



مدیریت و بازیابی لجن نفتی: روش‌ها، چالش‌ها و اثرات زیست‌محیطی

مؤلفین:

دکتر محمد کامرانی‌فر

(دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)

دکتر کریم ابراهیم‌پور

(دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)

مهندس سعید غلامی

(کارشناس ارشد HSE شرکت پالایش نفت امام خمینی (ره) شازند)



نشر دانشگاهی فرهنگد

نام کتاب : مدیریت و بازیابی لجن نفتی : روش ها ، چالش ها و اثرات زیست محیطی
مولفان : دکتر محمد کامرانی فر ، دکتر کریم ابراهیم پور ، مهندس سعید غلامی

سال و نوبت چاپ: اول ۱۴۰۴

شمارگان : ۵۰۰

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۳۹-۷

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهنگد محفوظ می باشد

برای خرید مستقیم به سایت مراجعه فرمایید

www.farbook.ir

Gmail: farbook.pub@gmail.com

تهران، خیابان انقلاب، روبروی در اصلی دانشگاه تهران، پاساژ فروزنده، طبقه اول، واحد ۴۱۹

تلفن : ۶۶۴۱۰۶۸۸-۶۶۹۶۸۶۱۴

سرشناسه	: کامرانی فر، محمد، ۱۳۷۰-
عنوان و نام پدیدآور	: مدیریت و بازیابی لجن نفتی: روش ها، چالش ها و اثرات زیست محیطی/مولفین محمد کامرانی فر، کریم ابراهیم پور، سعید غلامی.
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فرهنگد، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۸۰ ص. مصور (بخشی رنگی).
شابک	: 978-622-4980-39-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: نفت -- مواد زاید -- مدیریت Petroleum waste -- Management نفت -- مواد زاید -- تصفیه Petroleum waste -- Purification نفت -- مواد زاید -- بازیافت Petroleum waste -- Recycling نفت -- مواد زاید -- جنبه های زیست محیطی Petroleum waste -- Environmental aspects نفت -- نشت -- جنبه های زیست محیطی Oil spills -- Environmental aspects
شناسه افزوده	: ابراهیم پور، کریم، ۱۳۵۵-
شناسه افزوده	: -Ebrahimpour, Karim, 1976
شناسه افزوده	: غلامی، سعید، ۱۳۶۵ شهرپور-
رده بندی کنگره	: TD۸۰۰
رده بندی دیویی	: ۶۶۵/۵۳۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۳۲۱۵۶۲
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

سخن مؤلفین:

صنعت نفت یکی از بزرگ‌ترین ارکان اقتصادی جهان است، اما در کنار مزایای اقتصادی و صنعتی، چالش‌های زیست‌محیطی بسیاری را نیز به همراه دارد. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، مدیریت صحیح لجن نفتی است؛ پسماندی پیچیده و آلاینده که در صورت عدم مدیریت اصولی، می‌تواند اثرات مخربی بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشد.

در این کتاب، تلاش شده است تا با نگاهی جامع و علمی، روش‌های مدیریت، بازیابی و دفع لجن نفتی بررسی شود. رویکردهای نوین، چالش‌های موجود و پیامدهای زیست‌محیطی این پسماند از دیدگاه علمی تحلیل شده‌اند تا راهکاری پایدار برای کاهش اثرات مخرب آن ارائه شود.

امیدواریم این اثر بتواند راهنمای مفیدی برای پژوهشگران، دانشجویان و متخصصان حوزه محیط‌زیست و صنایع نفت و گاز باشد و در مسیر توسعه پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی گامی مؤثر بردارد.

دکتر محمد کامرانی‌فر

دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط

دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

دکتر کریم ابراهیم‌پور

دانشیار سم‌شناسی پزشکی و عضو هیئت علمی

دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

مهندس سعید غلامی

کارشناس ارشد HSE

شرکت پالایش نفت امام خمینی (ره) شازند

فهرست مطالب

عنوانصفحه

فصل ۱: هیدروکربن‌های نفتی: معرفی و ویژگی‌ها

مقدمه ۷

معرفی هیدروکربن‌های نفتی ۹

فصل ۲: مشخصات و منابع تولید لجن نفتی

کلیات ۱۳

مشخصات لجن نفتی ۱۳

منابع تولید لجن نفتی ۱۵

فصل ۳: سمیت لجن نفتی: اثرات بر سلامت انسان و محیط زیست

کلیات ۱۹

سمیت لجن نفتی، اثرات بر سلامت انسان و محیط‌زیست ۱۹

فصل ۴: مروری بر روش‌های تصفیه، بازیابی و دفع لجن نفتی

کلیات ۲۳

مرحله اول: کاهش تولید لجن نفتی ۲۴

مرحله دوم: بازیابی سوخت‌های باارزش از لجن نفتی ۲۴

مرحله سوم: دفع باقی‌مانده‌های غیرقابل‌بازیافت ۲۴

فصل ۵: روش‌های تصفیه و بازیابی لجن نفتی

کلیات ۲۷

استخراج با حلال ۲۷

سانتریفیوژ ۲۹

استفاده از سورفکتانت ۳۱

انجماد/ذوب ۳۲

پیرولیز ۳۳

تابش مایکروویو ۳۶

الکتروکینتیک ۳۸

تابش اولتراسونیک ۴۰

شناورسازی ۴۲

پلاسمای حرارتی ۴۳

فصل ۶: روش های دفع لجن نفتی

۴۹	 کلیات
۴۹	 سوزاندن
۵۲	 تثبیت/جامدسازی
۵۳	 فرایندهای اکسیداسیون
۵۵	 زیست پالایی
۵۵	 توده سازی/کمپوست سازی
۵۷	 دوغاب زیستی
۵۸	 تصفیه زمینی
۵۸	 پالایش خاکی
۶۰	 دفن ایمن
۶۱	 گیاه پالایی

فصل ۷: عوامل مؤثر بر تجزیه زیستی هیدروکربن های نفتی

۷۱	 کلیات
۷۲	 دما
۷۲	 اکسیژن
۷۳	 مواد مغذی
۷۴	 شوری
۷۴	 pH
۷۵	 میزان آب در دسترس
۷۵	 اجتماع میکروبی
۷۵	 زیست دسترس پذیری
۷۶	 سمیت محصولات نهایی

فصل ۱: هیدروکربن های نفتی: معرفی و ویژگی ها

مقدمه

در کشورهای دارای توسعه پایدار زیست محیطی، مدیریت پسماند یکی از الزامات مهم به شمار می آید. فناوری های مدیریت پسماند عنصری حیاتی در عملیات اکتشاف و تولید کارآمد در صنعت نفت است. در بین پسماندهای مختلف، لجن نفتی (مانند خاک آلوده به هیدروکربن، لجن کف مخازن، لجن های رها شده در حوضچه های زمینی و دفن شده) بیشترین پسماند در فرایندهای مختلف صنعت نفتی بوده است. در صنایع نفتی، حجم قابل توجهی لجن نفتی در طول فرایندهای اکتشاف، تولید، حمل و نقل، ذخیره سازی و پالایش نفت خام تولید می شود. به ویژه، لجن تولید شده در طی فرایند پالایش نفت در سال های اخیر توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. لجن نفتی یک امولسیون پیچیده از انواع هیدروکربن های نفتی (PHCs)^۱ و سایر ترکیبات مقاوم است. از آنجایی که لجن نفتی به عنوان یک زباله خطرناک در بسیاری از کشورها شناخته می شود، دفع نامناسب یا تصفیه ناکافی آن می تواند تهدیدات جدی برای محیط زیست و سلامت انسان ایجاد کند؛ بنابراین، این لجن نیازمند رسیدگی دقیق، تصفیه و دفع مناسب است.

در اکثر کشورهای کمتر توسعه یافته، لجن نفتی تولید شده به عنوان یکی از جدی ترین مشکلات زیست محیطی به شمار می آید که تأثیرات منفی بر سلامت انسان ها دارد؛ بنابراین، دفع ایمن این پسماندها یک مشکل جدی است و تلاش بیشتری برای توسعه استراتژی هایی جهت حل این مشکلات مورد نیاز است. تخمین زده شده است که از هر ۵۰۰ تن نفت خام پالایش شده، یک تن لجن نفتی تولید می شود. پالایشگاه های نفتی که بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ بشکه نفت در روز فرآوری می کنند، سالانه تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب لجن در مخازن تولید می کنند. در بسیاری از کشورهای کمتر توسعه یافته، حجم زیادی از لجن نفتی که در پالایشگاه های نفت تولید می شود، در حوضچه های سطحی تخلیه می شود و مشکلات جدی زیست محیطی و خطراتی برای سلامت انسان ها ایجاد می کند. از طرف دیگر به دلیل افزایش مقادیر تولید لجن نفتی در سراسر جهان، ماهیت خطرناک و سمی بودن، همچنین تأثیرات زیست محیطی مخرب آن، تحقیقات جهت معرفی روش های تصفیه مناسب لجن نفتی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در این میان، فرآیندهای اصلاح زیستی به دلیل سازگاری با جامعه، طراحی ساده تر، هزینه کمتر و سازگاری بیشتر با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته اند. لجن نفتی در حال حاضر با استفاده از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی تصفیه می شود. بسیاری از این فناوری ها هزینه بر هستند یا منجر به

^۱ Petroleum hydrocarbons

پاکسازی کامل آلودگی نمی‌شوند. در مقابل، روش‌های زیستی (زیست‌پالایی) به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌ها برای مقابله با طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های آلی، به ویژه هیدروکربن‌های نفتی شناخته می‌شوند.

زیست‌پالایی شامل تبدیل، تجزیه یا تغییر آلاینده‌های آلی توسط میکروارگانیسم‌ها (باکتری‌ها و قارچ‌ها)، گیاهان یا متابولیت‌های آنها، مانند آنزیم‌ها، برای سم‌زدایی از آلاینده‌های محیط‌زیستی است. این فرآیند شامل معدنی‌سازی کامل یا جزئی خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی می‌شود. تکنیک‌های زیست‌پالایی بر اساس محل اجرای عملیات، به دو دسته خارج از محل^۱ و در محل^۲ تقسیم می‌شوند. از جمله روش‌های زیست‌پالایی خارج از محل می‌توان به توده‌کردن^۳، بیورآکتورها^۴، کمپوست‌سازی^۵ و پالایش خاکی^۶ اشاره کرد. از سوی دیگر، تکنیک‌های زیست‌پالایی در محل شامل کاهش طبیعی^۷، تهویه‌زیستی^۸، تحریک زیستی (افزودن ترکیبات تقویت‌کننده رشد میکروبی)^۹، تقویت‌زیستی (افزودن تلقیح میکروبی)^{۱۰} و گیاه‌پالایی^{۱۱} است. تکنیک‌های زیست‌پالایی به‌ویژه زمانی که به‌صورت در محل اعمال می‌شوند، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست هستند.

گیاه‌پالایی یک فرایند زیستی و مقرون‌به‌صرفه است که از گیاهان برای حذف و تجزیه آلاینده‌ها، از جمله فلزات سنگین، ترکیبات نفتی و سایر مواد سمی آلی از خاک‌های آلوده استفاده می‌کند. این فناوری بر اساس تعامل فعالیت‌های گیاهی و جامعه میکروبی برای تغذیه، انتقال، غیرفعال‌سازی و تثبیت آلاینده‌های خاک استوار است. گیاه‌پالایی می‌تواند از طریق پنج فرایند

^۱ Ex situ

^۲ In situ

^۳ Piles

^۴ Bioreactors

^۵ Composting

^۶ Land farming

^۷ Natural attenuation

^۸ Bioventing

^۹ Biostimulation

^{۱۰} Bioaugmentation

^{۱۱} Phytoremediation

مختلف به حذف آلاینده ها کمک کند: تثبیت گیاهی^۱، استخراج گیاهی^۲، تجزیه گیاهی^۳، فیلتراسیون ریشه ای^۴ و تبخیر گیاهی^۵. این تکنیک علاوه بر جلب پذیرش عمومی، یک رویکرد نوآورانه و پایدار است که به ویژه برای کشورهای در حال توسعه هم مناسب و هم از نظر اقتصادی به صرفه است.

معرفی هیدروکربن های نفتی

هیدروکربن های نفتی به طور طبیعی در مقادیر زیاد وجود دارند و مخلوط های پیچیده و ناهمگنی هستند که عمدتاً شامل هیدروکربن ها و مقادیر قابل توجهی نیتروژن، اکسیژن، گوگرد و مقادیر کمی فلزات هستند. این ترکیبات به اشکال مختلف مانند جامد، مایع و گازی وجود دارند. بسته به منبع، نفت خام شامل ۸۲ تا ۸۵ درصد کربن، ۱۰ تا ۱۴ درصد هیدروژن، ۰/۱ تا ۷ درصد گوگرد، ۰/۰۲ تا ۲ درصد نیتروژن و ۰/۱ تا ۱ درصد اکسیژن است. ترکیب نفت را می توان به نفت سبک (با چگالی ۰/۶۵ تا ۰/۸۷ گرم بر سانتی متر مکعب)، متوسط (با چگالی ۰/۸۷ تا ۰/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب) یا سنگین (با چگالی ۰/۹۱ تا ۱/۰۵ گرم بر سانتی متر مکعب) طبقه بندی کرد. تأثیر نفت های سبک بر گیاهان قوی تر از نفت های سنگین است. بخش های سبک هیدروکربن های نفتی به سرعت توسط فعالیت های میکروبی تجزیه می شوند؛ با این حال، بخش های سنگین هیدروکربن ها که به خاک وارد می شوند به سختی تجزیه می شوند و اثرات منفی بر اکوسیستم و تمام موجودات زنده دارند.

همان گونه که ذکر شد، ترکیبات هیدروکربن های نفتی شامل عناصری تقریباً به طور کامل از کربن (C) و هیدروژن (H) هستند. این ترکیبات به عنوان اجزای مجزا در نظر گرفته نمی شوند، بلکه به طور پیوسته ای در یک بازه وسیع بر اساس وزن مولکولی هر هیدروکربن دسته بندی می شوند. بنزین، سوخت دیزل و محصولات مشابه، حاوی صدها و گاهی هزاران نوع مختلف از هیدروکربن های نفتی هستند. این ترکیبات بر اساس تقسیم بندی دیگری، به چهار گروه ساختاری اصلی تقسیم می شوند:

۱. آلکان ها (پارافین ها)^۶: این هیدروکربن ها اشباع شده هستند، به این معنی که هر اتم

^۱ Phytostabilization

^۲ Phytoextraction

^۳ Phytodegradation

^۴ Rhizofiltration

^۵ Phytovolatilization

^۶ Alkanes (or paraffins)

کربن با چهار پیوند ساده به اتم های هیدروژن و سایر اتم های کربن متصل است. آلکان ها همچنین هیدروکربن های آلیفاتیک محسوب شده، به این معنی که اتم های کربن در آن ها به شکل زنجیره های خطی یا شاخه دار به هم پیوسته اند. از مثال های این گروه می توان به هگزان، هپتان، اکتان و دکان اشاره کرد.

۲. **سیکلو آلکان ها (نفتالن ها)**^۱: این هیدروکربن ها نیز اشباع شده هستند و با ساختار حلقوی خود شناخته می شوند. متیل سیکلوپنتان^۲ و اتیل سیکلو-پ-هگزان^۳ از جمله مثال های این دسته هستند.

۳. **آلکن ها (اولفین ها)**^۴: هیدروکربن های این گروه غیراشباع اند، به این معنی که حداقل دو اتم کربن در این ترکیبات با بیش از یک پیوند کووالانسی به هم متصل شده اند و همچنین آلیفاتیک هستند. اتن و پروپن نمونه هایی از این گروه محسوب می شوند.

۴. **آرن ها (آروماتیک ها)**^۵: تمامی ترکیبات این گروه حداقل دارای یک حلقه بنزنی هستند. بنزن، تولوئن، اتیلن و زایلن (معروف به BTEX)^۶ از جمله ترکیبات این گروه هستند. ترکیباتی از این گروه که سه یا بیشتر از سه حلقه بسته دارند، به عنوان هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs)^۷ شناخته می شوند. فنانترن و پیرن از مثال های این گروه هستند.

این تقسیم بندی به شناخت بهتر از ساختار و ویژگی های متفاوت هیدروکربن های نفتی کمک می کند (شکل ۱-۱).

^۱ Cycloalkanes (or naphthalenes)

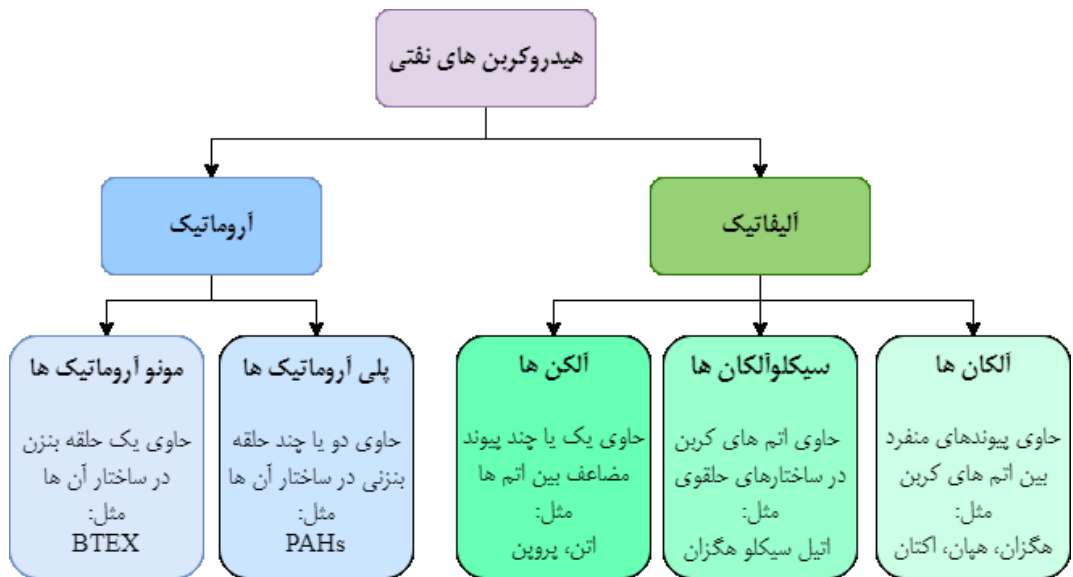
^۲ Methylcyclopentane

^۳ Ethylcyclo-p-hexan

^۴ Alkenes (or olefins)

^۵ Arenes (or aromatics)

^۶ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes



شکل ۱-۱ انواع هیدروکربن های نفتی

منابع:

۱. El Mahdi AM, Aziz HA, Eqab ES, editors. Review on innovative techniques in oil sludge bioremediation. AIP Conference Proceedings; ۲۰۱۷: AIP Publishing.
۲. Hu G, Li J, Zeng G. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review. Journal of hazardous materials. ۲۰۱۳;۲۶۱:۴۷۰-۹۰.
۳. Ubani O, Atagana H, Thantsha MS. Biological degradation of oil sludge: A review of the current state of development. African Journal of Biotechnology. ۲۰۱۳;۱۲(۴۷):۶۵۴۴-۶۷.
۴. Puyol D, Batstone DJ, Hülsen T, Astals S, Peces M, Krömer JO. Resource recovery from wastewater by biological technologies: opportunities, challenges, and prospects. Frontiers in microbiology. ۲۰۱۷;۷:۲۱۰۶.
۵. Cerqueira VS, Hollenbach EB, Maboni F, Vainstein MH, Camargo FA, Maria do Carmo RP, et al. Biodegradation potential of oily sludge by pure and mixed bacterial cultures. Bioresource technology. ۲۰۱۱;۱۰۲(۲۳):۱۱۰۰۳-۱۰.
۶. Kriti Singh KS, Subhash Chandra SC. Treatment of petroleum hydrocarbon polluted environment through bioremediation: a review. Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBBS ۲۰۱۴;۱۷:۱-۸.
۷. Liu W, Luo Y, Teng Y, Li Z, Christie P. Prepared bed bioremediation of oily sludge in an oilfield in northern China. Journal of Hazardous Materials. ۲۰۰۹;۱۶۱(۱):۴۷۹-۸۴.
۸. Huang Y, Pan H, Wang Q, Ge Y, Liu W, Christie P. Enrichment of the soil microbial community in the bioremediation of a petroleum-contaminated soil amended with rice straw or sawdust. Chemosphere. ۲۰۱۹;۲۲۴:۲۶۵-۷۱.
۹. Chaudhary DK, Kim J. New insights into bioremediation strategies for oil-contaminated soil in cold environments. International Biodeterioration & Biodegradation. ۲۰۱۹;۱۴۲:۵۸-۷۲.
۱۰. Nemati B, Baneshi MM, Akbari H, Dehghani R, Mostafaii G. Phytoremediation of pollutants in oil-contaminated soils by *Alhagi camelorum*: evaluation and modeling. Scientific Reports. ۲۰۲۴;۱۴(۱):۵۵۰۲.
۱۱. Kebede G, Tafese T, Abda EM, Kamaraj M, Assefa F. Factors influencing the bacterial bioremediation of hydrocarbon contaminants in the soil: mechanisms and impacts. Journal of Chemistry. ۲۰۲۱;۲۰۲۱(۱):۹۸۲۳۳۶۲.
۱۲. Stepanova AY, Gladkov EA, Osipova ES, Gladkova OV, Tereshonok DV. Bioremediation of soil from petroleum contamination. Processes. ۲۰۲۲;۱۰(۶):۱۲۲۴.
۱۳. Ite AE, Ibok UJ. Role of plants and microbes in bioremediation of petroleum hydrocarbons contaminated soils. International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation. ۲۰۱۹;۷(۱):۱-۱۹.
۱۴. Kuppusamy S, Maddela NR, Megharaj M, Venkateswarlu K. Total petroleum hydrocarbons. Environ Fate Toxic Remediat. ۲۰۲۰.