surfactant. Environ Pollut 2007;147(2): 350-7.

30. Cheema SA, Imran KHan M, SHhen C, Tang X, Farooq X. Degredation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by single and combined plants cultivation. J Hazard Mater 2010;177(1-3): 384-9.

31. Phillips LA, Greerb CW, Germida JJ. Culture-based and culture-independent assessment of the impact of mixed and single plant treatments on rhizosphere microbial communities in hydrocarbon contaminated flare-pit soil. Soil Biol Biochem 2006;38: 2823-33.

32. Liste H-H, Alexander M. Plant-promoted pyrene degradation in soil. Chemosphere 2000;40(1): 7-10.

33. Cofield N, Bank MK, Schwab AP. Lability of polyciclic aromatic hydrocarbons in the rhizospher. Chemosphere 2008;70: 1644-52.

34. Joner EJ, Hirmann D, Szolar OHJ, Todorovic D, Leyval C, Loibner AP. Priming effects on PAH degradation and ecotoxicity during a phytoremediation experiment,. Environ Pollut 2004;128: 429-35.

35. Huang XD, EI-Alawi Y, Penrose DM, Glick BR, Greenberg BM. A Multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. Environ Pollut 2004;130(3): 465-76.

36. Chao WL, Cheng CY. Effect of introduced phthalate-degrading bacteria on the diversity of indigenous bacterial communities during di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) degradation in a soil microcosm. Chemosphere 2007;67(3): 482-8.

37. Shin K, Kim J, Kim K. Effect of Biosurfactant Addition on the Biodegradation of phenanthrene in soil-water system. Environ Eng Res 2008;13(1): 8-13.

38. Borras E, Caminal G, Sarra M, Novotny C. Effect of soil bacteria on the ability of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal by trametesversicolor and irpexlacteus from contaminated soil. Soil Biol Biochem 2010;42(12): 2087-93.

39. Gao Y-Z, Ling W-T, Zhu L-Z, Zhao B-W, Zheng Q-S. Surfactant-Enhanced Phytoremediation of Soils Contaminated with Hydrophobic Organic Contaminants: Potential and Assessment. Pedosphere 2007;17(4): 409-418.

40. Reilly K, Bank MK, Schwab AB. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in rhizospher. J Environ Qual 1996;25: 212-9.

41. Scwarzenbach R, Gschwend P, Imboden D. Environmental organic chemistry. New York: John willy&sons; 1993.

The Effect of Phytoremediation and Bioaugmentation on the Removal of Phenanthrene and Pyrene from Contaminated Soil

Mohammad Mehdi Baneshi[1], Roshanak Rezaei Kalantary*[2], Ahmad Jonidi Jafari[2], Simin Nasseri[3], Nemat Jafarzadeh[4], Emad Dehghanifard[5]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Yasuj University of Medical Sciences, Yasuj, Iran

2. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Jondishapour University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

5. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Alborz University of Medical Sciences,Tehran, Iran

***E-mail:** rezaei.r@iums.ac.ir*

Received: 29 Sep 2014 ; Accepted: 17 Dec 2014

ABSTRACT

In this study, the efficiency of phytoremediation on soils contaminated by Phenanthrene and Pyrene as well as the impact of bioaugmentation and nonionic surfactant Tween80 on its performance was evaluated by sorghum and Onobrychis sativa.

Soils collected from the pastures of Kohkiluyeh and Boyerahmad province in Iran, with concentrations of 100 and 300 mg per kg of Phenanthrene and Pyrene, which were separately and combined (9 levels) contaminated, and 1.5 kg of soil was poured in each pot in different conditions of natural, bioaugmented and surfactant separately and combined (12 cases), were a total of 108 cases, with three replications (324 pot) for 120 days were considered in a similar condition to the field. At last, the concentration of Phenanthrene and Pyrene of soil samples was measured by HPLC to determine the amount and rate of removal. Also, microbial population of soil and Rhizosphere was counted.

The results showed that both plants significantly improved the removal of Phenanthrene and Pyrene from soil. Bioaugmentation and nonionic surfactant Tween80 increased the removal efficiency. In the composition of plants, bioaugmentation and the surfactant showed significant increase, so as removal of 99.4% and 98% for Onobrychis sativa, and 96.5% and 99% with sorghum were achieved for the Phenanthrene and Pyrene, respectively.

The study showed that both sorghum and Onobrychis sativa had a good performance in phytoremediation of contaminated soils by Phenanthrene and Pyrene, and addition of bioaugmentation and surfactants improved the removal of Phenanthrene and Pyrene to nearly complete.

Keywords: Phytoremediation, bioaugmentation, Phenanthrene, Pyrene, sorghum and Onobrychis sativa, contaminated soils.