



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<sup>۱\*</sup>، مهدی ارجمند<sup>۱</sup>، سیدابوطالب موسوی پارسا<sup>۲</sup>

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: چکیده

**زمینه و هدف:** تصفیه نامناسب ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) کنده‌های حفاری روغنی تأثیرات 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 کنده‌های حفاری روغنی در شروع و پایان فرآیند تصفیه در دو روش مورد استفاده، طبق روش‌های 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 ( $440/3 \text{ mg/kg}$ ) و روش تثبیت ۷۸ درصد ( $354/7 \text{ mg/kg}$ ) است. یافته‌های این بررسی نشان داد که روش زیست پالایی استاندارد مورد نیاز جهت تخلیه ترکیبات PAHs به محیط را تأمین می‌نماید.

**نتیجه‌گیری:** به دلیل 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.

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

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

mdaneshfar38@gmail.com

## مقدمه

کننده‌های 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 ۱ ppm برسد حیوانات کفزی از بین رفته و یا شدیداً تحت تاثیر قرار می‌گیرند. کنده‌های حفاری محتوی هیدروکربن در صورت رها شدن در سطح زمین بر رشد گیاهان اثر می‌گذارند به طوری 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 بر این 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 ایجاد

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 سالانه بین ۸۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰ 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). هم‌اکنون در بیشتر کشورهای جهان به خصوص 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).

کارایی دو روش زیست پالایی و تثبیت در حذف ترکیبات PAHs را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. به عبارت دیگر این پژوهش سعی دارد با استفاده از نتایج به دست آمده از اجرای دو روش در جزایر لاوان و خارک، عملکرد آنها در پاکسازی ترکیبات PAHs را تجزیه و تحلیل نموده و روش مناسب سازگار با محیط زیست در خصوص این ترکیبات را پیشنهاد نماید.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش روش زیست پالایی در جزیره لاوان و روش تثبیت در جزیره خارک به منظور تصفیه کنده‌های حفاری روغنی اجرا شد. در میادین نفت و گاز IOOC به دلیل نوع و عمق سازند (لایه‌های شیلی و مخازن عمیق) از سیالات حفاری پایه روغنی استفاده می‌شود. ترکیب اصلی سیال حفاری مورد استفاده در این میادین، گازوئیل است. کنده‌های حفاری شده با اندازه‌های مختلف از  $2000 - 2 \mu$  بوده که آغشته به ترکیبات نفتی شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلین، نفتالین، فنول، ترکیبات PAHs و غیره است. میزان روغن و رطوبت موجود در کنده‌های حفاری روغنی ورودی به این جزایر به ترتیب  $300000 - 200000$  mg/kg و ۶۵ درصد حجمی است.

#### - روش زیست پالایی

مراحل فرایند زیست پالایی کنده‌های حفاری روغنی در جزیره لاوان به صورت زیر است:

**انتقال کنده‌های حفاری روغنی (مرحله ۱):** کنده‌های روغنی میادین نفت و گاز دریایی درون جعبه‌های مخصوص یا نایلون‌های از جنس نانو تجمیع شده و توسط کشتی به خشکی انتقال داده می‌شوند.

**کاهش رطوبت (مرحله ۲):** کنده‌های حفاری جهت کاهش رطوبت به مدت ۳-۵ روز در معرض آفتاب قرار می‌گیرند.

**استفاده از لرزاننده‌های خشک کن (مرحله ۳):** با استفاده از لرزاننده‌های خشک کن و توری‌های با اندازه

طی سالیان اخیر تحقیقات گوناگونی به منظور پاکسازی ترکیبات PAHs از پسماندهای مختلف انجام شده است. Sayara و همکاران (۲۰۲۰) زیست پالایی خاک‌های آلوده به ترکیبات PAHs را مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج این تحقیق، این فرایند از پتانسیل زیادی برای حذف ترکیبات PAHs برخوردار است (۱۷). Liu و همکاران (۲۰۲۰) زیست پالایی پیرن یکی از ترکیبات PAHs موجود در هیدروکربن‌های نفتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد روش زیست پالایی به دلیل سادگی کاربرد، هزینه کم و اثرات زیست محیطی کم، در حذف پیرن کاربرد زیادی دارد (۱۸). در راستای بررسی عملکرد روش زیست پالایی، Sabeti Mohammadi و همکاران (۲۰۲۰) اقدام به بررسی تجزیه زیستی ترکیبات PAHs نمودند. نتایج نشان داد روش زیست پالایی به طور قابل توجهی در حذف ترکیبات PAHs مؤثر است (۱۹). نتایج مطالعه Gupte و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد، تصفیه ترکیبات PAHs با استفاده از روش زیست پالایی، روشی مؤثر از لحاظ زیست محیطی بوده و مقرون به صرفه است (۲۰). در بررسی انجام شده توسط Chaudhary و همکاران (۲۰۱۱)، زیست پالایی ترکیبات PAHs خاک‌های آلوده به قیر یک پالایشگاه با استفاده از باکتری استرپتومایسس انجام شد. یافته‌های این مطالعه، پتانسیل زیست پالایی در پاکسازی این ترکیبات را تایید کرد (۲۱). مطالعات کمی در خصوص مقایسه عملکرد روش‌های مختلف در تصفیه PAHs کنده‌های حفاری روغنی چاه‌های نفت و گاز در ایران و جهان صورت گرفته است. نوآوری پژوهش حاضر استفاده از روش زیست پالایی در کاربرد عملیاتی نسبت به تحقیقات گذشته در زمینه تصفیه کنده‌های حفاری روغنی به خصوص ترکیبات PAHs است.

تاکنون در مناطق شرکت نفت فلات قاره ایران IOOC مطالعه‌ای در خصوص تصفیه کنده‌های حفاری روغنی با استفاده از زیست پالایی صورت نگرفته است و روش رایج، استفاده از تثبیت بوده است. این پژوهش بر آن است

مش مختلف، روغن و رطوبت کنده‌ها تا حد معینی کاهش می‌یابد.

**اختلاط با خاک دیاتومه (مرحله ۴):** کنده‌های حفاری با دیاتومه مخلوط می‌شوند. با استفاده از قابلیت دیاتومه در جذب روغن، میزان روغن موجود در کنده‌ها کاهش می‌یابد.

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

**تزریق عامل زیست پالایی (مرحله ۶):** پس از تایید آزمایش ریتورت، کنده‌های حفاری به سایت تزریق عامل زیست پالایی وارد می‌شوند. عامل زیست پالایی حاوی سویه‌های باکتریایی، عوامل بیوسورفاکتانت و مواد مغذی جهت تصفیه هیدروکربن‌های پسماند طراحی شده است. بهترین عملکرد بیورمر در حذف مواد هیدروکربنی موجود در کنده‌های حفاری برای استفاده عملیاتی زمانی است که رطوبت زباله حدود ۳۰-۴۰ درصد باشد و دما در ۲۰-۵۰°C کنترل شود. عوامل دیگری مانند pH، مواد مغذی، شوری و غیره نیز بر عملکرد مناسب بیورمر تاثیر می‌گذارند. pH مناسب برای افزایش کارایی بیورمر بین ۶/۵-۹/۵ و شوری ۸۰۰۰۰-۰ mg/kg است.

هر بسته عامل پالایش زیستی با ۱۵۰ gal (مخازن ۵۵ gal - ۳) آب مخلوط می‌شود. این مخلوط در هنگام تیمار ۱۵ yd<sup>3</sup>، موثرترین نتیجه را به همراه خواهد داشت. عامل زیست پالایی درون مخازن تهیه شده و تحت شرایطی که اشاره شد به کنده‌های حفاری تزریق می‌شود.

**کاشت گیاه (مرحله ۷):** به منظور تایید عدم سمیت پسماند، کاشت گیاهان سازگار با آب و هوای منطقه (گیاه وتیور) بر روی کنده‌های تصفیه شده صورت می‌گیرد.

#### - روش تثبیت

مراحل ۱، ۲، ۳ و ۵ فرایند تثبیت کنده‌های حفاری روغنی با استفاده از سیمان، سیلیکات سدیم و برخی مواد شیمیایی در جزیره خارک تقریباً مشابه روش زیست پالایی است. مراحل ۴ و ۶ روش تثبیت عبارتند از:

**تثبیت با سیلیکات سدیم و سیمان (مرحله ۴):** عملیات جامدسازی شامل اختلاط سیلیکات سدیم و سیمان با کنده‌های روغنی است. این فرایند، روغن موجود در کنده‌ها را به صورت کپسول‌های ایزوله محبوس می‌کند و مانع از خارج شدن روغن موجود به محیط می‌شود.

**پایدارسازی کنده‌های حفاری (مرحله ۶):** پس از انجام عملیات تثبیت، زمانی صرف درمان و شکل‌گیری قالب جدید برای کنده‌های حفاری می‌شود. کنده‌ها پس از انجام آزمایشات به مکان‌های دفن در نظر گرفته شده انتقال می‌یابند.

در این تحقیق حد مجاز تخلیه ترکیبات PAHs جهت حفظ محیط زیست از استانداردهای سازمان محیط زیست استخراج شد. عملیات نمونه برداری از کنده‌های حفاری با استفاده از دستکش و بیلچه استریل شده از پسماند سطحی در عمق ۱۵°C - ۰ به روش مرکب انجام و نمونه‌ها در فائل‌های استریل به آزمایشگاه منتقل و تا زمان انجام آزمایش در دمای ۲۰°C - نگهداری شد. علیرغم اینکه ویژگی کنده‌های حفاری ورودی به جزایر لاوان و خارک یکسان است جهت اطمینان بیشتر، عملیات نمونه برداری در ۴ جهت مختصات جغرافیایی از کنده‌های حفاری اولیه و مرکز کنده‌ها در آبان ماه ۱۳۹۸ در دمای حدود ۳۵°C انجام شد. همچنین نمونه برداری پس از ۳ ماه از اجرای دو روش زیست پالایی و تثبیت به همین طریق در بهمن ماه ۱۳۹۸ در دمای حدود ۲۳°C صورت پذیرفت. جهت انجام آزمایش بافت پسماند و بار مواد آلی، نمونه‌ها در ظرف پتری دیش ریخته شد و درون آون با دمای ۶۰°C به مدت ۲ روز قرار گرفت. پس از خشک شدن، نمونه‌ها توسط الک ۲ mm الک شدند و بر روی کلیه آنها با ۳ بار تکرار، آزمایش‌هایی برای اندازه‌گیری مقادیر PAHs انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان PAHs در نمونه‌ها، ابتدا ترکیبات به وسیله عملیات استخراج با حلال دی کرومتان به مدت ۱۲ h توسط دستگاه سوکسله انجام شد. نمونه‌ها طی دو مرحله با سولفات سدیم و مس احیا شده

گروه دو حلقه‌ای ( $14/1 \text{ mg/kg}$ ) است. حذف اجزاء PAHs با استفاده از روش‌های زیست‌پالایی و تثبیت تغییرات قابل توجهی داشته که در نمودار ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است میزان حذف PAHs کنده‌ها در روش زیست‌پالایی بهتر از روش تثبیت بوده است به طوری که روش زیست‌پالایی ۹۷ درصد و روش تثبیت ۷۸ درصد PAHs موجود در کنده‌های حفاری روغنی را پاکسازی نموده است. طبق نتایج با استفاده از روش زیست‌پالایی، 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 زیست‌پالایی در حذف ترکیبات PAHs مطابق با استاندارد سازمان محیط زیست ( $29/4 \text{ mg/kg}$ ) و حتی بهتر از آن ( $11 \text{ mg/kg}$ ) بوده است در حالی که روش تثبیت ( $96/3 \text{ mg/kg}$ ) این استاندارد را تامین نمی‌نماید. در هیچ کدام از دو روش زیست‌پالایی و تثبیت پاکسازی کامل ترکیبات PAHs حاصل نشده است که نشان دهنده عدم کارایی ۱۰۰ درصدی روش‌های مذکور در تصفیه کنده‌های حفاری روغنی است.

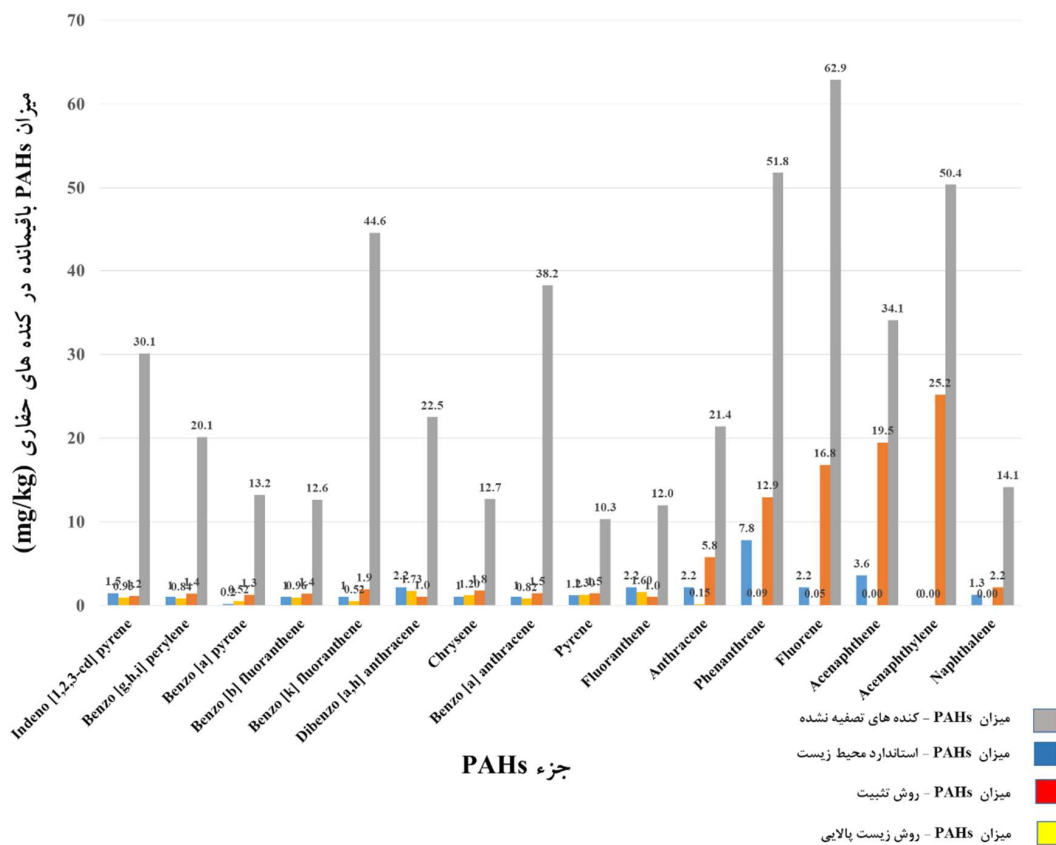
### بحث

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 در خصوص مقایسه روش‌های مختلف حذف ترکیبات PAHs از کنده‌های حفاری روغنی در مجامع علمی

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 - 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 به دست 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 مجدداً 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 - 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 زیست‌پالایی و روش تثبیت در نمودار ۱ آورده شده‌اند. میزان کل ترکیبات PAHs موجود در کنده‌های حفاری روغنی تصفیه نشده ( $451 \text{ mg/kg}$ ) از حد مجاز تخلیه به محیط براساس استانداردهای سازمان محیط زیست ( $29/4 \text{ mg/kg}$ ) بیشتر است. بنابراین تخلیه این پسماند به محیط بدون تصفیه مناسب، نایمن است. بیشترین و کمترین جزء آروماتیک در PAHs مربوط به فلورن ( $62/9 \text{ mg/kg}$ ) و پیرن ( $10/3 \text{ mg/kg}$ ) است. براساس نتایج، بیشترین و کمترین مقدار گروه‌های PAHs در کنده‌های حفاری روغنی مربوط به گروه سه حلقه‌ای ( $220/5 \text{ mg/kg}$ ) و



نمودار ۱- مقایسه میزان PAHs کنده های حفاری روغنی در حالت های مختلف

حلقه های با نتایج مطالعه حاضر شباهت دارد. در مطالعه انجام شده توسط Ayotamuno و همکاران (۲۰۰۹) روش های کمپوست و زیست پالایی در حذف ترکیبات PAHs از کنده های حفاری روغنی مقایسه شدند. براساس این تحقیق، عملکرد روش زیست پالایی در حذف ترکیبات PAHs کنده های حفاری در مقایسه با کمپوست بهتر است. میزان کل ترکیبات PAHs کنده های 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 حلقه ای در پایان دوره روش زیست پالایی در مطالعه مذکور با نتایج مطالعه حاضر تقریباً مشابه است، به طوری که بخش اعظم این آروماتیک ها پاکسازی شدند. در تحقیق Amezcua Allieri و همکاران (۲۰۱۲) روش های زیست پالایی و استخراج فوق بحرانی در حذف

صورت گرفته است. اکثر مطالعات در زمینه حذف ترکیبات PAHs کنده های حفاری، با استفاده از زیست پالایی صورت گرفته است و نتایج در خصوص بکارگیری روش تثبیت ارائه نشده است.

روش زیست پالایی جهت پاکسازی ترکیبات PAHs کنده های حفاری روغنی با استفاده از باکتری های ایزوله شده توسط Okparanma و همکاران (۲۰۱۱) مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج، بخش زیادی از اجزاء مختلف PAHs به خصوص آروماتیک های ۲ و ۳ حلقه ای پس از پایان دوره زمانی ۶ هفته ای 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 آروماتیک های ۲ و ۳

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 به دست آمده از این تحقیق تطابق استانداردهای مورد نیاز محیط زیست در خصوص 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 صورتی که مسائل زیست محیطی برای دست اندرکاران در اولویت باشند می‌توان از این موارد چشم پوشی کرد. طبق نتایج به دست 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 صورتی که 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

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  $75 \text{ mg/kg}$  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، تقریباً 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  $85000 \text{ mg/kg}$  به حدود  $12600 \text{ mg/kg}$  کاهش یافت (۲۶). Okeke و همکاران (۲۰۱۳) روش حرارتی جذبی را جهت تصفیه کنده‌های حفاری روغنی به کار 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 در خصوص 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  $10000 \text{ mg/kg}$  باشد. برای ترکیبات PAHs پسماند، حد مجاز تخلیه جهت حفظ محیط زیست  $29/4 \text{ mg/kg}$  است. نتایج آزمایشگاهی مطالعه حاضر نشان داد پاکسازی

زیست نسبت به روش تثبیت است. پایداری طولانی مدت کنده‌های حفاری به دلیل پاکسازی دائمی ترکیبات PAHs در روش زیست پالایی، این روش را نسبت به روش تثبیت برتر می‌نماید. طبق نتایج این پژوهش، پاکسازی ۹۷ درصدی ترکیبات PAHs از کنده‌های حفاری روغنی و تامین استانداردهای مورد نیاز سازمان محیط زیست با روش زیست پالایی حاصل شده است. بایستی توجه داشت تکنولوژی‌های جدیدتر از جمله روش حرارتی در تصفیه کنده‌های حفاری روغنی در کشورهای پیشرفته به کار گرفته شده است که می‌تواند مورد بررسی محققان قرار گیرد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بومی سازی مدل بهینه مدیریت پسماند حفاری مناطق عملیاتی IOOC" در مقطع دکترا مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب به شماره ثبت ۹۰۰۰۲۱۱ مورخ ۲۹-۱۰-۱۳۹۵ است.

### References

- 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.
- 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.
- 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.
- Nwinee SA. Sustainable treatment of oil contaminated waste: oil-based mud (OBM) drill cuttings and soil [dissertation]. UK: Robert Gordon University; 2018.
- 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.
- 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).

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.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>  
Original Article



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

Mohamad Amin Daneshfar<sup>1\*</sup>, Mehdi Ardjmand<sup>1</sup>, Seyed Aboutaleb Mousavi Parsa<sup>2</sup>

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

### 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 subsequently the 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 spectrometry.

**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.

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

\*Corresponding Author:  
mdaneshfar38@gmail.com

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.

