

اصلاح خاک آلوده به هیدروکربنهای نفتی با گیاه پالایی وتیور

ساسان محسن زاده^{۱*}، محمد رضا کشت ورز^۲، مهدی محسن زاده^۳، مهدی نظری^۱، مجتبی

پورباقری^۱ و عرفان آتش دهقان^۱

^{۱*} - گروه زیست شناسی دانشکده علوم دانشگاه شیراز

^۲ - گروه ایمنی، بهداشت و محیط زیست شرکت بهره برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی

^۳ - گروه مهندسی محیط زیست دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

* ایمیل نویسنده مسئول: mohsenz@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶

چکیده

افزایش آلاینده‌های محیط زیست به ویژه هیدروکربن‌های نفتی، به دلیل صنعتی شدن جوامع بشری است. یکی از منابع اولیه آلودگی در این زمینه، خاک‌های واقع در حوضچه‌های تبخیر مناطق پالایشگاه‌های نفت می‌باشد. استفاده از گیاهان به منظور حذف آلودگی‌ها از خاک‌های آلوده، انباشته کردن آن‌ها در ریشه و برداشت آن‌ها از ساقه و برگ و یا تجزیه این ترکیبات در درون گیاه را گیاه‌پالایی می‌گویند. انتخاب گیاه مناسب، مخصوصاً در خاک‌هایی با میزان پایین یا متوسط آلودگی، یک نقش مهم را در پیشرفت گیاه‌پالایی ایفا می‌کند. وتیور گیاهی است که از جهت‌های مختلف برای گیاه‌پالایی مناسب می‌باشد. در این پروژه، ابتدا نمونه‌هایی از خاک منطقه جمع‌آوری شده و میزان زنده‌مانی و مقاومت گیاه وتیور بررسی شد. پس از مثبت بودن زنده‌مانی گیاه کارهای اجرایی در منطقه دالان شروع شد شامل کاشت گیاهان در منطقه، نصب مخزن، ایجاد سیستم آبیاری قطره‌ای، نمونه برداری از خاک آلوده و غیر آلوده منطقه، نمونه برداری از خاک مجاور ریشه گیاه و اندازه‌گیری میزان هیدروکربن‌های نفتی انجام پذیرفت. گیاه وتیور توانایی رشد و زنده‌مانی در انواع شرایط آلودگی نفتی، مانند خاک آلوده پالایشگاه‌ها را دارا می‌باشد و پس از یک سال اثر گیاه وتیور میزان آلودگی هیدروکربن‌های نفتی کل و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای حدود شش و نه برابر به ترتیب کاهش یافت. البته در مدت زمان بیشتر از یکسال تیمار با ریشه وتیور (منطقه ریزوسفر خاک نزدیک ریشه) می‌تواند مقدار هیدروکربن‌های نفتی کل و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای را بیشتر کاهش دهد.

کلمات کلیدی

وتیور، هیدروکربن‌های نفتی، گیاه پالایی، خاک آلوده

مقدمه

ترکیباتی هستند که دارای نیتروژن، سولفور و اکسیژن بوده و در نفت حل می‌شوند و (د) آسفالت‌ها، مولکول‌های پیچیده و درشتی که به‌صورت کلوئیدی در نفت خام پراکنده‌اند (Abdel-Shafy and Mansour, 2016). هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) به دلیل داشتن سمیت، تبخیر کم، مقاومت به تجزیه میکروبی و تمایل بالا به تشکیل رسوب در بین سایر هیدروکربن‌های نفتی، نگرانی بیشتری در مورد آنها وجود دارد (Louvado et al., 2015). استفاده از گیاهان به منظور حذف آلودگی‌های از خاک‌های آلوده، انباشته کردن آن‌ها در ریشه و برداشت آن‌ها از ساقه و برگ را گیاه‌پالایی می‌گویند (Tang et al., 2003). واژه گیاه‌پالایی نخستین بار در سال ۱۹۹۱ در مورد روش‌های کاهش آلودگی در محیط زیست مطرح گردید. گیاه‌پالایی یک روش در محل است که فاقد هرگونه اثرات تخریبی برای محیط زیست و بسیار کم هزینه است (Shump and Tracy, 1993). گیاه‌پالایی فن‌آوری نوپایی است که به دلیل مزیت‌های مقرون به صرفه بودن، زیبایی و کاربرد طولانی مدت آن، باید برای پاک‌سازی مکان‌های آلوده در نظر گرفته شود (Boonyapookana et al., 2005). فن‌آوری گیاه‌پالایی به عنوان استفاده کارآمد از گیاهان در یک رشد ماتریسی برای حذف، سم‌زدایی و یا جمع کردن

پالایشگاه نفت یکی از ۱۰ منبع اصلی آزادکننده مواد سمی به محیط زیست است. در چند سال گذشته، آلودگی هیدروکربن‌های نفتی، به دلیل سمیت آن برای میکروارگانیسم‌ها و همچنین انسان، به یکی از جدی‌ترین نگرانی‌های جهانی تبدیل شده است (Varjani and Upasani, 2016). از بین آلودگی‌های هیدروکربن‌های نفتی، ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) به دلیل پایدار بودن در محیط، به‌عنوان آلوده‌کنندگان مهم شناخته شده‌اند (Varjani and Upasani, 2017) با افزایش تعداد حلقه‌ها در ساختار مولکولی حلالیت آبی آنها کاهش می‌یابد. ضریب تفکیک بالای این ترکیبات می‌تواند باعث جذب شدید این ترکیبات به سطح ذرات خاک شده و در محیط خاک ته‌نشین شوند (Shin et al., 2006). دو گروه از بزرگترین معضلات زیست محیطی مناطق نفتی در کشور، وجود گل حفاری و خاک بسیار آلوده و همچنین وجود پساب آلوده پالایشگاه‌های نفت و گاز می‌باشد. هیدروکربن‌های نفتی به چهار شاخه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند: الف) ترکیبات سیرشده (یا آلکان‌ها)، ب) ترکیبات آروماتیک، از قبیل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن‌ها و هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای، ج) رزین‌ها، شامل

توزیع شده است (Moore et al., 2006). نام عمومی وتیور در ایران، خاس می‌باشد (Greenfield, 1989). این گیاه از تیره گندمیان و فاقد ریزوم بوده، دارای سیستم ریشه‌ای حجیم با ساختارهای ظریف است که می‌تواند به سرعت رشد کند به طوری که گاهی عمق ریشه آن در سال اول به ۳ تا ۴ متر می‌رسد (شکل ۱). بیشتر ریشه‌ها در سیستم ریشه‌ای حجیم وتیور، بسیار ریز می‌باشند که دارای میانگین ضخامت ۱ - ۰/۵ میلی‌متر هستند (Cheng et al., 2003). این گیاه به آفات، بیماری‌ها و آتش-سوزی بسیار مقاوم است و بلافاصله پس از اتمام تنش‌های خشکی، سرما، آتش و شوری بلافاصله شروع به رشد مجدد می‌نماید؛ همچنین بدون نیاز به اصلاح خاک، تحمل زیادی به طیف وسیعی از PH خاک از ۳/۳ تا ۱۲/۵ را دارد. آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها روی وتیور اثری ندارند و تجزیه مواد آلی مرتبط با آفت‌کش و علف‌کش‌ها را نیز انجام می‌دهد (Truong et al., 2009).

آلاینده‌های زیست محیطی از طریق فعالیت‌های طبیعی بیولوژیکی، شیمیایی، فیزیکی و فرآیندهای گیاهی تعریف می‌شود (Ciura et al., 2005). روشی که هزینه و دوستدار محیط زیست برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین توسط گیاهان می‌باشد. موفقیت این روش نه تنها به گیاه، بلکه به اثرات متقابل ریشه‌های گیاه با میکروارگانیسم‌های ریزوسفری و گونه و غلظت فلزات سنگین در خاک بستگی دارد (Khan, 2005). مواد گیاهی حاصل از گیاه‌پالایی ممکن است برای اهداف غیرغذایی مورد استفاده قرار گیرند و یا می‌توانند پس از بازیافت فلزات، سوزانده شوند و یا در محل جمع‌آوری زباله‌ها، دفن شوند (Bennett et al., 2003). گیاه وتیور با نام علمی *Vetiver zizanioides L.* که بر اساس طبقه‌بندی جدید به نام *Chrysopogon zizanioides L.* شناخته می‌شود به دلیل ویژگی‌های خاص، برای گیاه‌پالایی مورد توجه قرار گرفته است (Truong et al., 2009). وتیور به طور گسترده‌ای در آفریقا، هند، میانمار، سریلانکا و جنوب شرقی آسیا



شکل ۱- نمایشی از ریشه وتیور رشد یافته در خاک

اسیدسولفوریک نیز بسیار بالا می‌باشد (Du and Truong, 2003). اجدادی که منشأ آن‌ها جنوب هند است اهلی بوده و دارای سیستم ریشه‌ای بزرگ و قوی می‌باشند. این اجداد تمایل به پلی-پلوئیدی داشته و سطح بالایی از عقیمی را از خود نشان داده و در نتیجه به عنوان گیاهان مهاجم شناخته نمی‌شوند. اجدادی که منشأ آن‌ها شمال هند می‌باشد، وحشی بوده و دارای سیستم ریشه‌ای ضعیف‌تری هستند. این اجداد دیپلوئید بوده و به عنوان علف‌هرز شناخته می‌شوند، اما الزاماً گیاه مهاجم نیستند. ارقام گیاه وتیور مشتق شده از اجداد جنوب هند که غیرمهاجمند استولون یا ریزوم تولید نمی‌کنند و برای استقرار، باید به روش تقسیم ریشه (پاهنگ) تکثیر شوند. گیاهی که برای اهداف زیستی بکار می‌رود نباید به صورت علف‌هرز در محیط زیست منطقه درآید. گیاه وتیور به راحتی با کاربرد

وتیور تحمل سازگاری با اقلیم‌هایی با شرایط متفاوت همانند خشکی‌های طولانی مدت، سیلاب، غرقاب شدن را دارد؛ همچنین قادر است در بازه دمایی ۱۴- تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد را تحمل کند (Truong et al., 1996). ریشه‌های عمیق وتیور موجب مقاومت بالای این گیاه به خشکی شده است. وتیور در دمای خاک 10°C - زنده می‌ماند اما این توانایی در دمای 15°C - از دست می‌رود. دمای بهینه برای رشد وتیور 25°C می‌باشد اما ریشه‌های وتیور در 13°C نیز به رشد خود ادامه می‌دهند البته ریشه‌ها در دمای 5°C به خواب می‌روند. تحت شرایط یخ‌زدگی، رشد هوایی آن شروع به از بین رفتن کرده (مرگ از نوک سرشاخه‌ها) و یا خفته شده، و به رنگ ارغوانی تبدیل می‌شود اما نقاط رشد زیرزمینی آن زنده می‌مانند (Truong et al., 2009). مقاومت وتیور به اسیدیته خاک، شوری، سدیم و

آزمیمی که زنبوبوتیک‌ها را برای انتقال به واکوئل‌ها به گلوکاتایون متصل می‌کند (Wagner et al., 2002).

مواد و روش‌ها

تعداد ۳۰۰۰ عدد نهال وتیور از مرکز تولید آن در استان خوزستان شهرستان رامهرمز تهیه گردید و بعد از کاشت مجدد آن‌ها در گلدان های نهالی، به مدت ۲ ماه تحت مراقبت قرار گرفت. با هماهنگی با منطقه نفتی دالان، خاک آلوده به همراه با پساب حوضچه تبخیر به گلخانه دانشکده علوم دانشگاه شیراز منتقل شد. گیاهان وتیور تحت شرایط مختلف تنش آلاینده ها قرار داده شدند. این شرایط عبارت بود از کاشت وتیور در خاک غیر آلوده (شاهد) و آبیاری آن با آب معمولی، کاشت وتیور در خاک غیر آلوده و آبیاری آن با پساب، کاشت وتیور در خاک آلوده دارای ۵۰ درصد آلودگی و آبیاری با آب معمولی، کاشت وتیور در خاک آلوده دارای ۵۰ درصد آلودگی و آبیاری با پساب، کاشت وتیور در خاک ۱۰۰ درصد آلوده و آبیاری آن با آب معمولی و کاشت وتیور در خاک ۱۰۰ درصد آلوده و آبیاری آن با پساب. در نهایت مشاهده شد که گیاهان در تمامی تیمارها، زنده مانده و در برابر تنش خاک آلوده و همچنین پساب آلوده پالایشگاه گاز فرآشید مقاومت از خود نشان دادند. زمین مورد نظر جهت اجرای طرح اصلاح خاک های آلوده به مواد هیدروکربنی به مساحت ۲۳۰۰۰ متر مربع بود که سال ها به عنوان محل ذخیره و جمع آوری پساب پالایشگاه فرآشید بدون استفاده از هیچ پوشش پلاستیکی و یا سیمانی بهره برداری شده بود. ابتدا از ۳ عدد حوضچه اصلی، دو عدد انتخاب شدند و پساب موجود در حوضچه ها توسط پالایشگاه جمع آوری و خاک های اطراف حوضچه ها به درون آن ها ریخته شد؛ سپس زمین مورد نظر مسطح گردید و حدود یک چهارم از آن جهت انجام طرح انتخاب شد. حفر چاله جهت کاشت گیاهان با دستگاه چاله زنی صورت گرفت. با توجه به توصیه مسئولین پالایشگاه، در چهار طرف زمین مسطح، ۱۰ متر فضای خالی که قبلا هم حاشیه حوضچه بوده است جهت امکان تردد احتمالی ماشین آلات سنگین رها گردید و در باقی مانده زمین که مساحت زیادی از حوضچه اصلی قبلی بود طرح کاشت نهال های وتیور انجام شد. خاک منطقه مورد مطالعه از نظر عناصر غذایی ماکرو و میکرو بررسی شد (نتایج در جدول ها قابل مشاهده می باشد). نهال های کاشته شده وتیور با آب معمولی توسط تانکر آب پالایشگاه و آب باران به مدت دو ماه آبیاری گردید تا با شرایط آب و هوایی و خاک منطقه سازگار شوند و در این مدت میزان رشد گیاهان بررسی گردید و جهت رشد بهینه مقداری کود اوره به آن ها داده شد. مخزن سپتیک به حجم ۱۰۰۰۰ لیتر خریداری شده از اصفهان، در فاصله نزدیک به محل کاشت، بر روی سکوی ایجاد شده توسط پالایشگاه نصب گردید و الکتروپمپ آبیاری قطره ای بر سر راه آن قرار گرفت. در داخل زمین هم لوله اصلی ۳ اینچ پلی اتیلن در وسط زمین قرار گرفت و از آن انشعابات لوله های ۱۶ میلی متری جهت آبیاری قطره ای گرفته شد. در محل هر چاله روی زمین، سه راه تنظیمی (شیر تنظیم شونده) نصب گردید و در انتهای لوله ها درپوش انتهایی قرار داده شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و عناصر موجود در خاک منطقه و همچنین مشخصات پساب خروجی پالایشگاه توسط آزمایشگاه پالایشگاه گاز فرآشید اندازه گیری گردید. به علاوه هیدروکربن های نفتی کل توسط آزمایشگاه محیط زیست پرهام

گلایفوسیت (رانداپ) یا قطع کردن گیاه از زیر پاهنگ از بین می‌رود (Truong et al., 2009). برای تولید ۱ کیلوگرم ماده خشک، وتیور، تحت شرایط گلخانه‌ای، ۶/۸۶ لیتر در روز آب مصرف می‌کند. از آنجایی که ماده خشک تولید شده در یک وتیور ۳ ماهه در پیک چرخه رشد آن در حدود ۳۰/۷ تن در هکتار می‌باشد؛ ۱ هکتار از وتیور، مستعد صرف ۲۷۹۰۰۰ لیتر در هکتار در روز است. این ویژگی باعث می‌شود که گیاه وتیور به عنوان یک پالاینده مناسب برای گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد (Smeal et al., 2003). گیاه وتیور بذر تولید نمی‌کند و اگر هم تولید کند توانایی رشد و به وجود آوردن گیاه جدید را ندارد در نتیجه به علت مسئله عقیمی، روش تکثیر آن روشی می‌باشد. روش‌های تکثیر وتیور به صورت جداسازی پنجه‌های (شاخه‌هایی که از پایین ساقه یک گیاه به ویژه علف‌ها رویش می‌یابد) بالغ از بوته وتیور یا گیاه مادر، که ماحصل آن گیاهک‌های دارای ریشه می‌باشد که مناسب برای کاشت آنی یا تکثیر در ظروف چند کیسه‌ای است. ازدیاد جوانه یا ریزافزایی درون شیشه‌ای برای تکثیر در مقیاس زیاد و یا کشت بافت از روش های دیگر تکثیر است (Truong et al., 2009). سیستم وتیور برای پیشگیری و تیمار آب و زمین‌های آلوده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این زمینه سیستم ریشه‌ای وتیور یک راه حل طبیعی، سبز، ساده، کاربردی و مقرون به صرفه است. تأثیر مفید، سادگی و هزینه‌های کم استقرار، این سیستم را به عنوان راهکاری جدید در بسیاری از کشورهای گرمسیر و نیمه-گرمسیر برای تیمار فاضلاب خانگی، شهری و صنعتی و گیاه‌پالایی و احیاء زمین‌های ارزشمند با استقبال زیادی مواجه کرده است (Truong et al., 2009). آلودگی خاک به دلیل آلودگی گازوئیل، یک نگرانی عمده است و ایستگاه های سوخت، کارخانه ها و پالایشگاه ها مهمترین آلودگی ها هستند. گیاه وتیور به دلیل پتانسیل خود به عنوان گیاهی با صفات گیاه پالایی در خاک های آلوده در سراسر جهان شناخته شده است. وتیور می تواند میزان آلودگی گازوئیل را کاهش دهد. تجزیه و تحلیل شیمیایی خاک نشان می دهد که ۷۹ درصد کاهش در آلودگی گازوئیل در خاک آلوده کاشته شده با وتیور دیده می شود. پژوهشی که درباره گیاه پالایی ۹ گونه گیاهی انجام شد، نشان داد که هیدروکربن نفتی پابرن تا بیش از ۷۴ درصد در خاک کاشته شده با گونه های گیاهی تخریب شد، در حالی که در خاک بدون گیاه، تا کمتر از ۴۰ درصد تخریب گردید (Liste and Alexander, 2000). تخریب ترکیبات آلی می تواند درون گیاه و یا در ریزوسفر ریشه انجام شود و بسیاری از این ترکیبات مانند مواد حل شده در آب های زیر زمینی، ترکیبات نفتی و آروماتیک و همچنین ترکیبات فرار می توانند توسط گیاه پالایی از محیط خارج شوند (Newman and Reynolds, 2004). در سال ۲۰۰۸، یک مطالعه میدانی و گلخانه ای بر روی ۶ گونه گیاهی کاشته شده در رسوبات هیدروکربن های نفتی نشان داد که خاک های همراه با گیاه، ۷۰ درصد کاهش آلودگی را نشان داد که این مقدار برای خاک های بدون گیاه تنها ۲۰ درصد بود (Euliss et al., 2008). گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده نفتی توسط گیاه *Aeluropus littoralis* از خانواده گندمیان مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که این گیاه قادر به جذب PAHs از خاک می‌باشد (Rafiee et al., 2017). سطح گلوکاتایون ترانسفرز (GST)،

نتایج و بحث
 ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و عناصر موجود در خاک منطقه در جدول ۱ و ۲ مشاهده می گردد.
 شیراز و ترکیب هیدرو کربن های آروماتیک حلقوی با دستگاه کروماتوگرافی گازی طیف سنجی جرمی (GC-MS) اندازه گیری شد.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه

pH	شوری (EC)	شن	سیلت	رس	بافت خاک	کربن آلی	نیتروژن کل	ماده آلی	واحد
-	dS/m *	%	%	%	-	%	%	%	
7.5	4.2	65	18.2	16.8	Sandy Loam	0.4	0.09	0.8	مقدار

* deciSiemens per meter

جدول ۲- عناصر موجود در خاک منطقه

Cr	Co	Pb	Ni	Mn	Cu	Zn	Fe	Anion	P	Na	K	Mg	Ca	واحد
mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mg/kg (ppm)	mEq/L	mEq/L	mEq/L	mEq/L	mEq/L	mEq/L*	
45.3	15.8	2.7	112	62.7	45.6	550	750	10.2	4.5	4.17	0.05	1.2	9.2	مقدار

* Milliequivalents per liter

مشخصات پساب خروجی پالایشگاه گاز فرآشند در جدول ۳ مشاهده می گردد.

جدول ۳- مشخصات پساب خروجی پالایشگاه

ردیف	نام آزمون	واحد	نتایج	روش آزمون
۱	COD*	mg/L	23675	فتومتری HACH
۲	BOD**	mg/L	14915	دستگاهی HACH
۳	کل مواد معلق (TSS)	mg/L	22	گراویمتری
۴	کلراید (Cl ⁻)	mg/L	1136	تیتراسیون
۵	چربی و روغن (Oil)	mg/L	6	گراویمتری
۶	کلسیم	mg/L	80	تیتراسیون
۷	TDS کل مواد حل شده	mg/L	227	دستگاهی
۸	pH	-	5	-

*Chemically oxygen demand (COD)

**Biochemical oxygen demand (BOD)

میزان هیدروکربن های نفتی کل قبل و یکسال بعد از گیاه پالایی توسط تیبور در خاک در جدول ۴ مشاهده می گردد.

جدول ۴- میزان TPH قبل و یکسال بعد از گیاه پالایی توسط تیبور در خاک

ردیف	پارامتر	زمان اندازه گیری	واحد	مقدار
۱	TPH*	قبل از گیاه پالایی و تیبور	ppm	588
۲	TPH	یکسال بعد از گیاه پالایی	ppm	106

*TPH: Total Petroleum Hydrocarbon

آلودگی صنایع استخراج نفت، نشت از طریق مخازن، خطوط انتقال نفت و پالایشگاه ها می باشد. لذا اهمیت اکولوژیکی و زیست دارند. هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای در خاک آلوده و پس از یکسال تیمار با وتیور در جدول ۵ آورده شده است. البته در مدت زمان بیشتر تیمار با ریشه وتیور (منطقه ریزوسفر خاک نزدیک ریشه) می تواند مقدار هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای بیشتر کاهش یابد.

هیدروکربن های نفتی کل شامل مجموعه صد ترکیب شیمیایی است که از نفت خام بدست می آید و موجب آلودگی محیط زیست می شوند. نتایج TPH جدول ۴ نشان می دهد که پس از یکسال اثر گیاه وتیور میزان آلودگی حدود 6 برابر کاهش پیدا نموده است. هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای ها گروه بزرگی از ترکیبات آلی می باشند که به دلیل اثرات سرطان زایی، ژنتیکی، سیستماتیکی و کشندگی پایش آنها در منابع آب و خاک حائز اهمیت است. منشاء

جدول ۵- هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای خاک آلوده قبل و خاک نزدیک ریشه یک سال بعد از تیمار با وتیور

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	خاک آلوده (mg/kg)	پس از یکسال تیمار با ریشه وتیور (mg/kg)
Phenanthrene	۲۲۰	۲۵
Naphtalene	۲۷۰	۳۳
Fluoranthene	۱۲۰	۱۱
Pyrene	۹۵	۱۰
Anthracene	۴۱	۶

فنانترن و تجمع در ریشه آن، می تواند به عنوان گزینه بسیار مناسبی برای فرآیند گیاه پالایی ترکیبات نفتی به کاربرده شود (Naderi et al., 2022).

نتیجه گیری

گیاه وتیور توانایی رشد و زنده مانی در انواع شرایط آلودگی نفتی، مانند خاک آلوده پالایشگاه ها را دارا می باشد و پس از یک سال اثر گیاه وتیور میزان آلودگی هیدروکربن های نفتی کل حدود شش و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای حدود نه برابر کاهش پیدا نمود. البته در مدت زمان بیشتر از یکسال تیمار با ریشه وتیور (منطقه ریزوسفر خاک نزدیک ریشه) می تواند مقدار هیدروکربن های نفتی کل و آروماتیک چند حلقه ای را بیشتر کاهش دهد.

هیدروکربن های حلقوی آروماتیک های هیدروکربن در منطقه خاک های کشاورزی تولید ذغال سنگ در اطراف Xinzhou چین بررسی و میانگین این ترکیبات را ۲۰۲ میلی گرم به ازای هر کیلو گرم خاک گزارش کردند. در این مطالعه آلودگی این ترکیبات در منطقه در سطح پایین تا متوسط ارزیابی شد (Zhao et al., 2014). طبق پژوهش نادری و همکاران حداکثر تجمع فنانترن در ریشه گیاه وتیور ۵۱۹ میلی گرم در کیلوگرم بود که در غلظت ۴۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک فنانترن خاک مشاهده شد. این روند افزایشی نشان داد که گیاه وتیور احتمالاً در غلظت های بالاتر از ۴۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک فنانترن نیز امکان زنده ماندن و جذب این آلاینده از خاک را دارا می باشد. با توجه به مقاومت وتیور به غلظت های بالای

منابع

- Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.M. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. Egypt J Pet, Vol. 25(1), P. 107-123.
- Bennett, L.E., Burkhead, J.L., Hale, K.L., Terry, N., Pilon, M., Pilon-Smiths, EA. 2003. Analysis of transgenic Indian mustard plants for phytoremediation of metalscontaminated mine tailings. J Environ Qual, Vol. 32(2), P. 432-440.
- Boonyapookana, B., Parkpian, P., Techapinyawat, S., Delaune, R.D., Jugsujinda, A. 2005. Phytoaccumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*). J Environ Sci Health, Vol. 40, P. 117-137.
- Chen, Y.X., Lin, Q., Luo, Y.M., He, Y.F., Zhe, S.J., Yu, Y.L., Tian, G.M., Wong, G.M. 2003. The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. Chemosphere, Vol. 50(6), P. 708-711.
- Ciura, J., Poniedzialek, M., Sekara, A., Jedrszyk, E. 2005. The possibility of using crops as metal phytoremediants. Pol J Environ Stud, Vol. 14(1), P. 17-22.
- Du, L.V., Truong, P. 2003. Vetiver system for erosion control on drainage and irrigation channels on severe acid sulphate soil in southern Vietnam. Proc, Third International Vetiver Conference. China, October 2003.

- Euliss, K., Ho, C.H., Schwab, A.P., Rock, S., Banks, M.K. 2008. Greenhouse and field assessment of phytoremediation for petroleum contaminants in a riparian zone. *Bioresour Technol*, Vol. 99, P. 1961-1971.
- Greenfield, J.C. 1989. Vetiver grass: The ideal plant for vegetative soil and moisture conservation. *ASTAG – The World Bank: Washington, D.C.*
- Khan, A.G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *J Trace Elem Med Biol*, Vol. 18, P. 355-364.
- Liste, H.H., Alexander, M. 2000. Plant-promoted pyrene degradation in soil. *Chemosphere*, Vol. 40, P. 7-10.
- Louvado, A., Gomes, N.C.M., Simoes, M.M.Q., Almeida, A., Cleary, D.F.R., Cunha, A. 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons in deep sea sediments: Microbe-pollutant interactions in a remote environment. *Sci Total Environ*, Vol. 526(1), P. 312-328.
- Moore, G., Sanford, P., Wiley, T. 2006. Vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*). Department of Agriculture and Food Western Australia, Bulletin 4690, Perth.
- Naderi, N., Mohsenzadeh, S., Moradshahi, A., Zamani, H., Zarei, M. 2022. Effect of phenanthrene oil pollutant on physiological and biochemical characteristics of vetiver plant (*Chrysopogon zizanioides*). *J Plant Process Function* (under press).
- Newman, L.A., Reynolds, C.M. 2004. Phytodegradation of organic compounds. *Curr Opin Biotechnol*, Vol. 15, P. 225-230.
- Rafiee, M., Jahangiri, M., Afshari, A. 2017. Bioaccumulation and translocation factors of petroleum hydrocarbons in *Aeluropus littoralis*. *Environ Eng Manag J*, Vol. 4, P. 131-136.
- Shin, K.H., Kim, K.W., Ahn, Y. 2006. Use of biosurfactant to remediate phenanthrene-contaminated soil by the combined solubilization–biodegradation process. *J Hazard Mater*, Vol. 137(3), P. 1831-1837.
- Shump, J.F., Tracy, J.C. 1993. Beneficial effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic material. *Crit Rev Environ Sci Technol*, Vol. 23(1), P. 41-77.
- Smeal, C., Hackett, M., Truong, P. 2003. Vetiver system for industrial wastewater treatment in Queensland, Australia. *Proc. Third International Vetiver Conference. China, October 2003.*
- Tang, S., Xi, L., Zheng, J., Li, H. 2003. Response to elevated CO₂ of Indian mustard and sunflower growing on copper contaminated soil. *Bull Environ Contam Toxicol*, Vol. 71(5), P. 988-997.
- Truong, P., Gordon, I., Baker, D. 1996. Tolerance of vetiver grass to some adverse soil conditions. *Proc. First International Vetiver Conference. Thailand, October 2003.*
- Truong, P.T., Van, T., Pinners, E. 2009. Introduction to vetiver grass and its properties. *Iran Agri Sci*, Vol. 1, P. 172.
- Varjani, S.J., Upasani, V.N. 2016. Carbon spectrum utilization by an indigenous strain of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514: Production, characterization and surface active properties of biosurfactant. *Bioresour Technol*, Vol. 221(1), P. 510-516.
- Varjani, S.J., Upasani, V.N. 2017. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *Int Biodeterior Biodegradation*, Vol. 120(1), P. 71-83.
- Wagner, U., Edwards, R., Dixon, D.P., Mauch, F. 2002. Probing the diversity of the *Arabidopsis* glutathione S-transferase gene family. *Plant Mol Biol*, Vol. 49, P. 515-532.
- Zhao, L., Hou, H., Shangguan, Y., Cheng, B., Xu, Y., Zhao, R. 2014. Occurrence, sources, and potential human health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils of the coal production area surrounding Xinzhou, China. *Ecotoxicol Environ Saf*, Vol. 108, P. 120-128.

Treatment of contaminated soil to petroleum hydrocarbons with Vetiver phytoremediation

Sasan Mohsenzadeh^{1*}, Mohammadreza Keshtvarz², Mahdi Mohsenzadeh³, Mehdi Nazari¹, Mojtaba Poorbagheri¹, Erfan Atashdehghan¹

1- Corresponding author, Biology Department, School of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- HSE Department, South Zagros Oil and Gas Production Company

3- Civil Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology

*Email Address: mohsenz@shirazu.ac.ir

Abstract

Industrialization can be one of the main causes of environmental pollution increasing, especially petroleum hydrocarbons in the water, air, and soil. Polluted soils in the evaporation ponds are one of the primary sources of pollution in the oil refineries. Phytoremediation is the use of plants to remove contaminants from contaminated soils, to accumulate them in the roots and to remove them from the stems and leaves, or to decompose these compounds within the plant. Choosing the right plant, especially in soils with low or moderate pollution, plays an important role in the process of phytoremediation. Vetiver is a suitable plant for phytoremediation. In this project, first, soil samples were collected and the survival and resistance of vetiver were investigated. After that, executive works started in the Dalan area, including planting plants in the area, installing a reservoir, installing a drip irrigation system, sampling contaminated and non-contaminated soils in the area, and sampling the soil adjacent to the plant roots and measuring the amount of Petroleum hydrocarbons. The vetiver plant can grow and survive in oil-polluted soils. After a year of phytoremediation effect, the Vetiver plant reduced the amount of total petroleum hydrocarbons and aromatic hydrocarbons by about six times and nine times, respectively. Further phytoremediation treatment with vetiver root (soil rhizosphere near the root) could further reduce the amount of total petroleum hydrocarbons and aromatic hydrocarbons.

Introduction

Phytoremediation is a cost-effective plant-based approach of remediation that takes advantage of the ability of plants to concentrate elements and compounds from the environment and to metabolize various molecules in their tissues. It refers to the natural ability of certain plants called hyperaccumulators to bioaccumulate, degrade, or render harmless contaminants in soils and water. Bioremediation is very much involved in the degradation, eradication, restriction, or reclamation varied chemical and physical hazardous substances from the nearby with the action of all-inclusive microorganisms. The oil refinery is one of the top 10 sources of environmental pollution. In the last few years, petroleum hydrocarbons pollution, due to its toxicity to microorganisms as well as humans, has become one of the most serious global concerns. Among petroleum hydrocarbon pollutants, 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are known as important hazardous pollutants due to their stability in the environment. The use of plants to remove contaminants from contaminated soils, their accumulation in roots, and their removal from stems and leaves is called phytoremediation. The term phytoremediation was first introduced in 1991 to describe methods of reducing the environmental pollution. Phytoremediation is an inexpensive in-situ method that has no destructive effects on the environment. Phytoremediation is a cost-effective technology that should be considered an environmental-friendly method for remediation of contaminated areas. Vetiver plant (according to the new scientific name classification called *Chrysopogon zizanioides* L.) is suitable for phytoremediation due to its special properties. Vetiver is called "khas" in Iran. Vetiver is widely distributed in Africa, India, Myanmar, Sri Lanka, and Southeast Asia. This plant is a genus of weeds and has no rhizomes. It has a voluminous root system with delicate structures that can grow quickly so that sometimes its root depth reaches 3 to 4 meters in the first year of growth. *Chrysopogon zizanioides*, commonly known as vetiver is a perennial bunchgrass of the family Poaceae, native to India. Vetiver grows to 150 centimeters (5 ft.) high and form clumps as wide. Under favorable conditions, the erect culms can reach 3m in height. The stems are tall and the leaves are long, thin, and rather rigid. The flowers are brownish-purple. Unlike most grasses, which form horizontally spreading, mat-like root systems, vetiver roots grow downward, 2 meters (7 ft.) to 4 meters (13 ft.) in depth. The vetiver bunch grass has a gregarious habit and grows in tufts. Shoots growing from the underground crown make the plant frost and wildfire resistant, and allow it to survive heavy grazing pressure. The leaves can become up to 300 centimeters (10 ft.) long and 8

millimeters (0.3 in) wide. The panicles are 15 centimeters (6 in) to 30 centimeters (12 in) long and have whorled, 25 millimeters (1 in) to 50 millimeters (2 in) long branches. Vetiver grass is a phytoremediator plant but is also grown for many other purposes. The plant helps to stabilize soil and protects it against erosion, but it can also protect fields against pests and weeds. Vetiver has favorable qualities for animal feed. From the roots, oil is extracted and used for cosmetics, aromatherapy, herbal skincare and ayurvedic soap. Due to its fibrous properties, the plant can also be used for handicrafts, ropes and more.

Methodology

Three thousand vetiver seedlings were prepared from its production center in Khuzestan province, Ramhormoz city. After replanting in seedling pots, kept with care for two months. The intended land for the phytoremediation project was 23,000 square meters, which had been used for years as an evaporation pond for the effluent of the Farashband refinery without the use of any plastic, or cement, or geomembrane liners. In the first step, two of the three main ponds were selected. After that, the wastewater was removed from the evaporation ponds and the soil around the ponds was poured into them to fill the ponds. Then the land was leveled and a quarter of it was selected for the project. Holes were dug to plant the plants with a hole machine. The physical and chemical properties of the wastewater and the contaminated soil were determined by the laboratory of Farashband Gas Refinery Company. Total petroleum hydrocarbons (TPHs) were measured by Parham Gostar Shiraz Laboratory and cyclic aromatic hydrocarbons were measured by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) of the central laboratory of Shiraz University.

Conclusion

Vetiver plant can grow and survive in a variety of oil pollution conditions, such as contaminated soil in refineries. Results of this study showed that after one year of phytoremediation, vetiver reduced the amount of total petroleum hydrocarbons and Polycyclic aromatic hydrocarbons by about six and nine times, respectively. In addition, Results showed that further phytoremediation treatment with vetiver root (soil rhizosphere near the root) could further reduce the amount of total petroleum and polycyclic aromatic hydrocarbons.

Keywords

Vetiver, Petroleum hydrocarbons, Phytoremediation, Contaminated soils