



Assessment of PAHs Compound Clean up
Levels Regarding Groundwater Preservation
South of Tehran Oil Refinery

E. Taheri^{1*} and S. Gitipour²

Abstract

Leakage of petroleum compounds from Tehran Oil Refinery (TOR) has caused soil contaminations in this area. These compounds can enter the groundwater and cause direct or indirect hazardous effects.

This research is focused on Poly Aromatic Hydrocarbons (PAHs), the main group of petroleum compounds. Gas Chromatography (GC) analysis are made on 19 samples collected in grid sampling from sides and center of the stream adjacent to the TOR. Also according to the geotechnical properties of the area and considering the physical and hazardous quality of the contaminants, clean up levels are assessed for the groundwater preservation. Among 16 poly aromatic priority pollutants, four compounds which have the highest concentrations in the area and also have carcinogenic effects are evaluated. These compounds are benzo[a]pyrene (BaP), benzo[k]fluoranthene (BaK), benzo[a]anthracene (BaC), and chrysene (Chr).

This study showed that the concentration of BaP, BkF, and BaA were higher than the allowable concentrations. Also in case of BaP, maximum evaluated concentration (638 ppm) was 50 times higher than the allowable concentration (13.2 ppm).

Different dispersing mechanisms are also evaluated and applicable methods are discussed in order to control the contaminants. In addition, based on geotechnical properties of the soil and considering physical specifications of the contaminants, biologic methods and phyto-remediation via phyto-transformation and rhizosphere-bioremediation are recommended to clean up the site.

Keywords: Poly aromatic hydrocarbons, Clean-up levels, Benzo[a]pyrene, Benzo[k]fluoranthene, Chresene.

تعیین سطوح پالایشی ترکیبات PAHs به منظور
حفاظت آبهای زیرزمینی در منطقه جنوب پالایشگاه
تهران

احسان طاهری^{۱*} و سعید گیتی پور^۲

چکیده

نشت ترکیبات نفتی در مناطق مجاور پالایشگاه تهران خاکهای اطراف را آلوده نمودند. این ترکیبات می توانند وارد آبهای زیرزمینی شده و به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم خطر آفرین باشند.

در این تحقیق تمرکز بر روی آلاینده‌های PAHs که یکی از گروه‌های عمده در میان ترکیبات نفتی می باشند قرار گرفته، اندازه‌گیری به کمک روش گاز کروماتوگرافی بر روی ۱۹ نمونه که به صورت شبکه‌ای از طرفین و محور نهری آلوده در مجاورت پالایشگاه برداشت شده صورت پذیرفته است. همچنین با توجه به خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه و در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی و خطر زایی آلاینده‌ها سطوح پالایشی به منظور حفاظت آبهای زیرزمینی تعیین گردیده است. از میان ۱۶ ترکیب پلی آروماتیکی که در میان آلاینده‌های متقدم قرار دارند چهار ترکیب بنزو ای پایرین (BaP)، بنزو کی فلورانتین (BkF)، بنزو ای آنتراسین (BaA) و کرایسین (Chr) بیشترین غلظت را در منطقه دارا بوده و دارای خصوصیات سرطانزایی نیز می‌باشند و به همین دلیل مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج اندازه گیریها میزان غلظت آلاینده‌های BaP، BkF و BaA بیشتر از حداکثر میزان غلظت مجاز می باشد و حداکثر غلظت BaP موجود (638 ppm) از پنجاه برابر غلظت مجاز (13.2 ppm) نیز فراتر است.

پس از آن شیوه‌های مختلف پراکنش تحت بررسی قرار گرفته و روشهای عملی جهت کنترل آلودگی بیان گردیده است. همچنین با توجه به خصوصیات ژئوتکنیکی خاک منطقه و در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی آلاینده‌ها روش‌های بیولوژیکی و روش پالایش گیاهی جهت پالایش منطقه توصیه شده است.

کلمات کلیدی: پلی آروماتیکیهای حلقوی، سطوح پالایشی، بنزو ای پایرین، بنزو کی فلورانتین، بنزو ای آنتراسین، کرایسین

تاریخ دریافت مقاله: ۱۶ مهر ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۶ اردیبهشت ۱۳۸۸

1- Ph.D Candidate in Geo-Mechanic Eng., Khaje Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran, Email: ehasan.taheri@yahoo.com
2- Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran, Iran
*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری مکانیک خاک و بی دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
۲- استادیار و عضو هیات علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
*- نویسنده مسئول

میان روشهای بیولوژیکی روش پالایش گیاهی کاربرد بیشتری دارند. (lagrega et al., 2001; Van Deurne et al., 2002; lagrega et al., 2001). تاکنون مطالعات متعددی بر روی روشهای پالایشی برای خاکهای متفاوتی صورت پذیرفته است که نتایج نشان می‌دهد میزان کارایی هر یک از روشهای فوق تابع خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه و خصوصیات فیزیکی آلاینده‌های می‌باشد و اصولاً روشهای فیزیکی برای خاکهای دانه‌ای و آلاینده‌های فرار مناسب‌تر می‌باشد (Farhan et al., 2001; Hensen, 1998; U.S. EPA, 1996c; Rister-Roberts, 1998; Anderson, 1994; Henstock, 2007; U.S. EPA, 1996b).

در این مطالعه از خاک اطراف محوطه پالایشگاه نمونه برداری شده و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک منطقه تعیین گردیده است. همچنین بر مبنای آنالیز گاز کروماتوگرافی غلظت آلاینده‌ها تعیین شده و آلاینده‌های شاخص که دارای بیشترین غلظت در منطقه بوده و خصوصیات خطر آفرینی بالایی نیز دارند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این تحقیق هدف تعیین سطوح پالایشی خاک به منظور حفاظت آبهای زیرزمینی براساس خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه و همچنین خصوصیات فیزیکی و خطرزایی آلاینده‌ها بوده، تا بر مبنای این سطوح و مقایسه آنها با میزان غلظت موجود آلاینده‌ها:

- وضعیت پالایشی منطقه تعیین گردد
- راهکارهای عملی جهت کنترل و مهار آلودگی با در نظر گرفتن روش پراکنش غالب مد نظر قرار گیرد
- راهکار پالایشی متناسب با خصوصیات ژئوتکنیکی خاک منطقه و خصوصیات فیزیکی آلاینده‌ها ارائه شود

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه محل تحقیق در جنوب شهرری و در مجاورت پالایشگاه تهران واقع می‌باشد. این منطقه در طول جغرافیایی " ۲۴ ' ۲۵ ° ۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی " ۳ ' ۳۲ ° ۳۵ شمالی واقع گردیده است. خاک منطقه مورد نظر به علت همجواری با پالایشگاه تهران آلوده گردیده است. در این منطقه آلاینده‌ها از طریق روشهای مختلف پراکنش به آبهای زیرزمینی راه پیدا کرده‌اند. شکل (۱) پمپاژ آبهای زیرزمینی آلوده را در اطراف پالایشگاه در مجاورت کارخانه سولفور ایران نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که آبهای زیرزمینی آلوده از طریق پمپاژ وارد نهر آبیاری منطقه جنوب پالایشگاه گردیده و از این طریق جهت کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مناطق اطراف پالایشگاه تهران به علت همجواری با این پالایشگاه از طریق نشت از لوله‌های زیرزمینی، مخازن نگهداری و حوضچه‌های تبخیر این پالایشگاه تبدیل به محوطه آلوده گردیده است (Gitipour et al., 2008; Yong et al., 2007). آلاینده‌ها می‌توانند توسط روشهای مختلف انتشار نظیر پخشیدگی، همرفت و یا انتشار مکانیکی در خاک نفوذ کرده و گسترش یابند (Abriola, 1998; Huling, 1998; Baeumer et al., 2004; Ginzburg et al., 2007). با توجه به گذشت مدت زمان طولانی (حدود سی سال) آلاینده‌ها از طریق روشهای مختلف پراکنش در محوطه گسترش یافته و در میان آبهای زیرزمینی منطقه وارد گردیده‌اند (طاهری، ۱۳۸۵). در اطراف پالایشگاه آب آلوده استخراج شده به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم توسط سبزیجات و محصولات خوراکی تولیدی باعث ایجاد مخاطرات بر روی ساکنین اطراف و مصرف کنندگان تولیدات کشاورزی می‌گردد (گرگی، ۱۳۸۱).

در میان مواد نفتی ترکیبات پلی آروماتیک چند حلقه‌ای از جمله گروه‌های عمده و خطرناک می‌باشند (Daniel et al., 2001; LaGrega et al., 2001). در میان این ترکیبات ۱۶ ترکیب در بین ۱۲۹ آلاینده متقدم ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا قرار دارند (Irwin et al., 1997). از میان این ۱۶ آلاینده، ۷ ترکیب در میان ترکیبات با احتمال سرطانزایی می‌باشند (US.EPA, 1996a; IARC 1987) این ترکیبات به دلیل حالیت بالا در ترکیبات آلی، توسط بدن جذب گردیده، در کبد و کلیه‌ها ذخیره می‌گردند و موجب صدمه دیدن این ارگانها می‌شوند (NJDHSS, 1998; Irwin et al., 1997) این ترکیبات همچنین موجب التهابات پوستی، اختلالهای بینایی می‌گردند (NJDHSS, 1998; ATSDR, 1995; MOE, 1997) گزارشهای در زمینه جهش بر روی جنین در حال رشد و اختلالات ژنتیکی توسط این ترکیبات گزارش شده است (Landrum et al., 1987; Arfsten et al., 1996a). با توجه به عوارض فوق سازمان‌های محیط زیستی در جهان میزان غلظت و تماس با این آلاینده‌ها را محدود کرده‌اند (ACGIH, 2002; NIOSH, 2002; OSHA, 2002).

امروزه روشهای مختلفی جهت پالایش خاک‌های آلوده به کار گرفته می‌شوند که در سه دسته فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی جای می‌گیرند (lagrega et al., 2001; Van Deurne et al., 2002). از میان روشهای مختلف روشهای فیزیکی نظیر شستشوی فشاری خاک، استخراج بخارهای خاک، هوا افشانی و از

DAF فاکتور جذب و ترقیق (بدون بعد) که طبق توصیه U.S.EPA ۲۰ در نظر گرفته شده است. MCL حداکثر غلظت مجاز آلاینده برحسب mg/l که برای هر یک از آلاینده‌های خطرناک توسط U.S.EPA ارائه شده است.

چنانچه از روابط بالا مشاهده می‌شود تعیین سطوح پالایشی جهت حفاظت آبهای زیر زمینی تابع خصوصیات ژئوتکنیکی خاک منطقه و خصوصیات فیزیکی آلاینده‌های آروماتیکی می‌باشد.

۳-۲- نمونه برداری

جهت تعیین غلظت آلاینده‌ها و نیز تعیین خصوصیات ژئوتکنیکی خاک محوطه جنوب پالایشگاه تهران تعداد ۱۲ نمونه سطحی به صورت شبکه ای با فواصل عرضی ۱۰ و ۳ متری از محور نهر موجود در مجاورت پالایشگاه برداشت گردید. ۴ نمونه نیز به صورت مرکزی از داخل شبکه جمع آوری شد. جهت تعیین حداکثر غلظت آلاینده‌ها ۳ نمونه نیز از وسط نهر برداشت گردید. نمونه‌ها به صورت دست نخورده و با حفظ رطوبت طبیعی برداشت گردیدند (طاهری، ۱۳۸۵). شکل شماره ۲ محل جمع آوری نمونه‌های خاک را نمایش می‌دهد.

۳-۳- تعیین مشخصات ژئوتکنیکی خاک

جهت تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی خاک منطقه و به منظور محاسبه سطوح پالایشی ترکیبات PAHs آزمایش تعیین وزن مخصوص خشک با استفاده از چگالی سنج هسته‌ای مطابق با استاندارد ASTM D2922-78 و تعیین در صد رطوبت طبق استاندارد ASTM D3017-78 انجام گرفت (ASTM, 2006). همچنین جهت تعیین نوع خاک منطقه و به منظور تشخیص راهکار پالایشی مناسب آزمایش دانه‌بندی با الک طبق استاندارد ASTM D1140-54 انجام گرفت که در این آزمایش میزان درصد عبوری از الک نمره نیز ۲۰۰ جهت تعیین در صد ذرات رسی تعیین گردید (ASTM, 2006). جهت تعیین حدود اتربرگ خاک آزمایش‌های حد مایع و حد خمیری به ترتیب به وسیله فنجان برنجی و فتیله خمیری با استفاده از استانداردهای ASTM D423-66 و ASTM D424-59 بر روی نمونه‌های خاک انجام پذیرفت.

۳-۴- آنالیز آلاینده‌های PAHs در خاک

جهت مقایسه نتایج به دست آمده از محاسبات و به منظور تعیین سطوح پالایشی خاک اطراف پالایشگاه با غلظت موجود در محل و تحلیل نتایج، میزان غلظت آلاینده‌های آروماتیکی اندازه‌گیری گردید.



شکل ۱- پمپاژ آبهای آلوده زیرزمینی جهت آبیاری

۳- مواد و روشها

۳-۱- تعیین سطوح پالایشی به منظور حفاظت آبهای زیرزمینی

آلاینده‌های موجود در خاک می‌توانند به آبهای زیر زمینی نشت کنند. این اتفاق معمولاً در اثر بارندگی یا آبیاری زمین‌های کشاورزی رخ می‌دهد. از اینرو میزان این ترکیبات در خاک محدود گردیده حداکثر میزان مجاز از رابطه (۱) حاصل می‌گردد (US.EPA, 1996a).

$$Level(mg/kg) = C_w \left[K_d + \frac{(\theta_w + \theta_a \times K_H)}{\rho_b} \right] \quad (1)$$

Clean-up

که در رابطه فوق داریم:

K_d ضریب تفکیک خاک آب برای آلاینده تحت بررسی بر حسب cm^3/g که از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc} \quad (2)$$

K_{oc} ضریب تفکیک کربن آلی برای آلاینده تحت بررسی بر حسب cm^3/g که توسط Mackay و همکاران برای ترکیبات شیمیایی مختلف ارائه شده است.

f_{oc} جزء کربن آلی در خاک که با توجه به رسی بودن خاک منطقه طبق توصیه U.S.EPA ۰.۰۰۶ در نظر گرفته شده است.

θ_w تخلخل خاک پر شده با آب (بدون بعد)

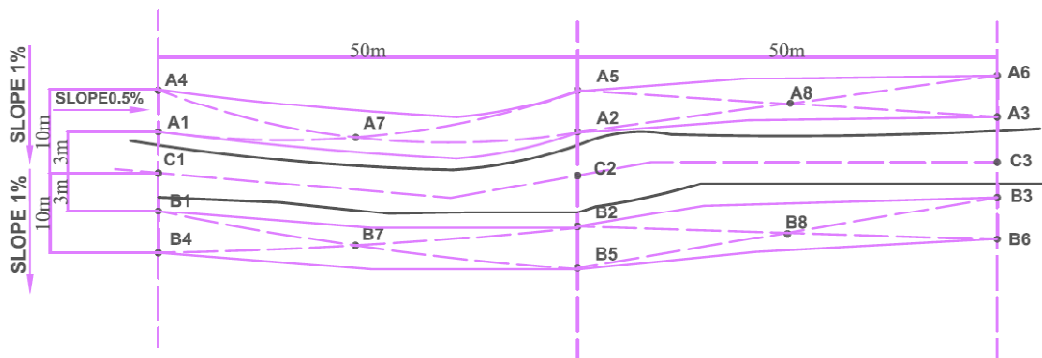
θ_a تخلخل خاک پر شده با هوا ($n - \theta_w$) (بدون بعد)

K_H ثابت هنری آلاینده (بدون بعد)

ρ_b چگالی خشک خاک بر حسب gr/cm^3

C_w غلظت مجاز شیرابه خاک بر حسب mg/l که از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$C_w = DAF \times MCL \quad (3)$$



شکل ۲- جانمایی برداشت نمونه‌ها

جدول ۱- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محوطه جنوب پالایشگاه

$PL(dimless)$	$LL(dimless)$	$(dimless) \theta_a$	$(dimless) n$	$(dimless) \theta_w$	$(g/cm^3) \rho_b$
۳۲	۴۶	۰/۳	۰/۴۹	۰/۱۹	۱/۳۳

آمد. میزان حد مایع (LL = 46) و میزان فعالیت (A= 0.58) نشانگر رسی بودن خاک و وجود کانی کائولینیت در خاک منطقه می‌باشد (Das, 1993).

$$A = \frac{PI}{P_c} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق داریم:

A (Activity): فعالیت خاک

PI (Plastic Index): شاخص خمیری خاک

Pc (Percentage of clay): درصد ذرات رسی خاک

با توجه به نتایج آنالیز میزان چهار آلایند بنزو ای پیرین (BaP)، بنزو کی فلورانتین (BkF)، بنزو ای آنتراسین (BaA) و کرایسین (Chr) به طور شاخص از سایر آلاینده‌ها بیشتر می باشد. در واقع بیش از پنجاه درصد از آلودگی محوطه مربوط به این چهار ترکیب است (احسان طاهری، ۱۳۸۵; Yong et al., 2000). لذا در این تحقیق چهار آلایند فوق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جدول ۲ میزان غلظت چهار آلایند شاخص PAHs را در منطقه نمونه برداری نشان می‌دهد.

چهار آلایند شاخص دارای ساختار پیچیده بوده و خصوصیات فراریت کمی دارند (Rand and Petrocelli, 1985; ToxProbe Inc., 2001). هر چهار آلایند مورد بحث دارای احتمال سرطانزایی می باشند (US.EPA, 1996a; IARC, 1987). جدول ۳ ساختار، شاخص‌های فراریت (فشار بخار و ثابت هنری) چهار آلایند شاخص را نشان می‌دهد.

آنالیز خاک از سه مرحله استخراج، تغلیظ و تزریق تشکیل گردیده است. در مرحله استخراج آلاینده‌ها از خاک خارج شده و به فاز حلال وارد گردیدند. در مرحله تغلیظ حلال به دست آمده آنقدر تغلیظ گردید تا غلظت ترکیب مورد نظر در آن به فراتر از حد تشخیص دستگاه برسد و سرانجام در مرحله تزریق، حلال تغلیظ شده به دستگاه GC تزریق گردید. دستگاه GC مورد استفاده مجهز به لوله موئین DB5 به طول تقریبی ۳۰ متر، قطر داخلی ۰.۳ میکرومتر می‌باشد و ترکیب شیمیایی داخل ستون از دی متیل فنیل سیلوکسان بوده که در مقابل آلاینده‌های آروماتیک از حساسیت بالایی برخوردار است.

نحوه آماده سازی و آنالیز نمونه‌های خاک طبق روش 3540A U.S.EPA-SW 846, Soxhlet Extraction انجام گرفت (US.EPA, 2002).

۴- نتایج

خصوصیات ژئوتکنیکی خاک محوطه جنوب پالایشگاه در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج مربوط به وزن مخصوص (ρ_b)، تخلخل تهویه ای (θ_a)، تخلخل نسبی (n)، درصد رطوبت (θ_w)، حد مایع (LL) و حد خمیری (PL) در نمونه‌های خاک در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

با توجه به نتایج آزمایش میزان ذرات رسی خاک معادل ۲۴ درصد به دست آمد. با توجه به جدول ۱ و داشتن مقادیر حد مایع و حد خمیری، شاخص خمیری خاک معادل (PI = LL-PL = 14) خواهد بود. با استفاده از رابطه (۴) میزان فعالیت خاک برابر ۰.۵۸ به دست

جدول ۲- غلظت آلاینده‌های BaP, BkF, BaA, Chr در منطقه جنوب پالایشگاه تهران

مرتبه به لحاظ غلظت

جدول (۲- الف): غلظت آلاینده‌ها در محور نهر

نمونه C ₃	نمونه C ₂	نمونه C ₁	PAHs	
۲۴۵	۲۶۸	۲۹۹	بنزو ای آنتراسین (BaA)	۱
۲۵۷	۲۸۰	۳۱۰	کرایسین (Chr)	۲
۵۲۴	۵۸۷	۶۵۱	بنزو کی فلورانتین (BkF)	۳
۵۱۳	۵۲۷	۶۳۸	بنزو ای پیرین (BaP)	۴

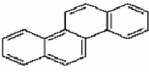
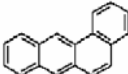
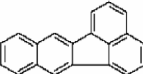
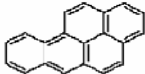
جدول (۲- ب): غلظت آلاینده‌ها در بالای نهر

نمونه A ₈	نمونه A ₇	نمونه A ₆	نمونه A ₅	نمونه A ₄	نمونه A ₃	نمونه A ₂	نمونه A ₁	PAHs	
۱۰۳	۱۲۰	۴۸	۶۰	۶۴	۱۵۵	۱۷۰	۱۸۹	بنزو ای آنتراسین (BaA)	۱
۱۰۵	۱۲۲	۴۷	۵۸	۶۱	۱۶۰	۱۷۶	۱۹۶	کرایسین (Chr)	۲
۲۲۰	۲۵۶	۱۰۱	۱۱۸	۱۲۸	۳۳۷	۳۷۰	۴۱۱	بنزو کی فلورانتین (BkF)	۳
۲۲۱	۲۵۷	۱۰۸	۱۲۷	۱۳۷	۳۳۱	۳۶۴	۴۰۴	بنزو ای پیرین (BaP)	۴

جدول (۲- ب): غلظت آلاینده‌ها در پایین نهر

نمونه B ₈	نمونه B ₇	نمونه B ₆	نمونه B ₅	نمونه B ₄	نمونه B ₃	نمونه B ₂	نمونه B ₁	PAHs	
۱۴۱	۱۷۵	۱۱۶	۱۱۷	۱۳۷	۱۸۷	۱۸۹	۲۲۵	بنزو ای آنتراسین (BaA)	۱
۱۴۶	۱۸۱	۱۲۳	۱۲۰	۱۴۰	۱۹۲	۱۹۷	۲۳۳	کرایسین (Chr)	۲
۳۱۱	۳۶۲	۲۳۵	۲۵۳	۲۷۷	۳۹۸	۴۲۲	۴۶۹	بنزو کی فلورانتین (BkF)	۳
۳۰۶	۳۴۹	۲۱۶	۲۴۷	۲۶۷	۳۷۲	۴۱۸	۴۵۳	بنزو ای پیرین (BaP)	۴

جدول ۳- ساختار و شاخصه‌های فراریت چهار آلاینده شاخص PAHs

PAHs				
کرایسین (Chr)	بنزو ای آنتراسین (BaA)	بنزو کی فلورانتین (BkF)	بنزو ای پیرین (BaP)	
				ساختار *
3.88×10^{-3}	1.37×10^{-4}	3.4×10^{-5}	4.63×10^{-5}	ثابت هنری **
6.3×10^{-7}	2.2×10^{-8}	9.6×10^{-11}	5.6×10^{-9}	فشار بخار ***

* (ATSDR, 1995), ** (U.S. EPA, 1996a), *** (U.S. EPA, 1982)

۵- بحث و تحلیل

۵-۱- گسترش طولی آلاینده‌ها

در هر دو سری نمونه گیری، نمونه‌ها در طول نهر غلظت نسبتاً ثابتی دارند. اختلافات تنها مربوط به نمونه‌های اخذ شده از فواصل سه و ده متری از محور نهر می‌باشد. این مطلب گویای این واقعیت است که منبع آلاینده‌ای در اطراف نهر و عمود بر محور آن که موجب افزایش آلودگی در طول مسیر باشد وجود ندارد.

حال با در دست داشتن خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه و خصوصیات فیزیکی آلاینده‌های آروماتیک مورد بحث، سطوح پالایشی خاک جهت حفاظت آبهای زیرزمینی بر طبق روابط او ۲ و ۳ و داده‌های ارائه شده در جدول ۳ محاسبه گردیده‌اند. نتایج محاسبات در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۴- مراحل تعیین سطوح پالایشی چهار ترکیب PAHs

PAHs									
کرایسین (Chr)		بنزو ای آنتراسین (BaA)		بنزو کی فلورانتین (BkF)		بنزو ای پیرین (BaP)		k _{oc} *	f _{oc} **
۱۹۹۵۲۶	۰.۰۰۶	۱۹۹۵۲۶	۰.۰۰۶	۱۹۹۵۲۶	۰.۰۰۶	۵۴۹۵۴۰	۰.۰۰۶		
۱۱۹۷.۲		۱۱۹۷.۲		۳۲۹۷.۲		۳۲۹۷.۲		k _d	
۲۰	۰.۰۰۲	۲۰	۰.۰۰۲	۲۰	۰.۰۰۲	۲۰	۰.۰۰۰۲	DAF**	MCL***
۰.۴		۰.۰۴		۰.۰۴		۰.۰۰۴		C _w	
۴۷۸.۹ ppm		۴۷.۹ ppm		۱۳۱.۹ ppm		۱۳.۲ ppm		سطح پالایشی	

* (Mackay et al, 1992); ** (U.S. EPA, 1996a); *** (U.S. EPA, 2006b)

نمونه‌های ناحیه A را در مقایسه با نمونه‌های ناحیه B در فاصله ده متری از محور نهر نشان می‌دهد.

۵-۳- روش‌های انتشار آلاینده‌های آروماتیک

با توجه به ثابت بودن تقریبی مشخصات خاک در دو سمت نهر، اختلاف غلظت آلاینده‌ها در دو سری نمونه‌های A, B مربوط به روش‌های مختلف پراکنش می‌باشد.

در نمونه‌های سری A، با توجه به اینکه شیب عرضی زمین از شمال به جنوب می‌باشد، از این رو پراکنش از طریق همرفت نمی‌تواند انجام پذیرد. همچنین با توجه به عدم وجود جریان محیطی در جهت انتشار آلودگی، پراکنش از طریق انتشار مکانیکی نیز رخ نمی‌دهد. در نتیجه تنها روش انتقال از طریق پخشیدگی مولکولی می‌باشد. علت تغییر در آلاینده شاخص نیز همین روشهای مختلف انتقال در دو سری نمونه‌های A, B می‌باشد.

چنانچه عنوان شد، پراکنش از طریق پخشیدگی مولکولی تنها روش پراکنش آلاینده‌ها در نمونه‌های سری A است. از این رو آلاینده‌های با ضریب پخشیدگی بالاتر در آب میزان پراکنش بیشتری داشته در نتیجه غلظت بیشتری از این آلاینده‌ها انتقال پیدا می‌کنند. جدول ۵ ضریب پراکنش آلاینده‌ها در آب با درصد انتقال آنها از فاصله سه متری به فاصله ده متری ناحیه A نشان می‌دهد.

البته با توجه به میزان اندک پراکنش پخشیدگی مولکولی به لحاظ تئوری، مقادیر اندازه گیری در فاصله ده متری از محور نهر بیشتر از حد انتظار بوده، که می‌تواند به دلایل زیر باشد.

- نهر در فصول پر آب سرریز گردیده و آلودگی از این طریق انتقال پیدا کرده است.
- از نهر آلوده جهت آبیاری محوطه استفاده شده است.

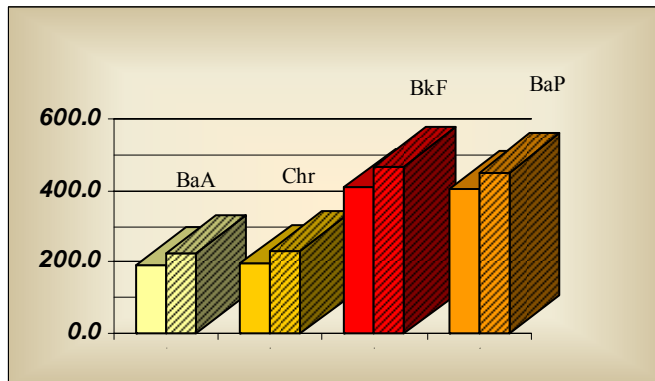
نتایج آنالیزها همچنین نشان می‌دهند که در طول مسیر نهر، غلظت آلاینده‌ها با فاصله از محور آن کاهش می‌یابند (ر-ک جدول ۲) که این امر مربوط به جذب و پراکنش عرضی آلاینده‌ها در محوطه اطراف نهر می‌باشد.

۵-۲- گسترش عرضی آلاینده‌ها

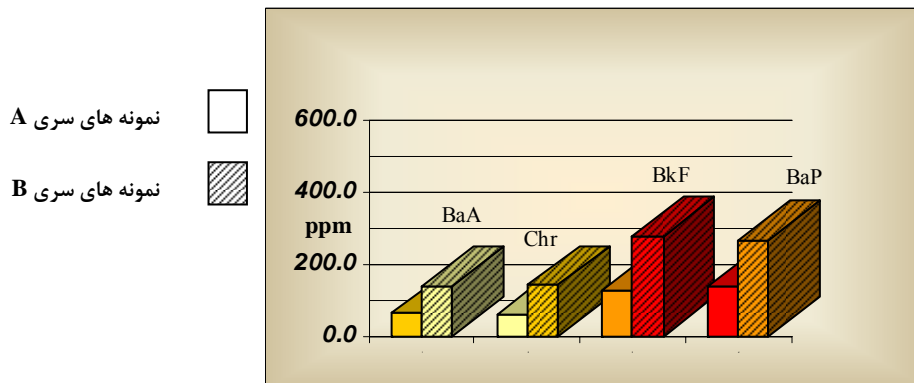
در محور نهر، غلظت بنزو کی فلورانتین بیش از سایر چهار آلاینده شاخص (بنزو ای پیرین، بنزو کی فلورانتین، بنزو ای آنتراسین و کرایسین) است. بیشترین غلظت این آلاینده ۶۵۱ ppm در ابتدای نهر در نمونه C₁ می‌باشد.

در فاصله سه متری از محور نهر، غلظت آلاینده‌ها کاهش پیدا کرده که برای نمونه‌های سری A (A₁, A₂, A₃)، این کاهش غلظت محسوس تر می‌باشد. در دوسری نمونه‌های A, B، بنزو کی فلورانتین با غلظت ۴۱۱ ppm در نمونه‌های ناحیه A و میزان غلظت ۴۶۹ ppm در نمونه‌های ناحیه B آلودگی بیشتری از سایر آلاینده‌ها داشته، آلاینده شاخص در این محور می‌باشد. در این محور غلظت نمونه‌های سری B در حدود ۱.۲۰ برابر نمونه‌های سری A می‌باشد. نمودار (۱ - الف) میزان غلظت نمونه‌های ناحیه A را در مقایسه با نمونه‌های ناحیه B در فاصله سه متری از محور نهر نشان می‌دهد.

در فاصله ده متری از محور نهر در نمونه‌های سری A (A₄, A₅, A₆) آلاینده شاخص تغییر کرده، بنزو ای پیرین با غلظت ۱۳۷ ppm جایگزین بنزو کی فلورانتین با غلظت ۱۲۸ ppm گردیده است. حال آنکه در نمونه‌های سری B (B₄, B₅, B₆)، آلاینده شاخص، همان بنزو کی فلورانتین با غلظت ۲۷۷ ppm می‌باشد. همچنین اختلاف غلظت در این محور بالا بوده غلظت نمونه‌های سری B در حدود ۲.۲ برابر غلظت نمونه‌های سری A می‌باشد. نمودار (۱ - ب) میزان غلظت



نمودار (۱- الف): مقایسه غلظت چهار آلاینده PAHs در فاصله ۳ متری از محور نهر



نمودار (۱- ب): مقایسه غلظت چهار آلاینده PAHs در فاصله ۱۰ متری از محور نهر

نمودار ۱- مقایسه غلظت چهار آلاینده PAHs در نمونه‌های سری A, B

مرتب به لحاظ غلظت

جدول ۵- ضریب پراکنش آلاینده‌ها در آب با درصد انتقال آنها از فاصله سه متری به فاصله ده متری ناحیه A

PAHs				
بنزو ای پیرین (BaP)	بنزو کی فلورانتین (BkF)	بنزو ای آنتراسین (BaA)	کرایسین (Chr)	
9×10^{-6}	5.56×10^{-6}	9×10^{-6}	6.21×10^{-6}	ضریب پخشیدگی در آب (cm ² /s)
۰.۳۴	۰.۳۱	۰.۳۴	۰.۳۱	نسبت غلظت انتقال یافته

اما در نمونه‌های سری B، با توجه به وجود شیب عرضی به سمت جنوب در جهت انتشار آلودگی، علاوه بر پراکنش از طریق پخشیدگی، پراکنش از طریق همرفت نیز صورت می‌گیرد. با توجه به حرکت آب در خاک انتشار مکانیکی نیز بر میزان پراکنش از طریق پخشیدگی می‌افزاید که مجموع این دو روش در غالب پراکنش هیدرودینامیکی مطرح می‌باشد.

در نمونه‌هایی که به صورت مرکزی از بین دو محور سه و ده متری برداشت گردیده‌اند (نمونه‌های A₇, A₈ و همچنین B₇, B₈) نیز، غلظت هر دو آلاینده بنزو ای پیرین و بنزو کی فلورانتین بسیار نزدیک هم

در نمونه‌های سری B، با توجه به اینکه میزان پراکنش از طریق همرفت بیشتر از میزان پراکنش ناشی از پخشیدگی می‌باشد. از این رو پراکنش از طریق همرفت پراکنش غالب است. پراکنش از طریق همرفت، بیشتر تابع

در نمونه‌های سری B، با توجه به وجود شیب عرضی به سمت جنوب در جهت انتشار آلودگی، علاوه بر پراکنش از طریق پخشیدگی، پراکنش از طریق همرفت نیز صورت می‌گیرد. با توجه به حرکت آب در خاک انتشار مکانیکی نیز بر میزان پراکنش از طریق پخشیدگی می‌افزاید که مجموع این دو روش در غالب پراکنش هیدرودینامیکی مطرح می‌باشد.

و مابین غلظت در فواصل سه و ده متری از محور نهر می‌باشد. که روند کلی ارائه گردیده را تایید می‌کند. علاوه بر آن موید این مطلب نیز می‌باشد که منبع آلاینده دیگری در فاصله دو محور فوق الذکر به موازات آنها وجود ندارد. از اینرو با توجه به عدم وجود منبع آلاینده در امتداد عمود بر محور نهر که پیش از این به اثبات رسید، می‌توان نتیجه گیری کرد که نهر آلوده تنها منبع آلاینده می‌باشد.

۶- نتیجه گیری

با توجه به نتایج جدول ۴ سطح پالایشی محاسبه گردیده برای کرایسین ppm ۴۷۸.۹ بوده که بالاتر از میزان غلظت موجود آلاینده می‌باشد. اما در زمینه سه آلاینده دیگر منطقه آلوده بوده و در این میان سطح پالایشی بنزو ای پیرین (BaP) برابر ppm ۱۳.۲ می‌باشد از اینرو در میان چهار آلاینده شاخص بحرانی‌ترین وضعیت را دارد. بر طبق جدول ۲ غلظت این ترکیب در محوطه از ppm ۱۰۸ تا ppm ۶۳۸ متغیر است. بیشترین غلظت در محور نهر در نمونه C_1 (ppm ۶۳۸) بوده که متجاوز از پنجاه برابر غلظت مجاز می‌باشد.

همانطور که از جدول ۲ مشخص است، در ناحیه B کمترین غلظت موجود در نمونه B_6 (ppm ۲۱۶)، بیش از پانزده برابر آلودگی مجاز (ppm ۱۳.۲) می‌باشد. این امر نشان می‌دهد غلظت این آلاینده به لحاظ حفاظت آبهای زیرزمینی در زمینه سرطانزایی در وضعیت خطرناک قرار دارد. در ناحیه A نیز کمترین غلظت در نمونه A_6 (ppm ۱۰۸)، بیش از هشت برابر مقدار مجاز (ppm ۱۳.۲) است که نشان از خطرناک بودن شرایط حاکم بر محوطه می‌باشد.

با توجه به نتایج مشخص است که پدیده همرفت در انتقال آلاینده‌ها نقش تعیین کننده داشته است. که این امر از مقایسه نواحی A, B کاملا مشهود می‌باشد. از اینرو یکی از راه‌های کنترل آلودگی جلوگیری از انتقال آلاینده‌ها از طریق همرفت می‌باشد.

۷- توصیه‌ها و پیشنهادات

چنانچه بیان شد آبهای زیرزمینی منطقه آلوده بوده از اینرو راهکارهای زیر برای کنترل آلودگی و پالایش منطقه توصیه می‌گردد.

- با توجه به اینکه نهر آلوده تنها منبع آلوده کننده می‌باشد از اینرو می‌باید نهر آلوده را توسط کانال بتنی محصور نمود، تا از پراکنش آلاینده از جدارها جلوگیری شود. همچنین ایجاد

شیب مناسب برای نهر تا در هنگام بارندگی از سرریز آب آلوده جلوگیری به عمل آید.

- آب نهر به شدت آلوده بوده از اینرو می‌باید از آبیاری محصولات کشاورزی با این آب جلوگیری گردد.
- با استفاده از وضعیت موجود به عنوان یک سیستم پمپاژ و تصفیه طبیعی، که می‌توان آب آلوده را هدایت کرده و پمپاژ نموده و آنرا در خارج از سطح زمین تصفیه نمود.
- منشا آلودگی آبهای زیر زمینی پراکنش آلودگی در خاک و ورود آلاینده‌ها به سطح آبهای زیرزمینی می‌باشد از اینرو خاک منطقه می‌باید پالایش گردد. با توجه با ساختار رسی خاک و همچنین فراریت پایین آلاینده‌های مورد بحث (ر-ک جدول ۳)، روشهای فیزیکی نظیر شستشوی فشاری خاک، استخراج بخارهای خاک، هوا افشانی دارای بازدهی پایین می‌باشد (Farhan et al., 2001; Hensen, 1998; U.S.EPA, 1996c; Rister-Roberts, 1998; Anderson, 1994; Henstock, 2007; U.S.EPA, 1996b) از اینرو روشهای بیولوژیکی و روش پالایش گیاهی با استفاده از دو مکانیزم تغییر ماهیت ماده در گیاه (PHYTO TRANSFORMATION) و تجزیه بیولوژیکی در ناحیه ریشه (RHIZOSPHERE BIOREMEDIATION) برای منطقه جنوب پالایشگاه تهران توصیه می‌گردد (طاهری، ۱۳۸۵، ۲۰۰۷; Yong et al., 2007).

۸- مراجع

طاهری، احسان. (۱۳۸۵)، ارزیابی غلظت و تعیین سطوح پالایشی ترکیبات پلی آروماتیک حلقوی در خاک منطقه دوسون آباد (جنوب پالایشگاه تهران) و بررسی روشهای پالایشی، پایان نامه جهت دریافت کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر گیتی پور، دانشگاه تهران.

گرچی، محمدمین. (۱۳۸۱)، تعیین آلودگی خاک منطقه عظیم آباد در اثر نشت ترکیبات نفتی، پایان نامه جهت دریافت کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر گیتی پور، دانشگاه تهران.

Abriola, L. M. (1988), "Multi phase flow and transport models for organic chemicals: A review and assessment". Electric Power Research Institute, EA-5976, Palo Alto, CA.

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), (2002), "Upper Limits (Called TLVs) for Exposure to Workplace Chemicals".

Anderson, W.C. (1994), "Innovative site remediation technology", Vol. 8- Vacuum vapor extraction,

- Hensen, J.A. (1998), "VOC vapor sorption in soil: soil type dependent model and implications for vapor extraction". *J. Environ. Eng.* 124(2): pp. 146-155.
- Henstock, J. (2007), "Remediation techniques, the land remediation year book", pp. 37-40.
- Huling, J. R., Sitar, N. and Udell, K. S. (1998), "Nonaqueous phase liquid transport and clean up. I. Analysis of mechanisms". *Water Resource Res.*, 24(8): pp. 1247-1258.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), (1987), "IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Supplement" No. 7. Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- IRIS (Integrated Risk Information System), (2005), <http://www.epa.gov/iris>.
- Irwin, Roy J. (1997), Benzo [a] Pyrene Entry, Environmental Contaminants Encyclopedia, National Park Service with Assistance from Colorado State University Student Assistant Contaminants Specialists.
- LaGrega, M., Buckingham, P. and Evans, J. (2001), *Hazardous Waste Management*, McGraw-Hill Company, 2nd Ed.
- Landrum, P.F., Geisy, J.P., Oris, J.T. and Allred, P.M. (1987), Photoinduced toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons to aquatic organisms. In J.H. Vandermeulen and S.E. Hrudey, eds., *Oil in Freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology*, Pergamon Press, Ontario, Canada, pp.304-318.
- Mackay, D., Shiu, W.Y. and Ching Ma K. (1992), "Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals": Volume II, Polynuclear aromatic hydrocarbons, polychlorinated dioxins, and dibenzofurans, Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 597 p.
- MOE (ministry of the Environment), (1997), Scientific Criteria Document for Multimedia Standard Development, Poly Aromatic Hydrocarbons (PAH), Part 1: Hazard Identification and Dose-Response Assessment, Ministry of the Environment, Toronto, Ontario.
- Nathanail, J., Bardos, R. P. and Nathanail, P. (2001), *Contaminated Land Management: Ready Reference*, EPP Publications and Land Quality Press in association with Environmental Technology Limited and Land Quality Management American Academy of Environmental Engineers, Annapolis, Md., U.S.A.
- Aprill, W.S. and Sims, R.C. (1990), *Evaluation of the Use of Prairie Grass for Stimulating PAH Treatment in Soil*. Chemosphere, 20: pp. 253-265.
- Arfsten, D.P., Schaeffer, D.J. and Daniel C. Mulveny, (1996), the effects of near ultraviolet radiation on the toxic effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in animals and plants: a Review, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 33: pp. 1-24.
- ASTM (American Society of Testing Materials), (2006), Method D5084-03, Standard Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter, American Society of Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), (1995), "Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)" (Update), Research Triangle Institute for the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), CDC. Atlanta, Georgia. August,
- Baeumer, B., Benson, D.A. and Meerschaer, M. (2004), advection and dispersion in time and space, *Physica A* 350, pp.245-262.
- Daniel R, Oros and John R.M. Ross, (2001), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the San Francisco Estuary Distributions, Trends, and Sources in Sediments, San Francisco Estuary Institute 7770 Pardee Lane, Oakland, CA 94621.
- Das, Braja M. (1993), *Principle of Foundation Engineering* pws-kent Publishing Company Boston, Southern Illinois University at Carbondale.
- Farhan, S., Holsen, T.M. and Budiman, J. (2001), Interaction of soil air permeability and soil vapor extraction, *J. Environ, Eng.* 127(1): pp. 32-37.
- Ginzburg, R. and Humie`res, D. (2007), Lattice Boltzmann and analytical modeling of flow processes in anisotropic and heterogeneous stratified aquifers *Advances in Water Resources* 30, pp. 2202-2234.
- Gitipour, S., Taheri, E., Heidarzadeh, N. and Givehchi, S. (2008), "Assessment of Clean up Levels Due to Inhalation of Polyaromatic Hydrocarbons in Contaminated Soils", *Asian Journal of Chemistry* Vol. 20, No. 2, pp. 1599-1608.
- Hedge, R.S. and Fletcher, J.S. (1996), Influence of Plant-Growth Stage and Season on the Release of Root Phenolics by Mulberry as Related to Development of Phytoremediation Technology, *Chemosphere* 32: pp. 2471-2479.

- Response Technology Innovation Office
Washington, DC 20460.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (1996a), "Soil Screening Guidance: Technical Background Document", Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C., EPA-540-R-95-128.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (1996b), "A Citizen's Guide to In Situ Soil Flushing", U.S. EPA solid waste and emergency response (5102G), U.S. EPA technology fact sheet, technology innovation office, Washington DC, EPA 542-F-96-006.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (1996c), A Citizen's Guide to Soil Vapor Extraction, Office of Solid Waste and Emergency Response (5102G), U.S. EPA technology fact sheet, technology innovation office, Washington DC, EPA 542-F-96-008.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (1995), In Situ Remediation Technology Status Report: Surfactant Enhancements, Office of solid waste and emergency response (5102W) U.S.EPA Technology Innovation office, Washington, DC, EPA542-K-94-003.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (1982), "Aquatic Fate Process Data for Organic Priority Pollutants", Office of Water Regulations and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA -440/4-81- 014.
- Van Deurne, J., Lloyd, T., Chhetry, S., Liou, R. and Peck, J. (2002), Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4th Edition, Federal Remediation Technologies Roundtable.
- Yong, R. N., Taheri, E., Khodadadi, Ah., Khodadadi, Ab. (2007), "Evaluation of Remediation Methods for Soils Contaminated with Benzo[a]Pyrene", International Journal of Environmental Research, *Int. J. Environ. Res.*, 1(4): 341-346.
- Ltd at the University of Nottingham, EPP Publications.
- NJDHSS (New Jersey Department of Health and Senior Services), (1998), hazardous substance fact sheet.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), (2002), NIOSH pocket guide to chemical hazards, Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 97 140.
- Okoh and Anthony, (2006), Biodegradation alternative in the cleanup of petroleum hydrocarbon pollutants. *Biotech. Mol. Biol. Rev.* Vol. 1 (2): pp. 38-50.
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration), (2002), OSHA'S Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.
- Rand, G.M. and Petrocelli, S.R. (1985), Fundamentals of Aquatic Toxicology, Hemisphere Publishing Company, NY, 666 p.
- Rister-roberts, E. (1998), *Remediation of Petroleum Contaminated Soils*, Lewis Publisher, Inc.
- Schnoor, J.L. (1997), Phytoremediation, University of Iowa, Department of Civil and Environmental Engineering, Center for Global and Regional Environmental Research, Iowa City, Iowa.
- ToxProbe Inc. (2001), Benzo[a]Pyrene and Other Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Definition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), Prepared by ToxProbe Inc. for Toronto Public Health, pp. B78-B95.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (2006), Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, Office of Water U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC EPA 822-R-06-013.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (2002), Method 3540A, Soxhlet Extraction, In: U.S.EPA, SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods.
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency), (1999), Phytoremediation Resource Guide, Office of Solid Waste and Emergency