مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۵۷۹ تا ۵۸۸

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

مقایسه عملکرد دو روش زیست پالایی و تثبیت در حذف هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از کنده‌های حفاری روغنی با رویکرد حفاظت از محیط زیست

محمدامین دانشفر[۱،*]، مهدی ارجمند[۱]، سیدابوطالب موسوی پارسا[۲]

۱- گروه مهندسی شیمی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی شیمی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۱۹
تاریخ ویرایش: ۹۹/۱۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۱
تاریخ انتشار: ۹۹/۱۲/۲۷

واژگان کلیدی: زیست پالایی، تثبیت، کنده‌های حفاری روغنی، محیط زیست، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
mdaneshfar38@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: تصفیه نامناسب ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) کنده‌های حفاری روغنی تاثیرات نامطلوبی بر روی محیط زیست دارد. هدف از مطالعه حاضر بررسی کارایی دو روش زیست پالایی و تثبیت در پاکسازی ترکیبات PAHs از کنده‌های حفاری روغنی است. در این تحقیق با مقایسه کارایی دو روش مذکور، روش مناسب با رویکرد حفاظت از محیط زیست انتخاب می‌شود.

روش بررسی: در این مطالعه نمونه برداری از کنده های حفاری روغنی در شروع و پایان فرآیند تصفیه در دو روش مورد استفاده، طبق روش های استاندارد انجام شد. برای تعیین مقدار ترکیبات PAHs، از دستگاه سوکسله و کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میزان حذف ترکیبات PAHs از نمونه کنده‌های حفاری روغنی با استفاده از روش زیست پالایی ۹۷ درصد (۴۴۰/۳ mg/kg) و روش تثبیت ۷۸ درصد (۳۵۴/۷ mg/kg) است. یافته‌های این بررسی نشان داد که روش زیست پالایی استاندارد مورد نیاز جهت تخلیه ترکیبات PAHs به محیط را تامین می‌نماید.

نتیجه‌گیری: به‌دلیل اینکه روش زیست پالایی نسبت به روش تثبیت در حذف ترکیبات PAHs بهتر عمل نموده و استفاده از آن منجر به حفظ محیط زیست می‌شود، این روش در این پژوهش از کارایی مناسبی برخوردار است و نتایج آن می‌تواند به‌عنوان الگویی در دیگر مناطق مورد استفاده قرار گیرد.

Please cite this article as: Daneshfar MA, Ardjmand M, Mousavi Parsa SA. Performance comparison of bioremediation and fixation methods for removing polycyclic aromatic hydrocarbons from oily drilling cuttings by environmental protection approach. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):579-88.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

مقدمه

کنده‌های حفاری روغنی به دلیل وجود ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)) تاثیرات نامطلوبی بر روی محیط زیست دارند (۱). PAHs سمی بوده و به دلیل اهمیت زیاد در ردیف آلاینده‌های مهم قرار گرفته‌اند (۲). از میان PAHs، ۱۶ جزء که از ۲ تا ۶ حلقه تشکیل شده است، به عنوان شاخص آلودگی مطرح است (۳). آلودگی زیست محیطی ناشی از این ترکیبات خطرات بالقوه‌ای دارد که می‌تواند منجر به عدم تعادل محیطی شود. برخی از اثرات آلودگی PAHs در خاک شامل از بین رفتن مواد مغذی، کاهش باروری، بوی نامطبوع، عدم تعادل گیاهان، حیوانات و احتمال انتقال و توزیع به محیط‌های آبی است (۴). آلوده شدن گل و لای و رسوب‌ها با PAHs موجود در پسماندهای حفاری و تخلیه شده در مرداب‌های کم عمق حتی تا ۱ km دورتر از آن محل نیز گزارش شده است. در شرایطی که غلظت هیدروکربن‌های پلی آروماتیک به حدود ppm ۱ برسد حیوانات کفزی از بین رفته و یا شدیدا تحت تاثیر قرار می‌گیرند. کنده‌های حفاری محتوی هیدروکربن در صورت رها شدن در سطح زمین بر رشد گیاهان اثر می‌گذارند به‌طوری که مقادیر بالاتر از حد مجاز نفت و روغن در خاک باعث تغییر در رشد گیاهان می‌شود (۵). عدم تصفیه مناسب PAHs به صورت قابل توجهی بر روی اکوسیستم محلی نیز تاثیر می‌گذارد (۶). فلزات سنگین و هیدروکربن‌های موجود در کنده‌های حفاری قادر به ایجاد آلودگی محیطی با اثرات ناشی از آن بر سلامت انسان است. علاوه براین پسماندهای حاوی مواد حاوی هیدروکربن‌ها منجر به آلودگی سفره‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (۷). این ویژگی‌ها همراه با مقررات محدود کننده محیط زیست، نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های بهتر و کارآمدتر جهت تصفیه مناسب کنده‌های حفاری روغنی را ایجاب می‌نماید (۸). میزان تولید سالانه کنده‌های حفاری در جهان و ایران به وضوح مشخص نیست. کمیت کنده‌های حفاری تولید شده توسط صنعت نفت و گاز بستگی به فعالیت‌های خاص هر ساله دارد. انجمن نفت آمریکا (American Petroleum Institute (API)) تخمین زده است سالانه حدود ۱۵۰ میلیون بشکه کنده حفاری از چاه‌های نفت و گاز خشکی توسط شرکت‌های نفت و گاز در آمریکا در سال ۱۹۹۵ تولید شده است (۹). در سال ۱۹۹۴، ۷۵ درصد از کنده‌های حفاری تولیدی توسط فعالیت‌های اکتشافی و تولیدی شرکت Amoco نتیجه فعالیت‌های حفاری بود. در این شرکت به طور متوسط ۷۰۰ kg پسماند حفاری در هر متر حفاری تولید شده است (۱۰). کنده‌های حفاری تولیدی در فلات قاره بریتانیا به طور سالیانه بین ۵۰۰۰۰-۸۰۰۰۰ ton تخمین زده شده است (۱۱). حدود ۴۰۰۰۰۰۰ ton کنده حفاری از لایه‌های شیلی Marcellus به صورت سالانه تولید شده است (۱۲). میزان تولید کنده‌های حفاری مناطق دریایی شرکت نفت فلات قاره ایران (Iranian Offshore Oil Company (IOOC)) در سال ۲۰۱۸ حدود ۳۳۰۰۰ m بوده است. از گذشته تا امروز مدیریت کنده‌های حفاری روغنی با روش‌های تثبیت، زیست پالایی و حرارتی صورت گرفته است. روش تثبیت به دلیل عدم تصفیه مناسب و روش حرارتی به دلیل قیمت بالای تکنولوژی قابل استفاده برای همه مناطق نیست. از طرفی روش زیست پالایی شرایط خاص خود را جهت بهره برداری عملیاتی می‌طلبد (۱۳). هم اکنون در بیشتر کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای جهان سوم مدیریت کنده‌های حفاری به روش تثبیت انجام شده و کنده‌ها در مکان‌های مناسب دفن می‌شوند (۱۴). در برخی مناطق آمریکا روش حرارتی جهت تصفیه کنده‌های روغنی به کار گرفته شده است (۱۵). روش‌های زیست پالایی به صورت آزمایشی در انگلیس جهت تصفیه کنده‌های حفاری مورد بررسی قرار گرفته است (۱۶).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

طـی سـالیان اخیـر تحقیقـات گوناگونی بـه منظور پاکسـازی ترکیبـات PAHs از پسـماندهای مختلـف انجام شـده اسـت. Sayara و همـکاران (۲۰۲۰) زیسـت پالایـی خاک‌هـای آلـوده بـه ترکیبـات PAHs را مـورد بررسـی قـرار دادنـد. براسـاس نتایـج ایـن تحقیـق، ایـن فراینـد از پتانسـیل زیادی بـرای حـذف ترکیبـات PAHs برخـوردار اسـت (۱۷). Liu و همـکاران (۲۰۲۰) زیسـت پالایـی پیـرن یکـی از ترکیبـات PAHs موجـود در هیدروکربن‌هـای نفتـی را مـورد بررسـی قـرار دادنـد. نتایـج نشـان داد روش زیسـت پالایـی بـه دلیـل سـادگی کاربـرد، هزینـه کـم و اثرات زیسـت محیطـی کم، در حـذف پیـرن کاربـرد زیـادی دارد (۱۸). در راسـتای بررسـی عملکـرد روش زیسـت پالایـی، Sabeti Mohammadi و همـکاران (۲۰۲۰) اقـدام بـه بررسـی تجزیه زیسـتی ترکیبات PAHs نمودنـد. نتایـج نشـان داد روش زیسـت پالایی به طور قابـل توجهـی در حـذف ترکیبـات PAHs مؤثـر اسـت (۱۹). نتایـج مطالعـه Gupte و همکاران (۲۰۱۶) نشـان داد، تصفیه ترکیبـات PAHs بـا اسـتفاده از روش زیسـت پالایـی، روشـی مؤثـر از لحـاظ زیسـت محیطـی بـوده و مقرون به صرفه اسـت (۲۰). در بررسـی انجام شـده توسط Chaudhary و همکاران (۲۰۱۱)، زیسـت پالایـی ترکیبـات PAHs خاک‌هـای آلـوده بـه قیر یک پالایشـگاه بـا اسـتفاده از باکتری استرپتومایسـس انجـام شـد. یافته‌های این مطالعه، پتانسـیل زیسـت پالایی در پاکسـازی ایـن ترکیبـات را تاییـد کـرد (۲۱). مطالعـات کمی درخصـوص مقایسـه عملکـرد روش‌هـای مختلـف در تصفیـه PAHsکنده‌هـای حفـاری روغنـی چاه‌هـای نفـت و گاز در ایـران و جهـان صـورت گرفتـه اسـت. نـوآوری پژوهـش حاضر اسـتفاده از روش زیسـت پالایـی در کاربرد عملیاتی نسـبت به تحقیقـات گذشـته در زمینـه تصفیه کنده‌های حفـاری روغنی بـه خصـوص ترکیبات PAHs اسـت.

تاکنـون در مناطـق شـرکت نفـت فـلات قـاره ایـران IOOC مطالعـه‌ای درخصـوص تصفیـه کنده‌هـای حفـاری روغنـی بـا اسـتفاده از زیسـت پالایـی صـورت نگرفته اسـت و روش رایج، اسـتفاده از تثبیـت بـوده اسـت. ایـن پژوهـش بـر آن اسـت کارایـی دو روش زیسـت پالایـی و تثبیـت در حـذف ترکیبات PAHs را مـورد تجزیـه و تحلیـل قـرار دهد. به عبـارت دیگر ایـن پژوهـش سـعی دارد بـا اسـتفاده از نتایـج به‌دسـت آمده از اجـرای دو روش در جزایـر لاوان و خـارک، عملکـرد آنها در پاکسـازی ترکیبـات PAHs را تجزیـه و تحلیـل نموده و روش مناسـب سـازگار بـا محیط زیسـت درخصوص ایـن ترکیبات را پیشـنهاد نماید.

مواد و روش‌ها

در ایـن پژوهـش روش زیسـت پالایـی در جریـره لاوان و روش تثبیـت در جزیـره خـارک بـه منظـور تصفیـه کنده‌های حفـاری روغنـی اجـرا شـد. در میادیـن نفـت و گاز IOOC بـه دلیـل نـوع و عمـق سـازند (لایه‌هـای شـیلی و مخـازن عمیـق) از سـیالات حفـاری پایـه روغنـی اسـتفاده می‌شـود. ترکیـب اصلـی سـیال حفاری مـورد اسـتفاده در ایـن میادین، گازوئیل اسـت. کنده‌های حفـاری شـده بـا اندازه‌هـای مختلف از µ ۲۰۰۰ -۲ بـوده کـه آغشـته بـه ترکیبـات نفتـی شـامل بنـزن، تولوئـن، اتیـل بنـزن، زایلیـن، نفتالین، فنـول، ترکیبات PAHs و غیـره اسـت. میـزان روغـن و رطوبـت موجـود در کنده‌هـای حفـاری روغنـی ورودی بـه ایـن جزایـر بـه ترتیـب mg/kg ۳۰۰۰۰۰ - ۲۰۰۰۰۰ و ۶۵ درصـد حجمـی اسـت.

- روش زیست پالایی

مراحـل فراینـد زیسـت پالایـی کنده‌هـای حفـاری روغنـی در جزیـره لاوان بـه صـورت زیر اسـت:

انتقـال کنده‌های حفـاری روغنی (مرحلـه ۱): کنده‌های روغنـی میادین نفـت و گاز دریایـی درون جعبه‌های مخصوص یـا نایلون‌هـای از جنـس نانو تجمیع شـده و توسـط کشـتی به خشـکی انتقال داده می‌شـوند.

کاهـش رطوبـت (مرحلـه ۲): کنده‌هـای حفـاری جهت کاهـش رطوبـت بـه مـدت ۵-۳ روز در معرض آفتـاب قرار می‌گیرنـد.

اسـتفاده از لرزاننده‌هـای خشـک کـن (مرحلـه ۳): بـا اسـتفاده از لرزاننده‌هـای خشـک کـن و توری‌هـای بـا انـدازه

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

مـش مختلـف، روغـن و رطوبـت کنده‌ها تا حـد معینی کاهش می‌یابـد.

اختـلاط با خـاک دیاتومه (مرحلـه ۴): کنده‌هـای حفاری بـا دیاتومـه مخلـوط می‌شـوند. بـا اسـتفاده از قابلیـت دیاتومه در جـذب روغـن، میـزان روغـن موجـود در کنده‌هـا کاهـش می‌یابـد.

آزمایش ریتورت (مرحله ۵): قبل و بعد از اختلاط کنده‌ها با دیاتومه، آزمایش ریتورت انجام می‌شود.

تزریـق عامل زیسـت پالایـی (مرحلـه ۶): پـس از تایید آزمایـش ریتـورت، کنده‌هـای حفـاری به سـایت تزریـق عامل زیسـت پالایـی وارد می‌شـوند. عامـل زیسـت پالایـی حـاوی سـویه‌های باکتریایـی، عوامـل بیوسـورفاکتانت و مـواد مغـذی جهـت تصفیـه هیدروکربن‌هـای پسـماند طراحی شـده اسـت. بهتریـن عملکـرد بیورمر در حذف مـواد هیدروکربنـی موجود در کنده‌هـای حفـاری بـرای اسـتفاده عملیاتـی زمانـی اسـت کـه رطوبـت زبالـه حـدود ۴۰-۳۰ درصـد باشـد و دمـا در ۵۰°C -۲۰ کنتـرل شـود. عوامـل دیگـری ماننـد pH، مـواد مغـذی، شـوری و غیـره نیـز بـر عملکرد مناسـب بیورمـر تاثیر می‌گذارنـد. pH مناسـب بـرای افزایـش کارایـی بیورمـر بیـن ۹/۵-۶/۵ و شـوری mg/kg ۸۰۰۰۰-۰ اسـت.

هـر بسـته عامـل پالایـش زیسـتی بـا gal ۱۵۰ (مخـازن gal ۵۵ -۳) آب مخلـوط می‌شـود. ایـن مخلـوط در هنـگام تیمـار yd^3 ۱۵، موثرتریـن نتیجـه را بـه همراه خواهد داشـت. عامل زیسـت پالایی درون مخازن تهیه شـده و تحت شـرایطی کـه اشـاره شـد بـه کنده‌هـای حفـاری تزریـق می‌شـود.

کاشـت گیـاه (مرحلـه ۷): بـه منظـور تاییـد عدم سـمیت پسـماند، کاشـت گیاهـان سازگار با آب و هوای منطقه (گیـاه وتیـور) بـر روی کنده‌هـای تصفیـه شـده صـورت می‌گیـرد.

- روش تثبیت

مراحـل ۱، ۲، ۳ و ۵ فرایند تثبیـت کنده‌های حفاری روغنی با اسـتفاده از سـیمان، سـیلیکات سـدیم و برخی مواد شـیمیایی در جزیـره خـارک تقریبـا مشـابه روش زیسـت پالایـی اسـت. مراحـل ۴ و ۶ روش تثبیـت عبارتند از:

تثبیـت بـا سـیلیکات سـدیم و سـیمان (مرحلـه ۴): عملیـات جامدسـازی شـامل اختـلاط سـیلیکات سـدیم و سـیمان بـا کنده‌های روغنی اسـت. ایـن فرایند، روغـن موجود در کنده‌هـا را بـه صورت کپسـول‌های ایزوله محبـوس می‌کند و مانـع از خـارج شـدن روغـن موجـود بـه محیط می‌شـود.

پایدارسـازی کنده‌هـای حفـاری (مرحلـه ۶): پـس از انجـام عملیـات تثبیـت، زمانـی صـرف درمـان و شـکل گیری قالـب جدیـد بـرای کنده‌هـای حفـاری می‌شـود. کنده‌ها پس از انجـام آزمایشـات بـه مکان‌هـای دفـن در نظـر گرفته شـده انتقـال می‌یابنـد.

در ایـن تحقیـق حـد مجـاز تخلیـه ترکیبـات PAHs جهـت حفظ محیط زیسـت از اسـتانداردهای سـازمان محیط زیسـت اسـتخراج شـد. عملیـات نمونـه بـرداری از کنده‌هـای حفـاری بـا اسـتفاده از دسـتکش و بیلچـه اسـتریل شـده از پسـماند سـطحی در عمـق ۱۵°C -۰ بـه روش مرکب انجـام و نمونه‌ها در فانل‌هـای اسـتریل بـه آزمایشـگاه منتقـل و تـا زمـان انجام آزمایـش در دمـای ۲۰°C - نگهـداری شـد. علیرغـم اینکـه ویژگـی کنده‌هـای حفـاری ورودی بـه جزایـر لاوان و خـارک یکسـان اسـت جهت اطمینـان بیشـتر، عملیات نمونـه برداری در ۴ جهـت مختصـات جغرافیایـی از کنده‌هـای حفـاری اولیه و مرکـز کنده‌هـا در آبـان مـاه ۱۳۹۸ در دمای حـدود ۳۵ °C انجـام شـد. همچنیـن نمونـه بـرداری پـس از ۳ مـاه از اجرای دو روش زیسـت پالایـی و تثبیـت بـه همیـن طریـق در بهمن مـاه ۱۳۹۸ در دمـای حـدود ۲۳ °C صـورت پذیرفـت. جهت انجـام آزمایـش بافـت پسـماند و بـار مـواد آلـی، نمونه‌هـا در ظـرف پتـری دیـش ریخته شـد و درون آون با دمـای ۶۰°C بـه مـدت ۲ روز قـرار گرفـت. پـس از خشـک شـدن، نمونه‌هـا توسـط الـک mm ۲ الـک شـدند و بـر روی کلیـه آنهـا بـا ۳ بـار تکـرار، آزمایش‌هایـی بـرای انـدازه گیری مقادیـر PAHs انجـام شـد. بـرای انـدازه گیـری میـزان PAHs در نمونه‌هـا، ابتـدا ترکیبـات بـه وسـیله عملیـات اسـتخراج بـا حـلال دی کلرومتان به مدت h ۱۲ توسـط دسـتگاه سوکسـله انجام شـد. نمونه‌هـا طـی دو مرحلـه با سـولفات سـدیم و مس احیا شـده

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

تیمار شدند. ترکیبات جدا شده برای جداسازی حلال و تغلیظ نمونه‌ها، درون روتاری توسط خلا خشک و تغلیظ و کاهش حجم یافتند. سپس توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی ـ طیف سنج جرمی عملیات خالص سازی انجام شد. نمونه‌های کاهش حجم یافته به ستون یک کروماتوگرافی اضافه شدند تا ترکیبات آب دوست نمونه حذف شوند. سپس با اضافه شدن نمونه به ستون دو، ترکیبات آلی نمونه جداسازی شدند. نمونه PAHs به‌دست آمده از ستون دوم کروماتوگرافی، تحت دمش جریان ملایم گاز نیتروژن خالص تا حد مشخص کاهش حجم یافته و به ظروف شیشه‌ای انتقال یافتند. در این مرحله نمونه‌ها مجددا تا نزدیک به خشک شدن تحت جریان ملایم گاز نیتروژن خالص قرار گرفته، سپس ایزواکتان به منظور نگهداری از نمونه‌ها تزریق گردید. نمونه‌ها به لوله‌های داخل ظروف و به تیوب‌های داخل ویال انتقال پیدا کردند. پس از اندازه گیری ترکیبات PAHs، نتایج با استفاده از نرم افزار Excel تفسیر شدند. متغیر اصلی در این مطالعه، ترکیبات PAHs است که با روش کروماتوگرافی گازی ـ طیف سنج جرمی (استاندارد MOOPAM، ۱۹۹۹) بررسی شده است.

یافته‌ها

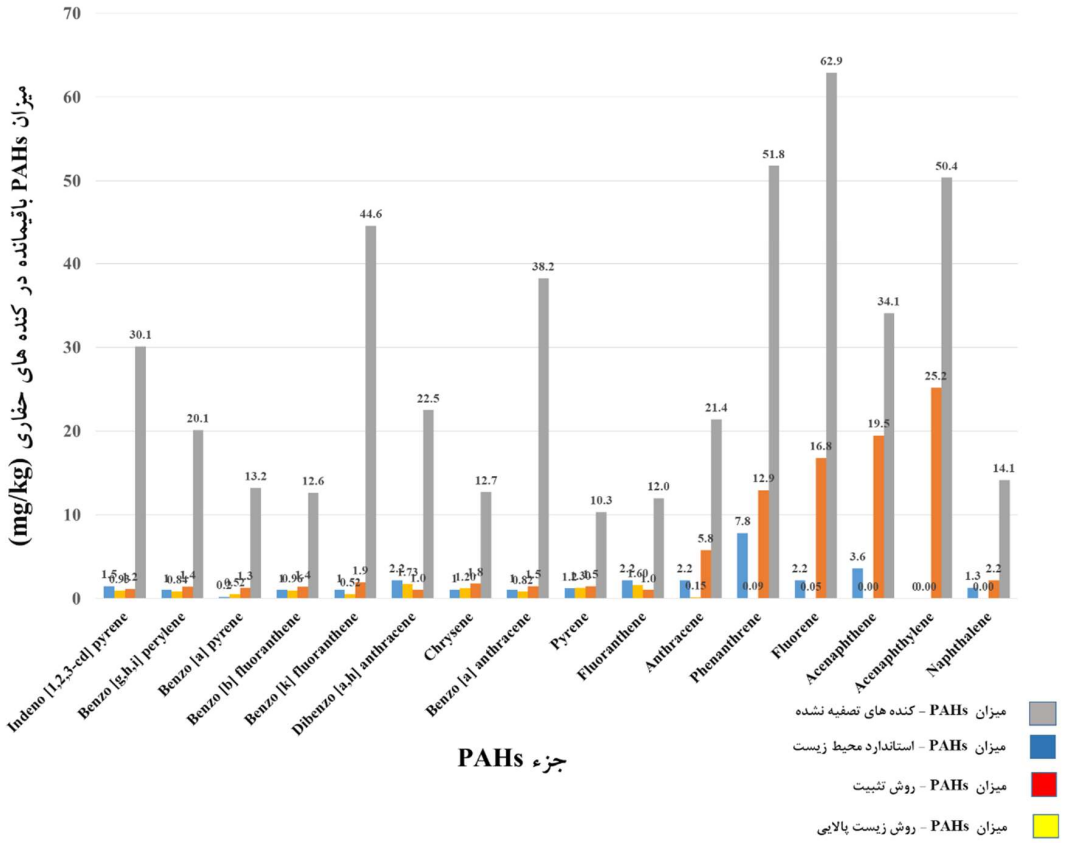
نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اجزاء PAHs در کنده‌های حفاری روغنی تصفیه نشده، روش زیست پالایی و روش تثبیت در نمودار ۱ آورده شده‌اند. میزان کل ترکیبات PAHs موجود در کنده‌های حفاری روغنی تصفیه نشده (۴۵۱ mg/kg) از حد مجاز تخلیه به محیط براساس استانداردهای سازمان محیط زیست (۲۹/۴ mg/kg) بیشتر است. بنابراین تخلیه این پسماند به محیط بدون تصفیه مناسب، ناایمن است. بیشترین و کمترین جزء آروماتیک در PAHs مربوط به فلورن (۶۲/۹ mg/kg) و پیرن (۱۰/۳ mg/kg) است. براساس نتایج، بیشترین و کمترین مقدار گروه‌های PAHs در کنده‌های حفاری روغنی مربوط به گروه سه حلقه‌ای (۲۲۰/۵ mg/kg) و گروه دو حلقه‌ای (۱۴/۱ mg/kg) است.

حذف اجزاء PAHs با استفاده از روش‌های زیست پالایی و تثبیت تغییرات قابل توجهی داشته که در نمودار ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است میزان حذف PAHs کنده‌ها در روش زیست پالایی بهتر از روش تثبیت بوده است به‌طوری که روش زیست پالایی ۹۷ درصد و روش تثبیت ۷۸ درصد PAHs موجود در کنده‌های حفاری روغنی را پاکسازی نموده است. طبق نتایج با استفاده از روش زیست پالایی، وجود آروماتیک‌های ۲ و ۳ حلقه‌ای علیرغم مقدار بیشتر نسبت به برخی آروماتیک‌های موجود در کنده‌های روغنی تصفیه نشده، مشاهده نشد. این در حالی است که در روش تثبیت این آروماتیک‌ها هنوز در کنده‌های حفاری مشاهده می‌شوند. نمودار ۱ نشان می‌دهد عملکرد زیست پالایی در حذف ترکیبات PAHs مطابق با استاندارد سازمان محیط زیست (۲۹/۴ mg/kg) و حتی بهتر از آن (۱۱ mg/kg) بوده است در حالی‌که روش تثبیت (۹۶/۳ mg/kg) این استاندارد را تامین نمی‌نماید. در هیچ کدام از دو روش زیست پالایی و تثبیت پاکسازی کامل ترکیبات PAHs حاصل نشده است که نشان دهنده عدم کارایی ۱۰۰ درصدی روش‌های مذکور در تصفیه کنده‌های حفاری روغنی است.

بحث

کارایی روش‌های مختلف تصفیه کنده‌های حفاری روغنی در کاربری عملیاتی از جمله موضوعاتی است که در صنعت حفاری نفت و گاز تاکنون به آن پرداخته نشده است. در نتیجه بررسی این موضوع جهت شناخت و معرفی روش مناسب تصفیه کنده‌های حفاری روغنی به منظور تامین خواسته‌های گوناگون امری ضروری است. با توجه به مزایا، معایب و اهداف طراحی شده، نوع روش انتخابی تصفیه کنده‌های حفاری متفاوت خواهد بود. تاکنون مطالعات کمی درخصوص مقایسه روش‌های مختلف حذف ترکیبات PAHs از کنده‌های حفاری روغنی در مجامع علمی

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]



نمودار ۱- مقایسه میزان PAHs کنده‌های حفاری روغنی در حالت‌های مختلف

صورت گرفته است. اکثر مطالعات در زمینه حذف ترکیبات PAHs کنده‌های حفاری، با استفاده زیست پالایی صورت گرفته است و نتایجی درخصوص بکارگیری روش تثبیت ارائه نشده است.

روش زیست پالایی جهت پاکسازی ترکیبات PAHs کنده‌های حفاری روغنی با استفاده از باکتری‌های ایزوله شده توسط Okparanma و همکاران (۲۰۱۱) مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج، بخش زیادی از اجزاء مختلف PAHsبه خصوص آروماتیک‌های ۲ و ۳ حلقه‌ای پس از پایان دوره زمانی ۶ هفته‌ای حذف شدند. طبق نتایج این مطالعه که براساس استانداردهای زیست محیطی نیجریه طراحی شده است میزان کل ترکیبات PAHs پسماند با استفاده از زیست پالایی از ۲۲۳ mg/kg به حدود ۱/۶۳ mg/kg کاهش یافت (۲۲). حذف کامل آروماتیک‌های ۲ و ۳ حلقه‌ای با نتایج مطالعه حاضر شباهت دارد. در مطالعه انجام شده توسط Ayotamuno و همکاران (۲۰۰۹) روش‌های کمپوست و زیست پالایی در حذف ترکیبات PAHs از کنده‌های حفاری روغنی مقایسه شدند. براساس این تحقیق، عملکرد روش زیست پالایی در حذف ترکیبات PAHs کنده‌های حفاری در مقایسه با کمپوست بهتر است. میزان کل ترکیبات PAHs کنده‌های روغنی با استفاده از زیست پالایی پس از ۶ هفته از ۲۲۴ mg/kg به حدود ۴/۰۵ mg/kg کاهش یافت (۲۳). حذف ترکیبات آروماتیک ۲ و ۳ حلقه‌ای در پایان دوره روش زیست پالایی در مطالعه مذکور با نتایج مطالعه حاضر تقریبا مشابه است، به‌طوری که بخش اعظم این آروماتیک‌ها پاکسازی شدند. در تحقیق Amezcua Allieri و همکاران (۲۰۱۲) روش‌های زیست پالایی و استخراج فوق بحرانی در حذف

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

PAHs از خاک‌های آلوده به هیدروکربن مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج این تحقیق، با استفاده از روش زیست پالایی حذف حداکثری ترکیبات نفتالین، استنافتن، فلورن و کرایزن از پسماند حاصل شد. طبق نتایج این مطالعه روش زیست پالایی در حذف آروماتیک‌های ۲ و ۳ حلقه‌ای بهتر عمل می‌نماید که در مطالعه حاضر نیز این موضوع مشخص شد. میزان کل ترکیبات PAHs در این مطالعه حدود mg/kg ۷۵ بود که با استفاده از روش زیست پالایی حدود ۸۶ درصد و روش استخراج فوق بحرانی ۶۹ درصد از ترکیبات تصفیه شدند (۲۴). Jigheha Soltani و همکاران (۲۰۱۶)، زیست پالایی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های اطراف پالایشگاه تبریز را با استفاده از عامل زیست پالایی انجام دادند. بر این اساس، تقریبا ۸۰ درصد از کل هیدروکربن‌های آغشته به خاک با استفاده از عامل زیست پالایی تصفیه شدند (۲۵). Yan و همکاران (۲۰۱۱)، روش زیست پالایی دو مرحله‌ای را جهت تصفیه کنده‌های حفاری روغنی به کار گرفتند. طبق نتایج این مطالعه میزان کل ترکیبات هیدروکربنی کنده‌های حفاری با استفاده از زیست پالایی پس از ۴ ماه از mg/kg ۸۵۰۰۰ به حدود mg/kg ۱۲۶۰۰ کاهش یافت (۲۶). Okeke و همکاران (۲۰۱۳) روش حرارتی جذبی را جهت تصفیه کنده‌های حفاری روغنی به‌کار گرفتند. در این تحقیق ۹۵ درصد از روغن موجود در نمونه کنده‌های حفاری پس از یک دوره ۵ روزه بازیابی شدند. نتایج این مطالعه عملکرد مناسب‌تر روش حرارتی در مقایسه با مطالعات انجام شده درخصوص دیگر روش‌های تصفیه کنده‌های حفاری از جمله روش زیست پالایی را از لحاظ زمان و میزان پاکسازی پسماند به خوبی مشخص می‌نماید (۲۷).

حد مجاز تخلیه پسماند روغنی به محیط طبق استانداردهای محیط زیست ایران و واحد محیط زیست IOOC باید mg/kg ۱۰۰۰۰باشد. برای ترکیبات PAHs پسماند، حد مجاز تخلیه جهت حفظ محیط زیست mg/kg ۲۹/۴ است. نتایج آزمایشگاهی مطالعه حاضر نشان داد پاکسازی ترکیبات PAHs توسط روش زیست پالایی با بکارگیری خاک دیاتومه به خوبی انجام شده است. با استفاده از این روش بخش اعظم ترکیبات PAHs به خصوص اجزاء دارای حلقه کم حذف شدند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق تطابق استانداردهای مورد نیاز محیط زیست درخصوص تخلیه ترکیبات PAHs با روش زیست پالایی را تایید می‌نماید که در تحقیقات مشابه گذشته نیز این موضوع اثبات شده است. با توجه به اینکه استفاده از برخی سیستم‌های مدیریت پسماند امکان اصلاح و استفاده از خاک در کشاورزی را میسر نمی‌کنند، عملیات کاشت گیاه بر روی کنده‌های نهایی حاصل از روش زیست پالایی موفقیت آمیز بود. بنابراین با استفاده از روش زیست پالایی، کنده‌های روغنی پردازش و محیط احیاء شده است. هر چند مواردی مانند نیاز به فضای زیاد و طولانی بودن زمان تصفیه به عنوان معایب روش زیست پالایی مطرح هستند ولی در صورتی‌که مسائل زیست محیطی برای دست اندرکاران در اولویت باشند می‌توان از این موارد چشم پوشی کرد. طبق نتایج به‌دست آمده از بکارگیری روش تثبیت، میزان ترکیبات PAHs در کنده‌های حفاری با استفاده از این روش بیشتر از حد استاندارد مجاز محیط زیست است. هر چند کلوخه‌ای شدن و عدم نشت پسماند نهایی ناشی از روش تثبیت، این روش را به یک روش رایج در مدیریت پسماند حفاری تبدیل نموده است لیکن یکی از چالش‌های اصلی در روش تثبیت کنده‌های حفاری روغنی، پایداری طولانی مدت پسماند است. یک ماده تثبیت کننده مناسب بایستی از رها شدن اجزاء پسماند در طولانی مدت و انتشار آنها در محیط زیست جلوگیری کند. در صورتی‌که گذشت زمان و شرایط مختلف آب و هوایی ممکن است پایداری پسماند را دچار مشکل نموده و اثرات نامطلوبی از جمله باقیماندن در محیط و آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی را به همراه داشته باشد. در این راستا امکان سنجی بکارگیری جاذب‌های سازگار با محیط زیست در تصفیه کنده‌های حفاری روغنی با روش تثبیت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

می‌توانـد مـورد مطالعـه قـرار گیـرد. بـا توجـه بـه نتایـج ایـن مطالعـه می‌تـوان گفـت در صورتی‌که در مناطق مـورد مطالعه اهـداف زیسـت محیطـی بـا تاثیر پایـدار مد نظر باشـند، روش زیسـت پالایـی روش مناسـبی جهت تصفیـه کنده‌های حفاری روغنی اسـت.

در ایـن پژوهـش پـس از اجـرای دو روش زیسـت پالایـی و تثبیـت، روش مناسـب در حذف ترکیبـات PAHs از کنده‌های حفـاری روغنـی مشـخص شـد. با توجه بـه نتایج به‌دسـت آمده از اجـرای دو روش، اسـتفاده از روش زیسـت پالایـی بـه عنـوان روش سـازگار بـا محیط زیسـت پیشـنهاد می‌شـود.

بـا توجـه بـه نتایـج به‌دسـت آمـده از مطالعـه حاضـر می‌توان گفـت مطالعـه حاضـر صرفـا بـه تجزیـه و تحلیـل ترکیبـات PAHs موجـود در کنده‌هـای حفـاری روغنـی پرداختـه و دیگـر ترکیبـات آلـی بررسـی نشـده اسـت. عـلاوه بـر ایـن، عـدم بررسـی روش حرارتی به دلیـل عدم وجـود تکنولوژی از محدودیت‌هـای ایـن مطالعـه به شـمار می‌آیـد. بنابرایـن برای تحقیقـات آتـی، محققـان می‌تواننـد در مطالعـات خـود به این کاسـتی‌ها توجـه نمـوده و آنهـا را مـد نظـر قـرار دهنـد.

نتیجه‌گیری

نتایـج حاصـل از ایـن پژوهـش نشـان می‌دهـد روش زیسـت پالایـی کنده‌هـای حفـاری روغنـی یـک روش سـازگار با محیط زیسـت نسـبت بـه روش تثبیت اسـت. پایـداری طولانـی مدت کنده‌هـای حفـاری بـه دلیـل پاکسـازی دائمـی ترکیبـات PAHs در روش زیسـت پالایـی، ایـن روش را نسـبت بـه روش تثبیـت برتـر می‌نمایـد. طبـق نتایـج ایـن پژوهـش، پاکسـازی ۹۷ درصـدی ترکیبـات PAHs از کنده‌هـای حفـاری روغنـی و تامیـن اسـتانداردهای مـورد نیـاز سـازمان محیـط زیسـت با روش زیسـت پالایی حاصل شـده اسـت. بایسـتی توجه داشـت تکنولوژی‌هـای جدیدتـر از جملـه روش حرارتـی در تصفیـه کنده‌هـای حفاری روغنی در کشـورهای پیشـرفته بـه‌کار گرفته شـده اسـت کـه می توانـد مـورد بررسـی محققـان قـرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسـندگان کلیـه نـکات اخلاقـی شـامل عـدم سـرقت ادبـی، انتشـار دوگانـه، تحریـف داده ها و داده سـازی را در این مقاله رعایـت کـرده اند.

تشکر و قدردانی

ایـن مطالعـه حاصـل بخشـی از پایـان نامـه بـا عنـوان "بومـی سـازی مدل بهینـه مدیریت پسـماند حفاری مناطـق عملیاتی IOOC" در مقطـع دکتـرا مهندسـی شـیمی دانشـگاه آزاد اسـلامی واحـد تهـران جنـوب بـه شـماره ثبـت ۹۰۰۰۲۱۱ مـورخ ۲۹-۱۰-۱۳۹۵ اسـت.

References

1. Osei-Twumasi D, Fei-Baffoe B, Anning AK, Danquah KO. Biodegradation of hydrocarbon-contaminated drill mud waste with compost and cow bile. Environmental Processes. 2020;7(4):1111-27.
2. Balaji V, Arulazhagan P, Ebenezer P. Enzymatic bioremediation of polyaromatic hydrocarbons by fungal consortia enriched from petroleum contaminated soil and oil seeds. Journal of Environmental Biology. 2014;35(3):521-29.
3. Mao J, Luo Y, Teng Y, Li Z. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soil by a bacterial consortium and associated microbial community changes. International Biodeterioration & Biodegradation. 2012;70:141-47.
4. Nwinee SA. Sustainable treatment of oil contaminated waste: oil-based mud (OBM) drill cuttings and soil [dissertation]. UK: Robert Gordon University; 2018.
5. Dijkstra N, Junttila J, Aagaard-Sørensen S. Impact of drill cutting releases on benthic foraminifera at three exploration wells drilled between 1992 and 2012 in the SW Barents Sea, Norway. Marine Pollution Bulletin. 2020;150:110784.
6. Yancheshmeh RA, Bakhtiari AR, Mortazavi S. Ecological risk assessment of polycyclic aromatic compounds in the surface sediments of Anzali Wetland in 2010. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;7(2):157-70 (in Persian).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

7. Gaevaya E, Tarasova S, Bytsko A. The environmental impact of drilling sludge and ways of their utilization. Journal of Ecological Engineering. 2019;20(7):26-30.
8. Pereira MS, de Ávila Panisset CM, Martins AL, de Sá CHM, de Souza Barrozo MA, Ataíde CH. Microwave treatment of drilled cuttings contaminated by synthetic drilling fluid. Separation and Purification Technology. 2014;124:68-73.
9. Biltayib M, Mufazal S, Dania I. Management of drilling cuttings in term of volume and economics in oil field. International Journal of Engineering Research and Applications. 2016;6(10):45-47.
10. Gaurina-Međimurec N, Pašić B, Mijić P, Medved I. Deep underground injection of waste from drilling activities—An overview. Minerals. 2020;10(4):303.
11. Page PW, Greaves C, Lawson R, Hayes S, Boyle F. Options for the recycling of drill cuttings. SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference; 2003; San Antonio, Texas.
12. Stuckman MY, Lopano CL, Berry SM, Hakala JA. Geochemical solid characterization of drill cuttings, core and drilling mud from Marcellus Shale Energy development. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019;68:102922.
13. Ardjmand M, Daneshfar MA. Selecting a suitable model for collecting, transferring, and recycling drilling wastes produced in the operational areas of the Iranian offshore oil company (IOOC) using analytical hierarchy process (AHP). Journal of Environmental Management. 2020;259:109791.
14. Veil JA. Drilling waste management: past, present, and future. SPE annual technical conference and exhibition; 2002; San Antonio, Texas.
15. Burnett GA, Madsen BB, Pierce DA. Drill cuttings treatment systems. USA: US Patents; 2010.
16. Turner KP. Bioremediation of drill cuttings from oil based muds [dissertation]. UK: University of Nottingham; 2002.
17. Sayara T, Borràs E, Caminal G, Sarrà M, Sánchez A. Bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting: Influence of bioaugmentation and biostimulation on contaminant biodegradation. International Biodeterioration & Biodegradation. 2011;65(6):859-65.
18. Liu J, Su H, Wei X, Xue J. Progress in bioremediation of pyrene. Recent Innovations in Chemical Engineering (Formerly Recent Patents on Chemical Engineering). 2020;13(2):138-55.
19. Sabeti Mohammadi S, Hamidian AH, Khorasani N, Javan-Nikkhah M, Atghia O. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soil by some fungal species. Journal of Natural Environment. 2020;73(1):1-11.
20. Gupte A, Tripathi A, Patel H, Rudakiya D, Gupte S. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs): a perspective. The Open Biotechnology Journal. 2016;10:363-78.
21. Chaudhary P, Sharma R, Singh SB, Nain L. Bioremediation of PAH by Streptomyces sp. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2011;86(3):268-71.
22. Okparanma RN, Ayotamuno JM, Araka PP. Bioremediation of hydrocarbon contaminated-oil field drill-cuttings with bacterial isolates. African Journal of Environmental Science and Technology. 2009;3(5):131-40.
23. Ayotamuno JM, Okparanma RN, Araka PP. Bioaugmentation and composting of oil-field drill-cuttings containing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Journal of Food, Agriculture and Environment. 2009;7(2):658-64.
24. Amezcua-Allieri M, Ávila-Chávez M, Trejo A, Melendez-Estrada J. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil: a comparison between bioremoval and supercritical fluids extraction. Chemosphere. 2012;86(10):985-93.
25. Soltani-Jigheha H, Molamahmood HV, Ebadib T, Soorki AA. Assessment on compression characteristics of oil-bioremediated soil in the vicinity of Tabriz oil refinery. 5th international on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics; 2016; Tehran, Iran.
26. Yan P, Lu M, Guan Y, Zhang W, Zhang Z. Remediation of oil-based drill cuttings through a biosurfactant-based washing followed by a biodegradation treatment. Bioresource Technology. 2011;102(22):10252-59.
27. Okeke P, Obi C. Treatment of oil drill cuttings using thermal desorption technique. ARPN Journal of Systems and Software. 2013;3(7):153-58.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Performance comparison of bioremediation and fixation methods for removing polycyclic aromatic hydrocarbons from oily drilling cuttings by environmental protection approach

Mohamad Amin Daneshfar[1,*], Mehdi Ardjmand[1], Seyed Aboutaleb Mousavi Parsa[2]

1- Department of Chemical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Chemical Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 9 December 2020

Revised: 24 February 2021

Accepted: 1 March 2021

Published: 17 March 2021

Keywords: Bioremediation, Fixation, Oily drilling cuttings, Environment, Polycyclic aromatic hydrocarbon

***Corresponding Author:**

mdaneshfar38@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Improper treatment of PAHs in oily drilling cuttings cause adverse effects on the environment. The present study aimed to investigate the efficiency of two bioremediation and fixation methods for PAHs removal from oily drilling cuttings. The efficiency of the two mentioned methods were analyzed and subsequentelythe more effective one was selected using environmental protection approach.

Materials and Methods: The sampling of oily drilling cuttings at the beginning and end of the treating process was performed for the studied methods, according to standard protocols. The amounts of PAHs, are determined by Soxhlet apparatus and gas chromatography-mass spectrometery.

Results: The results showed that the removal efficiency of PAHs from oily drilling cuttings was 97% (440.3 mg/kg) for bioremediation and 78% (354.7 mg/kg) for the fixation method, respectively. The findings showed that the bioremediation method provides the standard requirements for the discharge of PAHs to the environment.

Conclusion: Bioremediation is more effective than the fixation method for removing PAHs compounds and exhibits higher environmental protection performance.

Please cite this article as: Daneshfar MA, Ardjmand M, Mousavi Parsa SA. Performance comparison of bioremediation and fixation methods for removing polycyclic aromatic hydrocarbons from oily drilling cuttings by environmental protection approach. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):579-88.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-03-11]