Assessing the Impact of Petroleum Pollutants on the Physical Properties of Mangrove Forest Sediments

Shaghayegh Amiri Tavassoli[a], Navazollah Moradi[b,*], Ommolbanin Bazrafshan[c]
[a] *M.S Student, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.*
[b] *Assistant professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.*
[c] *Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2024/11/22 Accepted: 2024/12/3)

Extended abstract

1- Introduction

Crude oil and its derivatives represent one of the most significant sources of fuel on a global scale. With continuous industrial advancements, the production and consumption of these resources are increasing daily worldwide. However, this escalating demand has led to substantial soil contamination, adversely influencing environmental quality and human health. The pollution attributed to petroleum hydrocarbons poses a grave threat to the well-being of all living organisms across the planet. Environmental degradation resulting from petroleum spills profoundly impacts soil ecosystems, increases hydrophobicity, diminishes water accessibility, and directly contaminates flora and microorganisms. Excessive contamination from point sources impairs soil functionality, disrupts plant growth and microbial activity, and results in enduring ecological repercussions.

Mangrove forests are critical ecosystems that harbor vast biodiversity, both aquatic and terrestrial, and are particularly vulnerable to pollution. Oil contaminants jeopardize the integrity of these ecosystems and instigate adverse alterations. Factors contributing to oil pollution along coastlines include oil tanker operations and fuel smuggling. Therefore, it is imperative to examine the impacts of oil substances on coastal soil. This study explores the ramifications of kerosene and diesel hydrocarbon pollutants on the physical characteristics of sediments from mangrove forest coastlines.

2- Methodology

To investigate the effects of petroleum pollutants on soil, samples were taken from the surface layer (0-10 cm) of coastal sediments in the mangrove forest of the Kulgan area in Bandar Abbas. Samples were placed in plastic containers with a capacity of 3 kg, air-dried, and homogenized. Following a completely randomized design, samples were contaminated with kerosene, diesel, and oil compounds at three concentrations (0%, 4%, and 8% w/v) in triplicate. The samples were kept in a soil and water laboratory at a temperature of 18-25°C for 10 days under field capacity to 50% field capacity in dry and wet conditions to stabilize the soil conditions. After a ten-day rest period, samples were slowly taken from the respective treatments with minimal disturbance, air-dried, and several physical parameters of the soil were investigated. Statistical analysis and comparison of data averages were conducted using a one-way analysis of variance and Duncan's test with SPSS16 software at the 5% significance level.

* **Corresponding Author: nvz.moradi@hormozgan.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

3- Results

The findings from the one-way variance analysis revealed statistically significant effects of petroleum contaminants on specific physical parameters at the 1% level across all experimental treatments. Metrics such as MWDwet, MWDdry, turbidity height, clay and silt dispersion percentages in water, the percentage of aggregate destruction (PAD), and bulk density were significantly affected compared to the control treatment. The comparison of averages indicated that both concentrations of kerosene significantly increased the MWDdry value compared to the control and diesel treatments (4% and 8%). Simultaneously, the bulk density (BD) and turbidity height of the soil solution decreased with increases in MWDdry, AS, and PAD. Diesel treatments exhibited positive trends in MWDwet, MWDdry, and AS properties, while parameters such as clay and silt dispersion percentages, BD, turbidity height, and PAD showed negative trends compared to the control. The minimum recorded PAD was 4% for diesel, while the maximum PAD was 4% for kerosene.

4- Discussion & Conclusions

This research demonstrates that both kerosene and diesel oil pollutants significantly affect the physical properties of mangrove forest soils, with notable differences in their impacts. Both pollutants penetrated the soil, causing particle separation, increased pore spaces, and increased total soil volume due to their hydrophobic properties, leading to decreased BD. Kerosene and diesel, having low water solubility, formed complexes with soil mineral particles, helping stabilize soil structure and reducing the dispersion of clay and silt in wet conditions. Both types of oil pollution caused a decrease in turbidity height; however, diesel treatments resulted in more suspended soil particles compared to kerosene. This is due to diesel's higher viscosity and slower flow rate, which delayed the settling of suspended particles and increased turbidity. Kerosene showed a higher percentage of soil degradation than diesel because its shorter hydrocarbon chains break down faster, resulting in more destructive effects on the soil. In conclusion, kerosene has more detrimental effects on the physical characteristics of mangrove forest sediments than diesel. The observed changes in BD, AS, soil solution turbidity, and PAD underline the impact of kerosene and diesel. These findings enhance our understanding of oil pollution's effects on coastal soils and suggest appropriate management strategies to mitigate these impacts. This study highlights the need for further research into the long-term effects of petroleum hydrocarbons on soil health and ecosystem stability. Future research should investigate the biochemical pathways through which these hydrocarbons interact with soil constituents and the potential for remediation strategies to restore affected soils. Understanding the precise mechanisms of pollutant-soil interactions will be critical for developing effective mitigation and rehabilitation techniques to protect mangrove forests and similar ecosystems from ongoing and future petroleum contamination.

Key Words: Soil Degradation, diesel, stability, Contamination. Soil Health

Cite this article: Amiri Tavassoli, S., Moradi, N., & Bazrafshan, O. (2025). Assessing the Impact of Petroleum Pollutants on the Physical Properties of Mangrove Forest Sediments. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2025; 14 (4) :80-95*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

بررسی تأثیر آلاینده‌های نفتی بر ویژگی‌های فیزیکی رسوبات جنگل حرا

شقایق امیری توسلی: *دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی ، دانشکدهٔ کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران*
نوازاله مرادی *: *استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران،*
ام‌البنین بذرافشان: *استاد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران،*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳)
DOI: http//doi.org/

چکیده

نفت خام و مشتقات آن به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع سوخت در سطح جهانی شناخته شده که تقاضای فزاینده آن منجر به آلودگی شدید خاک شده که کیفیت محیط زیست و سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اکوسیستم جنگل‌های حرا دارای تنوع زیستی گسترده‌ای است که در برابر آلودگی آسیب‌پذیر بوده آلودگی‌های نفتی یکی از آلاینده‌هایی است که سلامت خاک سواحل به خطر انداخته است. با توجه به عوامل آلوده کننده در سواحل این مطالعه به بررسی تأثیرات آلاینده‌های هیدروکربنی نفت سفید و گازوئیل بر ویژگی‌های فیزیکی خاک سواحل جنگل‌های حرا پرداخته است. به منظور بررسی تأثیر آلاینده‌های نفتی بر خاک، از لایه سطحی (۰-۱۰ سانتی‌متر) رسوبات ساحلی جنگل حرا نمونه برداری شد. و پس از هوا خشک شدن به صورت طرح کاملاً تصادفی با نفت سفید، گازوئیل در سه غلظت (۰، ۴ و ۸ درصد وزنی و حجمی) به صورت جداگانه و در سه تکرار آلوده شدند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داده که آلاینده‌های نفتی بر پارامترهای فیزیکی خاک مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشته‌اند. در این پژوهش، مشاهده شد که در حضور نفت سفید، پارامترهای MWD_{wet}، درصد پراکنش سیلت و رس، BD و ارتفاع کدورت سنجی محلول روند کاهشی و پارامترهای MWD_{dry}، AS و PAD روند افزایشی نسبت به شاهد داشته‌اند. همچنین، در سطوح مختلف گازوئیل، ویژگی‌های MWD_{wet} و AS روند افزایشی و پارامترهای درصد پراکنش رس و سیلت، BD ، ارتفاع کدورت‌سنجی و PAD روند کاهشی نسبت به تیمار شاهد داشته‌اند. کمترین PAD مربوط به تیمار گازوئیل ۴ درصد و بیشترین آن مربوط به نفت سفید ۴ درصد بود. نفت سفید تخریب بیشتری نسبت به گازوئیل بر رسوبات جنگل حرا داشته است. این یافته‌ها به درک بهتر اثرات آلودگی نفتی بر خاک‌های ساحلی کمک کرده و پیشنهاداتی برای راهبردهای مدیریتی مناسب برای کاهش این اثرات ارائه می‌دهند.

واژگان کلیدی: تخریب خاک، گازوئیل، پایداری، آلودگی، سلامت خاک

* نویسندهٔ مسئول: nvz.moradi@hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

۱ـ مقدمه

نفت خام و مشتقات آن یکی از مهمترین منابع سوخت در مقیاس جهانی است. همزمان با پیشرفتهای صنعتی، تولید و مصرف این منابع در سراسر جهان روزانه در حال افزایش است. طبق نظر کارپوف (۲۰۱۳) از بیش از دو میلیارد تن نفت استخراج شده سالانه حدود ۲ درصد آن معادل ۴۵ تا ۵۰ میلیون تن سبب آلودگی محیط زیست شده است (Jabbarov et al, 2019). از طرفی افزایش تقاضای نفت منجر به آلودگی جدی خاک شده که به طور چشمگیری بر کیفیت محیط زیست و سلامت انسان اثر گذار است (Song et al, 2021). اجزای سرطان‌زای هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای موجود در نفت، پس از آلوده کردن منابع آب و خاک به طور مستقیم، زندگی و سلامت انسان را به خطر می‌اندازند(Kang et al., 2020). آلودگی خاک یک مشکل جهانی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است (Errington et al, 2018). که به طور روز افزونی در سطح جهانی رو به گسترش است. بنابراین آلودگی هیدروکربن‌های نفتی، خطری جدی برای سلامت همه موجودات زنده دنیا هستند و با توجه به ویژگی‌های مخربی که دارند، جزء آلاینده‌های اولویت‌دار و در حال ظهور در طبقه‌بندی قرار می‌گیرند (Xia et al, 2019). آلاینده‌های نفتی مرسوم خاک عبارتند از نفت خام، نفت سفید، گازوئیل، حلال‌های کلردار و بنزن، هیدروکربن‌های آروماتیک نظیر تولوئن، زایلن، بنزن و غیره است آلودگی زیست محیطی ناشی از نشت مواد نفتی به شدت بر اکوسیستم‌های خاک تأثیر گذاشته و باعث افزایش آبگریزی، کاهش دسترسی به آب و مسمومیت مستقیم گیاهان و میکروارگانیسم‌ها می‌شود. بارهای آلاینده بیش از حد مواد نفتی مانع کارکرد خاک شده و بر رشد گیاه و فعالیت میکروبی اثر گذار است و منجربه پیامدهای اکولوژیکی طولانی مدت می‌شود (Anatoly et al, 2012). مواد هیدروکربنی در خاک مانند پوششی عمل کرده و با جذب شدن به سطح ذرات خاک سبب ایجاد ویژگی آبگریزی می‌شوند(Farzadian et al., 2015). آبگریزی بسته به شرایط در برخی خاک‌ها مشکلات متعددی را به دنبال دارد که می‌توان به کاهش مقدار نفوذ، کاهش میزان آب قابل دسترس گیاه، افزایش رواناب و جریان‌های ترجیحی و به دنبال آن افزایش فرسایش خاک را اشاره کرد(Eibisch et al., 2015; Franco et al., 2000). از طرفی آبگریزی در برخی موارد یک ویژگی کلیدی پایداری خاک است به طوری که با افزایش شدت آبگریزی، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش یافته، چرا که لایه نفتی مانند یک لایه پوششی روی خاکدانه‌ها از متلاشی شدن ذرات خاک در برابر نیروی آب و باد محافظت می‌کند و در نتیجه تا حدودی توانایی کنترل فرسایش با کاهش فرسایش‌پذیری خاک، پیدا می‌کند (Daryaei et al, 2022). ترکیبات نفتی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک اثر گذار است به طوری که نتایج حاصل بررسی ترکیب نفت خام با نسبت‌های وزنی ۰ – ۵ – ۱۰ – ۱۵ – ۲۰ درصد با نمونه خاک محدوده پالایشگاه شازند اراک نشان داده که با افزودن نفت تا ۱۰ درصد، حد روانی ۲۱ درصد کاهش یافته و در ادامه با افزایش آن تا ۱۵ درصد، حد روانی افزایش یافته و با افزودن ۲۰ درصد دوباره کاهش یافت. در آزمایش تراکم، حداکثر جرم مخصوص خشک خاک با افزودن نفت خام افزایش یافت. علاوه بر این افزودن نفت باعث کاهش ضریب نفوذپذیری و مقاومت فشاری تک محوری و افزایش ضریب تحکیم خاک شده است (Hasani et al., 2024).

در همین راستا تأثیر آلودگی ترکیبات نفتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در سطوح مختلف غلظتی نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر خاک‌های با بافت لوم شنی، لوم رسی و شن لومی بر پارامترهای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

تر و خشک مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل نشان داده که سطوح غلظتی کم مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها شده و سطوح غلظت بالا سبب کاهش ویژگی‌های مذکور شده است (Daryaei et al, 2022). علاوه بر این تأثیر مواد نفتی بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نظیر pH، نیترات، هدایت الکتریکی، یون سدیم، یون کلسیم، فسفات و یون منیزیم، در مقایسه با خاک غیر آلوده معنی‌دار نشان داده است (G.E & G.E, 2023).

بررسی و مطالعه آلودگی نفتی خاک از این منظر بسیار مهم است زیرا که نشان می‌دهد که چگونه آلودگی نفتی مواد هوموس را به طور قابل توجهی تجزیه کرده، ساختمان خاک را تغییر، حاصلخیزی و فعالیت میکروبی را کاهش می‌دهد و در نهایت بر پایداری اکوسیستم تأثیر گذار است و استراتژی‌های بازسازی خاک را مطلع می‌کند (Salmanova et al, 2024). از منظر کمک به توسعه پایدار از طریق مدیریت و کاهش آلودگی و اصلاح محیط‌های تخریب شده نیز دارای اهمیت است. بنابراین درک جامع از توزیع ترکیبات آلاینده‌های نفتی در مکان‌های آلوده و رابطه بین آلودگی نفتی خاک و ویژگی‌های فیزیکی، ژئوشیمیایی و بیولوژیکی خاک کمک بسیاری به احیای و بازسازی مکانهای آلوده می‌کند (Saadati et al, 2021).

از آن جا که جنگل‌های حرا یک اکوسیستم ارزشمند و در عین حال حساس به منابع آلاینده است و مخزن عظیمی از تنوع زیستی آبی و خاکی در خود جای داده است، آلاینده‌های نفتی به شدت بر سلامت این اکوسیستم تأثیر گذار است و باعث تخریب این اکوسیستم و تغییرات نامطلوب در زنجیره غذایی می‌شود نظر به آلودگی نفتی به طرق مختلف نظیروجود صنایع و پالایشگاه‌ها، عبور و مرور نفتکش‌ها و کشتی‌های تجاری و پدیده قاچاق سوخت در سواحل مطالعه اثرات ترکیبات نفتی بر خاک سواحل ضرورت دارد به همین منظور با هدف و بررسی اثرات آلاینده‌های هیدروکربنی نفت سفید و گازوئیل بر پارامترهای فیزیکی خاک سواحل جنگل حرا این تحقیق انجام شد.

۲ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

۲ـ۱ـ مواد و روش

به منظور بررسی تأثیر آلاینده‌های نفتی بر خاک از لایه سطحی (۰-۱۰ سانتی‌متری) رسوبات ساحلی جنگل حرا منطقه کولغان بندرعباس(شکل ۱) نمونه برداری شده و مستقیما در ظروف پلاستیکی با گنجایش ۳ کیلوگرمی قرار داده شد و بعد از هوا خشک شدن و یکنواخت نمودن رسوبات خاک، نمونه‌های آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ترکیبات نفتی گازوئیل و نفت سفید با سه غلظت (۰، ۴ و ۸ درصد وزنی حجمی) به طور جداگانه و در سه تکرار آلوده شده و جهت تثبیت شرایط خاک در گلدان در آزمایشگاه آب و خاک دانشگاه هرمزگان در دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه به مدت ۱۰ روز در شرایط ظرفیت زراعی تا ۵۰ درصد آن به صورت خشک و تر نگه‌داری شدند (شکل ۲).

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]



شکل ۱. نمایی از منطقه نمونه‌برداری از خاک منطقه کولغان بندرعباس



شکل ۲. تصویر اعمال تیمار آلاینده‌های نفتی رسوبات

۲-۳- تجزیه آزمایشگاهی:

بعد از گذشت دوره استراحت ده روزه به منظور ارزیابی اثر ترکیبات نفتی بر پارامترهای فیزیکی خاک، به آهستگی و کمترین دست‌خوردگی از تیمارهای مربوطه نمونه‌برداری و سپس هوا خشک شد. سپس به منظور ارزیابی اثر مواد نفتی بر برخی پارامترهای فیزیکی خاک مقاومت خاکدانه ها به شکستگی و پراکندگی رس و سیلت در آمحلول آبی به کمک شاخص پراکنش میدلتون (۱۹۳۰) (Middleton, 1930)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (Grossman, & Reinsch. 2002)،به دست آمد. جهت اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک خشک و تر، خاک‌های هوا خشک شده از الک ۴ میلی‌متری عبور داده و از خاکدانه‌های باقی‌مانده بین الک ۲ و ۴ میلی‌متری برای اندازه‌گیری MWD_{wet} و MWD^{1}_{dry} از سری الک‌های با قطر ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد و بر اساس فرمول محاسبه شد (Kemper & Rosenau, 1986). و برای الک تر خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک در آون در دمای ۱۰۵ درجه خشک و بعد از وزن کردن و تصحیح شن بر اساس رابطه (۱) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر محاسبه شد.

[1]. Mean weight diameter.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

$$MWD = \sum_{i=1}^{k} W_i \bar{x}_i \qquad (۱)$$

X_i: میانگین قطر منافذ دو الک متوالی

W_i: نسبت جرم توده خاک باقی مانده روی هر الک به جرم کل خاک پس از تصحیح شن

پارامتر دیگر مورد ارزیابی شاخص‌پایداری خاکدانه‌ها (AS[1]) بود که خاکدانه‌های باقیمانده بین الک ۲ و ۱ میلیمتری بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر قرار داده و به مدت دو دقیقه در آب با روش الک تر (Kemper and Rosenau, 1986) تکان داده شده و بعد از تصحیح شن بر اساس رابطه (۲) مقدار آن تعیین شد.

$$\%AS = \frac{WSA - Msand}{Msample - Msand} \times 100 \qquad (۲)$$

WSA: جرم خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متری، Msand: جرم شن و Msample: جرم نمونه خاک

درصد تخریب خاکدانه‌ها (PAD[2]) یکی دیگر از شاخص‌های مورد ارزیابی است که بر اساس اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر و خشک به دست آمده، که در این حالت جرم خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر در دو حالت الک خشک (md) و تر (mw) تعیین و بر اساس رابطه (۳) مقدار PAD محاسبه شد (Moradi et al, 2016 & Wang et al, 2013). بر این اساس هرچه مقدار PAD آن کمتر باشد نشان دهنده پایدار بودن بیشتر خاکدانه‌ها است.

$$PAD = \frac{md - mw}{md} \times 100 \qquad (۳)$$

کدورت‌یا تیرگی در واقع انعکاس دهنده مقدار نور از یک محلول است و به مقدار مواد معلق در آب‌یا محلول گفته می‌شود. در صورتی که خاک به عنوان یک محلول مورد بررسی قرار گیرد، شاخص کدورت سنجی محلول نشانگر مقدار مواد معلق در محلول خاک و آب باشد. به همین منظور جهت بررسی وجود ذرات معلق در محلول خاک از یک شاخص که نشان دهنده عمق کدورت خاک است استفاده شده است به همین منظور ۵۰ گرم خاک در ارلن ۲۵۰ ریخته حدود ۲۰۰ سی‌سی آب مقطر به آن اضافه نموده بعد از ۲۴ ساعت محلول آب و خاک به استوانه مدرج یک لیتری اضافه نموده و به حجم یک لیتر رسانده بعد از همزدن محلول خاک، بعد از گذشت ۲ ساعت ارتفاع یا عمقی از محلول خاک تا جایی که صفحه سفید رنگ انتهای شاخص (شکل ۳) قابل مشاهده نباشد، به عنوان شاخص کدورت سنجی اندازه‌گیری شده که هر چه ارتفاع شاخص بیشتر باشد نشان دهنده پراکنش کمتر ذرات معلق در واحد زمان اندازه‌گیری شده است (روش ابداعی نویسنده مسئول[3])

[1] . Aggregate Stability

[2] . Percentage Aggregate Destruction

[3] . nvz.moradi@hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]



شکل ۳. وسیله اندازه‌گیری ارتفاع کدورت

۲-۴- تجزیه تحلیل آماری

تجزیه تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها داده‌ها به ترتیب بر اساس تجزیه واریانس یک طرفه و آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SPSS16 در سطح ۵ درصد انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر آلاینده‌های نفتی بر پارامترهای فیزیکی خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک طرفه، تأثیر تیمارهای مختلف آلاینده‌های نفتی گازوئیل و نفت سفید بر برخی از پارامترهای فیزیکی در جدول ۱ ارائه شده است، که بر این اساس در همه تیمارها پارامترهای MWD_{wet}، MWD_{dry}، ارتفاع کدورت سنجی، درصد پراکنش رس و سیلت در آب، درصد تخریب خاکدانه و جرم مخصوص ظاهری نسبت به شاهد اثر معنی‌داری در سطح ا درصد داشته است.

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

Table 1. Analysis of variance for soil physical properties.

منابع تغییر (Sources of variations)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean squares)						
		MWD_{wet}	MWD_{dry}	AS	H.T.W	%silt+clay	PAD	BD
تیمار treatment	5	0.232**	0.019**	0.027**	50.956**	33.600**	0.035**	0.020**
خطا (Error)	12	0.014	0.002	0.007	0.460	0.333	0.003	0.002
ضریب تغییرات CV (%)		11.37	1.72	11.306	4.9	0.75	0.5	2.5

ns,*,** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, *, **: non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively. MWD_{wet}: Mean weight diameter of wet aggregates, MWD_{dry}: Mean weight diameter of dry aggregates, AS: aggregate stability, PAD: Percentage of aggregate destruction, H.TW: The height of the turbidity meter in water.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

جدول شماره ۲. جدول اثر مواد نفتی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

Table 3. Effect of petroleum materials on some soil physical properties

تیمار	غلظت	پارامترهای مورد مطالعه						
		MWDwet(mm)	MWDdry(mm)	AS(%)	H.T.W(cm)	%silt+clay	PAD(%)	BD(g/cm3)
گازوئیل	۴ درصد	1.39^{a}	2.58^{b}	68.56^{b}	12.33^{c}	74^{c}	49.05^{c}	1.74^{b}
	۸ درصد	1.23^{ab}	2.47^{c}	76.5^{ab}	6.66^{d}	72^{d}	55.24^{c}	1.76^{b}
نفت سفید	۴ درصد	0.78^{c}	2.67^{a}	84.19^{a}	14.76^{b}	79^{a}	67.03^{b}	1.66^{c}
	۸ درصد	0.65^{c}	2.69^{a}	85.82^{a}	14.13^{b}	77^{b}	80.41^{a}	1.71^{bc}
شاهد	شاهد	1.11^{b}	2.57^{b}	64.71^{b}	17.53^{a}	80^{a}	59.85^{bc}	1.86^{a}

۳-۲- تأثیر آلاینده‌های نفتی بر مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت خشک (MWD_{dry})

نتایج داده‌ها نشان داده که افزایش سطوح مختلف آلاینده‌های نفتی بر مقدار MWD_{dry} تأثیر متفاوتی نشان داده است. هر دو غلظت ۴ و ۸ درصد نفت سفید سبب افزایش معنی‌دار در مقدار MWD_{dry} نسبت به تیمار شاهد و غلظت‌های ۴ و ۸ درصد گازوئیل شده است. بیشترین مقدار MWD_{dry} مربوط به غلظت ۸ درصد نفت و کمترین مقدار آن نیز مربوط به غلظت ۸ درصد گازوئیل است (جدول ۲). و افزایش غلظت گازوئیل در خاک سبب کاهش مقدار MWD_{dry} شد به نظر می‌رسد افزودن مواد نفتی در ابتدا سبب روند افزایشی در مقدار میانگین وزن قطر خاکدانه در حالت خشک شده و با افزایش غلظت ۴ به ۸ درصد گازوئیل سبب کاهش معنی‌دار مقدار MWD_{dry} شده و در نفت سفید این افزایش غلظت تأثیر یر معنی‌داری نشان نداده است. به نظر می‌رسد این تفاوتها به دلیل ساختار مولکولی نفت سفید و گازوئیل باشد نفت سفید به دلیل ترکیبات ساده تر سریعتر تجزیه شده در نتیجه سریعتر تأثیر گذاشته در حالی که گازوئیل به دلیل پیچیدگی ترکیبات اثر گذاری کمتری داشته است. مطالعات انجام شده برخی پژوهشگران نشان داده که الودگی نفتی تأثیر بر معنی‌داری در مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت خشک نداشته است (Marinescu et al, 2011). که با نتایج به دست آمده غلظت ۴ درصد گازوئیل همخوانی داشته است.

۳-۳- تأثیر آلاینده‌های نفتی بر مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت تر (MWD_{wet})

نتایج داده‌ها نشان داده که افزایش مواد نفتی در سطوح مختلف غلظت گازوئیل و نفت سفید بر مقدار MWD_{wet} تأثیر معنی‌دار متفاوت تحت شرایط آزمایش نشان داده است. به طوری که افزایش غلظت گازوئیل سبب افزایش MWD_{wet} و بر عکس افزایش غلظت نفت روند کاهشی نشان داده است. بیشترین مقدار MWD_{wet} مربوط به

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

غلظت ۴ درصد گازوئیل است که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد و تیمارهای نفت سفید نشان داده است. به طوری که مقدار MWD_{wet} به ترتیب نسبت به شاهد و غلظت ۸ درصد نفت سفید ۲۵ درصد و ۲/۱ برابر افزایش داده است. مقایسه بین سطوح مختلف غلظتی گازوئیل و نفت سفید نیز نشان داده که گازوئیل نسبت به نفت مقدار MWD_{wet} بیشتری داشته است. به نظر می‌رسد فرآورده‌های نفتی با کاهش جرم مخصوص ظاهری (جدول ۲) چسبندگی ذرات خاک را کاهش داده است (Ali et al, 2024 & Rasheed et al, 2014). که بر پایداری خاکدانه در حالت تر اثر گذاشته و مقدار MWD_{wet} کاهش داده است. در هر دو تیمار نفت سفید و گازوئیل با افزایش غلظت از ۴ به ۸ درصد مقدار MWD_{wet} کاهش پیدا کرده است و به نظر می‌رسد با افزایش غلظت آلاینده‌های نفتی دافعهٔ آنیونی بین ذرات رس و گروه های عاملی ترکیبات نفتی ایجاد شده که در نتیجه مانع هم‌آوری و تشکیل خاکدانه‌ها پایدار شده و سبب کاهش مقدار MWD_{wet} شده است که نتایج این بررسی با برخی از پژوهشگران (Daryaei et al, 2022; Kermanpour et al, 2015) در رابطه با کاهش میانگین قطر خاکدانه‌ها در حالت تر و خشک با افزایش غلظت مواد نفتی مطابقت داشته است. افزایش مقدار MWD_{wet} تیمار گازوئیل می‌تواند به دلیل این باشد که گازوئیل در محیط خاک قابلیت حلالیت چندانی نداشته و با ذرات معدنی تولید کمپلکس کرده سبب هماوری ذرات شده باعث تشکیل خاکدانه‌های پایدار شده (Mohammadi & khaemalrasoul, 2021). و سبب افزایش MWD_{wet} در خاک شده است

۳-۴- تأثیر آلاینده‌های نفتی بر مقدار پایداری خاکدانه (AS)

نتایج داده‌ها نشان داده که افزایش مواد نفتی در سطوح مختلف غلظتی مواد نفتی گازوئیل و نفت سسفید باعث افزایش معنی‌داری در سطح ۵ درصد AS نسبت به شاهد بدون مواد نفتی شده است در این بین بیشترین AS مربوط به غلظت ۸ درصد نفت (۸۵/۸۲ درصد) که مقدار پایداری خاک نسبت به شاهد ۳۲ درصد افزایش داده است و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار غلظت شاهد است. افزایش غلظت در هر دو ماده آلاینده گازوئیل و نفت سفید سبب افزایش پایداری خاکدانه شده است و پایداری خاکدانه در تیمار نفت سفید در هر دو غلظت ۴ و ۸ درصد نسبت به غلظت مشابه گازوئیل بیشتر است. از آنجا که ثابت دی‌الکتریک آب بالاتر از نفت است بنابراین باعث افزایش لایه دوگانه پخشیده در رس و ذرات رس را پراکنده (Das, 2002) پایداری کمتر شده در حالی که نفت به دلیل پایین بودن ثابت دی‌الکتریک بین منافذ ذرات وارد شده و سبب کاهش ضخامت لایه پخشیده دوگانه شده از طرفی به علت پایین بودن ثابت دی‌الکتریک نیروی دافعه کاهش پیدا کرده که نتیجه این کاهش افزایش خالص نیروی جاذبه بین ذرات و نزدیک شدن ذرات و هماوری ذرات خاک شده و رس موجود در خاک رفتاری مانند سیلت و شن ریز نشان داده (Kaya & Fang, 2000) به همین خاطر پایداری خاکدانه‌ها در حضور مواد نفتی در این حالت افزایش پیدا کرده است. از طرفی از آنجا که ترکیبات هیدروکربنی نفت سفید و گازوئیل موجود در

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

خاک شامل آلکانهای با زنجیرهٔ طولانی و برخی ترکیبات حلقوی با جرم ملکولی زیاد هستند. که دارای خاصیت آبگریز و به آسانی در آب حل قابل حل نیستند بنابراین با ذرات معدنی خاک کمپلکس تشکیل داده و به همآوری ذرات خاک کمک کرده و سبب پایداری ساختمان خاک در شرایط مرطوب شده و پراکنده شدن رس در شرایط مرطوب کاهش می‌یابد (Daryaei et al, 2022).

۳-۵- تأثیر آلاینده‌های نفتی بر مقدار درصد پراکنش رس و سیلت در آب

افزودن سطوح مختلف غلظتی گازوئیل و نفت سفید به خاک مورد مطالعه سبب کاهش درصد پراکنش رس و سیلت در محلول خاک نسبت به تیمار شاهد بدون آلاینده نفتی شده است. در همین راستا کمترین مقدار پراکنش مربوط به تیمار ۸ درصد گازوئیل است. که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها نشان داده است. نفت سفید با ثابت دی‌الکتریک پایین باعث کاهش نیروی دافعه و جاذبه در بین ذرات خاک می‌شود و نتیجه این کاهش افزایش خالص نیروی جاذبه بین ذرات خاک بوده و که سبب نزدیک شدن ذرات به همدیگر و هماوری ذرات شده به طوری که رفتار رس شبیه سیلت و شن ریز شده است (Kaya & Fang, 2000) مطالعه مشابه انجام شده در رابطه با اثر غلظت‌های ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد مواد نفتی بر پراکنش رس نشان داده که با افزایش غلظت مواد نفتی پراکنش رس در بافت‌های مختلف با توجه به نوع بافت متغیر بوده اما در حالت کلی نشان داده در غلظت‌های مختلف در همه بافت‌های مورد مطالعه رسی لومی، لوم شنی و شن لومی کاهش پیدا کرده است (Daryaei et al, 2022) که تایید کننده نتایج حاصل این پژوهش است که افزایش غلظت نفت و گازوئیل درصد پراکنش رس و سیلت در محلول آبی کاهش داده است به نظر می‌رسد که غلظت‌های کم مواد آلی نظیر اسید هیومیک سبب افزایش پراکنش رس در محلول خاک(Visser & Caillier, 1988) شده و افزایش غلظت مواد آلی سبب بهبود خاکدانه سازی و پایداری خاکدانه‌ها شده و سبب کاهش میزان پراکنش رس در غلظت‌های بالاتر شده است نتایج این بررسی با مطالعه Kermanpour et al (۲۰۱۵) در رابطه با کاهش میزان پراکنش رس با افزایش غلظت مواد آلاینده همخوانی داشته است.

۳-۶- تأثیر آلاینده‌های نفتی بر مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک

نتایج نشان داده که افزودن سطوح مختلف غلظتی ۴ و ۸ درصد هیدروکربن‌های نفتی سبب کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک شده است کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری مربوط به نفت سفید با غلظت ۴ درصد که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها به جز غلظت ۸ درصد نفت سفید نشان داد. از آن جا که مواد نفتی دارای پایه آلی هستند با توجه به شرایط و زمان به صورت کوتاه مدت یا دائم توانایی اثر گذاری متفاوتی بر مقدار جرم مخصوص ظاهری داشته‌اند. بنابراین افزایش غلظت گازوئیل و نفت سفید از ۴ به ۸ درصد به دلیل افزایش درصد تخریب خاکدانه (PAD) مطابق جدول (۲) منجر به افزایش جرم واحد حجم خاک یا جرم مخصوص ظاهری

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

خاک شده است نتایج برخی از مطالعات نشان داده که خاکهای آلوده به نفت خام جرم مخصوص ظاهری بالایی هستند که علت آن این گونه بیان شده که نفت باعث افزایش لغزندگی بین ذرات و افزایش تراکم پذیری و کاهش منافذ خاک که در نتیجه سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری شده است (Khamehchiyan et al., 2007). از آنجا که نفت خام دارای مجموعه‌ای از هیدروکربن‌ها و ترکیبات آلی متفاوت‌تر از نفت سفید و گازوئیل است و تفاوت بافت درعملکرد مواد آلاینده مشاهده شده است. از طرفی وجود ویژگی آبگریزی در ترکیبات نفتی (Farzadian et al., 2015) احتمالا سبب تأثیر منفی در وضعیت جذب آب و هوا خاک شده و سبب افزایش حجم منافذ خاک شده که منجر به افزایش حجم کل خاک در نتیجه کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است. به نظر می‌رسد رسوبات سواحل جنگل حرا به دلیل نداشتن ساختمان منسجم، ترکیبات نفت سفید و گازوئیل بعد از اعمال تیمار به درون خاک نفوذ کرده و به دلیل خاصیت آبگریزی باعث جدا سازی ذرات خاک شده و منجر به افزایش منافذ خاک نهایتا افزایش حجم کل خاک شده در نتیجه سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است.

۳-۷- تأثیر آلاینده‌های بر کدورت محلول خاک

کدورت یا تیرگی در واقع انعکاس دهنده مقدار نور از یک محلول است و به مقدار مواد معلق در آب یا محلول بستگی دارد. در صورتی که خاک به عنوان یک محلول مورد بررسی قرار گیرد، کدورت محلول خاک نیز می‌تواند نشانگر مقدار مواد معلق، ذرات رسوبی و ذرات مختلف دیگر در آن باشد. بررسی‌های این تحقیق نشان داده که سطوح مختلف غلظتی گازوئیل و نفت سفید ارتفاع کدوروت سنج تا سطح محلول را به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است. کمترین مقدار ارتفاع کدورت سنج مربوط به تیمار گازوئیل با غلظت ۸ درصد است که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان داده است. از طرفی با افزایش غلظت مواد نفتی روند کاهشی در مقدار عمق کدورت مشاهده شد. و بین غلظت‌های مشابه ۴ و ۸ درصد نفت سفید و گازوئیل نیز تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد در مقدار ارتفاع کدورت سنج نشان داده است. از مقایسه دو ماده هیدروکربنی در هر دو غلظت عمق کدورت سنج در نفت سفید بیشتر از گازوئیل است. از آن جا که با اندازه‌گیری ارتفاع کدورت سنج میزان رسوبات و ذرات معلق در خاک قابل ارزیابی است. در این مطالعه ارتفاع کمترکدورت سنجی محلول خاک نشان‌دهنده امکان وجود ذرات معلق زیاد و آلودگی بیشتر خاک است بر این اساس در تیمارهای گازوئیل ذرات معلق محلول خاک بیشتر از نفت سفید است. از آن جا که گرانروی گازوئیل بیشتر از نفت سفید است با افزایش گرانروی ماده چسبندگی نیز بیشتر شده در نتیجه ذرات خاک را به یکدیگر و خود جذب کرده است لذا در همین راستا در محلول خاک حاوی گازوئیل ذرات به شکل معلق در آمده و کدورت افزایش پیدا کرده است. از طرفی به دلیل گرانروی بالاتر گازوئیل نسبت به نفت سفید، سرعت جریان نسبت به نفت سفید کمتر شده در نتیجه ذرات معلق دیرتر ته‌نشین شده و کدورت بیشتر شده و ارتفاع اندازه‌گیری شده نسبت به نفت سفید کمتر شده است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

۳-۸- تأثیر آلاینده‌های نفتی بر درصد تخریب خاکدانه (PAD)

نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده اثر معنی‌دار آلاینده‌های نفتی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها در سطح ۵ درصد می‌باشد(جدول۲). وآلاینده‌های نفتی تأثیر متفاوتی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها نشان داده است مقایسه میانگین داده‌ها نشان داده که تیمار نفت سفید سبب افزایش درصد تخریب و تیمارهای گازوئیل روند کاهشی در تخریب خاکدانه‌ها نشان داده است. بیشترین مقدار PAD مربوط غلظت ۸ درصد نفت سفید (۸۰/۴۱ درصد) که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داده و کمترین مقدار PAD نیز مربوط به غلظت ۴ درصد گازوئیل (۴۹/۰۵ درصد) است. در هر دو سطح غلظتی گازوئیل هر چند مقدار PAD کاهشی بوده ولی تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداده است. از طرفی بین غلظت‌های مشابه (۴ و ۸ درصد) هر دو تیمار نفت و گازوئیل تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشته و در این حالت هر دو غلظت نفت تخریب بیشتری نسبت به گازوئیل نشان داده است. نظر به نتایج حاصل از تأثیر غلظت‌های نفت بر مقدار MWD_{wet} به نظر می‌رسد نیروی چسبندگی لازم برای تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر به اندازه کافی نبوده و مقدار MWD_{wet} کاهش پیدا کرده در نتیجه سبب افزایش پارامتر درصد تخریب خاکدانه شده است. به نظر می‌رسد دلیل کمتر بودن مقدار PAD در گازوئیل به دلایل گرانروی بالاتر، قدرت تجزیه آهسته‌تر و ترکیب شیمیایی متفاوت نسبت به نفت سفید باشدگرانروی بالاتر گازوئیل منجر به نفوذ کمتر آن به درون خاکدانه شده در نتیجه سبب کاهش تخریب خاکدانه شده است (Hanaei et al., 2020). ترکیب و زنجیره طولانی و پیچیده گازوئیل تجزیه آن را کندتر کرده و ممکن است کمتر به تخریب پیوند بین خاکدانه‌ها آسیب بزند. در حالی‌که گرانروی کمتر نفت سفید سبب نفوذ سریع‌تر و بیشتر نفت به داخل ذرات خاک شده که باعث افزایش سطح تماس با ذرات خاک شده در نتیجه پیوند بین ذرات تخریب کرده از طرفی هیدروکربن‌های نفت دارای زنجیره کوتاه‌تر سریع‌تر تجزیه شده و اثرات تخریبی بیشتری بر خاک نسبت به گازوئیل دارد (Fallah et al., 2020). بنابراین بررسی نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داده که افزودن نفت سفید اثر تخریبی بیشتری بر ویژگی‌های خاک داشته است.

۴- نتیجه گیری کلی

با توجه به گسترش روز افزون پالایشگاه‌ها و صنایع در سراسر جهان، مصرف مواد نفتی هم به صورت روز افزون افزایش پیدا کرده است. به دنبال آن آلودگی‌های زیست محیطی خاک، آب در معرض این صنایع قابل مشاهده است. بنابراین شناسایی اثرات هیدروکربن‌های نفتی بر ویژگی‌های خاک قبل از هر اقدامی ضروری است به همین منظور در این پژوهش به طور ویژه پارامترهای فیزیکی خاک آلوده به هیدروکربن‌های مورد بررسی قرار گرفت. و اثر دو سطح غلظتی نفت سفید و گازوئیل به عنوان فرآورده‌های نفتی پرمصرف بر ویژگی‌های فیزیکی خاک ساحلی جنگل حرا مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل این بررسی نشان دهنده اثرات متفاوت آلاینده‌های

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

نفتی بر پارامترهای خاک است. در پژوهش حاضر مشاهده شده که در حضور نفت سفید پارامترهای MWDwet ، پراکنش مجموع سیلت و رس، جرم مخصوص ظاهری و ارتفاع کدورت سنجی محلول خاک روند کاهشی و MWDdry، AS و PAD روند افزایشی داشته است. و علاوه بر این سطوح مختلف گازوئیل ویژگی‌های MWDwet ، MWDwet و AS روند افزایشی و پارامترهای درصد پراکنش رس و سیلت، جرم مخصوص ظاهری، ارتفاع کدورت‌سنجی و PAD روند کاهشی نسبت به تیمار شاهد نشان داده است. از بین دو الاینده نفتی مورد مطالعه نفت سفید سبب افزایش قابل توجهی از نظر مقدار درصد تخریب خاکدانه نسبت به خاک غیر آلوده شده است، در حالی که آلودگی با گازوئیل درصد تخریب خاک کاهش داده است. از طرفی در بررسی ارتفاع کدورت سنجی آلودگی گازوئیل عمق کدورت ذرات معلق محلول خاک کمتری نسبت به آلودگی نفت سفید نشان داده است. با توجه به موارد بیان شده اثر تخریبی نفت در محیط خاکی بیشتر نمود کرده و تیمار گازوئیل در محیط محلول آبی به علت افزایش کدورت در عمق نزدیک به سطح اثر منفی بر این اکوسیستم‌ها می‌تواند داشته باشد. بنابراین بر پایه نتایج این پژوهش می‌توان بر نحوه مدیریت و بهسازی خاک سواحلی که در معرض آلودگی مواد هیدروکربنی نظیر گازوئیل و نفت قرار گرفته‌اند نظارت وتصمیم‌گیری کرد. و مانع از تخریب و فرسایش خاک و اکوسیستم‌های دریایی متاثر از این آلودگی‌ها شد و در مطالعات آینده راهکارهای حفاظت و بهبود خاک این مناطق نیز مورد توجه قرار گیرد.

منابع:

1. Ali, S., Nie, Z., Ismail, A. S., & Sohel, R. (2024, May). Assessing changes in geotechnical properties of soil caused by oil contaminants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1335, No. 1, p. 012029). IOP Publishing.
2. Kaya, A., & Fang, H-Y. (2000). The effects of organic fluids on physicochemical parameters of fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(5):943-950. doi: 10.1139/T00-023
3. Anatoly, M., Zyakun., V., V., Kochetkov., Alexander, M., Boronin. (2012). 10. The Waste Oil Resulting from Crude Oil Microbial Biodegradation in Soil. *Management of Organic Wastedoi:* 10.5772/31037
4. Daryaei, R., Moosavi, S. A. A., Ghasemi, R., & Riazi, M. (2022). Evaluation of aggregate stability as influenced by petroleum compounds in texturally different soils. *Journal of Water and Soil Conservation*, *29*(2), 25-45. doi: 10.22069/jwsc.2022.19559.3526. (in persian)
5. Das B.M. (2002). Principles of Geotechnical Engineering, *Fifth Edition. Thomson Learning Academic Resource Center, USA*, pp. 26–28.
6. Errington I, King CK, Houlahan S, George SC, Michie A, & Hose GC. (2018).The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil. Vols. 619–620, *Science of the Total Environment*p. 1098–104.
7. Fallah, M., Shabanpor, M., & Ebrahimi, S. (2015). Evaluation of petroleum impacts on some properties of loamy sand soil with the main focus on hydraulic properties. *Environmental Earth Sciences*, 74(6):4751-4762. doi: 10.1007/S12665-015-4458-8

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

8. Franco CMM, Clarke PJ, Tate ME, & Oades JM. Hydrophobic properties and chemical characterization of natural water repellent materials in Australian sands. *Journal of Hydrology (Amst*). 2000;231: 47–58.
9. G.E., Ogbeide., & G.E., Eriyamremu. (2023). "Physicochemical and microbial alterations in crude oil-contaminated soil samples." *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 9.:281-289. doi: 10.4314/dujopas.v9i2a.28
10. Grossman, R.B., & T.G. Reinsch. (2002). Bulk density and linear extensibility. p. 202-228. In- J.H. Dane & G.C. Topp (eds.) Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods. Soil Sci. Am. Book Series No. 5. *American Society of Agronomy* and *Soil Science Society America*, Madison, WI.
11. Hanaei, F., Sarmadi, M. S., Rezaee, M., & Rahmani, A. (2020). Experimental Investigation of the Effects of Gas Oil and Benzene on the Geotechnical Properties of Sandy Soils. *arXiv*: *Geophysics*, http://doi.org/10.48550/arXiv.2009.12980.
12. Hasani, R., Asghari-Kaljahi, E., & Majidian, S. (2024). Effect of petroleum on the physical and mechanical properties of fine-grained soils of Arak Shazand refinery area. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, *53.4*(113), 126-137. doi: 10.22034/ceej.2023.54167.2201(in persian)
13. Jabbarov, Z., Abdrakhmanov, T., Pulatov, A., Kováčik, P. & Pirmatov, K.(2019). Change in the Parameters of Soils Contaminated by Oil and Oil Products. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo*, Sciendo, vol. 65 no. 3, pp. 88-98. https://doi.org/10.2478/agri-2019-0009
14. Khamehchiyan, M., Charkhabi A. H., & Tajik M. 2007. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils Method. *Engineering Geology*, 89: 220–229.
15. Kemper, W.D., & Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9. *American Society of Agronomy. Soil Science Society of America*, *Madison*.WI:425–442.
16. Kermanpour M, Mosaddeghi M R, Afyuni M, & Hajabassi M A. (2015). Effect of Petroleum Pollution on Soil Water Repellency and Structural Stability in Bakhtiardasht Plain, Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*. 19 (73) :139-149. (in Persian)
17. M., Marinescu., M., Toti., & V., Tanase., Georgiana, Plopeanu., I., Calciu. (2011). 1. The effects of crude oil pollution on physical and chemical characteristics of soil. *Research Journal of Agricultural Science*,43(11),125-129.
18. Middleton, H.E. (1930). Properties of Soils Which Influence Soil Erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 81, 119-121. https://doi.org/10.2136/sssaj1930.036159950B1120010021x
19. Moradi, N., & Emami, H., Astaraei, A. R.; Fotvat, A.; & B. Ghahreman (2016). The effect of nanoparticles of Aluminum oxide, Silicon oxide on soil structural stability indicators. *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(5), 253-265. doi: 10.22069/jwfst.2017.10568.2499. (in persian)
20. Mohammadi, N & Khademalrasoul, A. 2021. Assessment of Zeoplant and Biochar of Sugarcane Residual **on** Mean Weight Diameter and Atterberg Limits of Soil Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbon. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 52(2): 395-407. (in persian). DOI: 10.22059/ijswr.2021.313247.668793
21. Okafor UC. (2023). Evaluation of the Impact of Crude Oil Contamination on Soil's Physicochemical Characteristics, Micro-flora and Crop Yield. *Tropical Aquatic Soil Pollution.*;3(1). 24-35.
22. Rasheed, Z. N., Ahmed, F. R., & Jassim, H. M. (2014). Effect of crude oil products on

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]

the geotechnical properties of soil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment, 186*, 353-361.

23. Saadati N, Davatgar N, Roodpeyma M, Mosaddeghi MR, & Bostani A. (2015). Evaluation of Petroleum Contamination Effects on Soil Water Repellency Intensity in Bakhtiardasht of Isfahan. *Iranian Journal of Soil Research*. 29(3):359–69. (in persian).
24. Salmanova, N., Ismayilov, F., Huseynova, E., & Ulkar, S. (2024). The impact of soil pollution by oil on the content of humic substances. *ETM Equipment, Technologies, Materials*. 19(1). doi: 10.36962/etm19012024-138
25. Song, Wang., Dan, Wang., Zhongchen, Yu., Dong, Xigui., & Liu, Shumeng. (2021). Hongmei, Cui., Sun, Bing. Advances in research on petroleum biodegradability in soil. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23, 9-27. doi: 10.1039/D0EM00370K
26. van Bavel, C.H.M. (1949). Mean Weight-Diameter of Soil Aggregates as a Statistical Index of Aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 14, 20-23. http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1950.036159950014000C0005x
27. Visser, S.A and Caillier, M, (1988). Observations on the dispersion and aggregation of clays by humic substances. *Geoderma*, 42: 331-337.
28. Wang, F.; Tang, Y. A.; Zhang, J. S.; Gao, P. C.; & J. N. Coffie,(2013). Effects of various organic materials on soil aggregate stability and soil microbiological properties on the Loess Plateau Of China, *Plant Soil Environment*, 59(4),162-168.
29. Xia, M., Fu, D., Chakraborty, R., Singh, R. P., & Terry, N. (*2019). Enhanced Crude Oil Depletion by Constructed Bacterial Consortium Comprising Bioemulsifier Producer and Petroleum Hydrocarbon Degraders. Bioresource Technology. 282 p.456-463.* doi:10.1016/j.biortech.2019.01.131.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.80]