



Effect of crude oil on the dispersivity of fine-grained soils (Case study: soils of Arak Shazand refinery zone)

Roghayeh Hasani¹, Ebrahim Asghari-Kaljahi^{2✉}, Sina Majidian³

1. Ph.D student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran, E-mail: royahasani22764@gmail.com
2. Associated professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Iran. E-mail: e-asghari@tabrizu.ac.ir
3. Assistant professor, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, University of Science and Technology of Mazandaran, Iran. E-mail: sina.majidian@mazust.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 May 2024
Received in revised form 3 July 2024
Accepted 18 August 2024

Keywords:
Crude oil, Pinhole test, Fine-grained soil, Dispersive soil, Double hydrometer test, SEM images.

ABSTRACT

With the expansion of the petroleum industry and the aging of facilities and pipelines, oil spills are becoming more frequent. In addition to environmental impacts, oil spills can cause changes in the plasticity and dispersivity of soils. To investigate the potential for dispersion in fine-grained soils due to oil leakage, soil samples were collected from the Shazand Refinery area in Arak and mixed with 0, 5, 10, 15, and 20% by weight crude oil. Specimens were prepared at the maximum dry density obtained from the Proctor compaction test and, after curing, pinhole and double hydrometer tests were conducted. The results of the mentioned tests showed that the fine-grained soil tends to disperse with the addition of up to 15% oil, and this dispersion increases with further increases to 20%. Changes in the soil fabric with increasing oil content were investigated using scanning electron microscopy (SEM) images, and the results showed that the dispersion of soil particles increased with increasing oil content.

Introduction

One of the problems of clay soils in water projects is the dispersivity property. Soils that have a dispersed texture and are easily moved by water flow are called dispersive soils (ASTM, 2006). Previously, clays were considered nonerodible, but it has been determined that dispersive clay soils are capable of erosion and piping. Problems related to dispersive soils have been reported from many parts of the world. For the first time in Australia, the problem of internal erosion and the creation of large holes in many small earth dams caused the Australian Soil Conservation Association to conduct extensive studies to protect and prevent erosion caused by dispersive soils (Bhuvaneshwari et al., 2007). Khabazi and Hasanlorad (2017) by investigating the effect of oil contaminants effect on the dispersivity potential and shear strength of dispersive clayey soils, found that with presence

of oil and increase in percentage of oil and the time of soil and oil contact, dispersivity of soil decrease. Thus with gradual increase of oil, the territory is quite deispersive soil became nondeispersive. Also, uniaxial compressive strength tests showed that at the first samples strengths increase to 3% oil content and more oil quantities reduces the the resistance of the soil. It was also observed that the chemical modification of soil can reduce dispersivity potential of soil. For this reason, some researchers investigated the effects of crude oil, diesel and acid on soil dispersivity (Jafari et al., 2013). Hasani et al. (2023) by adding different percentages of crude oil to fine-grained soils showed that the addition of oil generally reduces the permeability coefficient of the soil. Increasing the amount of oil has a different effect

Cite this article: Hasani, R., Asghari-Kaljahi, E., Majidian, S. (2024). Effect of crude oil on the dispersivity of fine-grained soils (Case study: soils of Arak Shazand refinery zone). *Journal of Engineering Geology*, 18 (2), 262-285. <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.105675>



on soil consolidation, and the coefficient of soil consolidation increases with increasing the amount of oil. In addition, the uniaxial compressive strength of the soil decreases with the increase of the amount of oil.

In the current research, the effect of different amounts of crude oil on the variation of clay has been investigated using the pinhole and double hydrometer tests and also by assessing of soil texture by electron microscopy (SEM) images.

Materials and methods

The materials used are soil samples from Shazand Refinery area and crude oil samples from Shazand Refinery feed. Shazand refinery is

located 25 km west of Arak. In the area of the refinery, 70 boreholes with a depth of 50 to 60 meters have been drilled by Pazhohesh Omran Rahvar Company (2018) with the aim of investigating groundwater pollution. In the drilling of some boreholes, cores have been taken. Soil samples were taken from boreholes drilled in Shazand Refinery and transferred to the laboratory. The soil of several different depths from 5 boreholes was mixed together, and the base soil sample was obtained and used in the experiments to investigate the effect of oil on fine-grained soil. The particle-size distribution curve of base soil is shown in Figure 1.

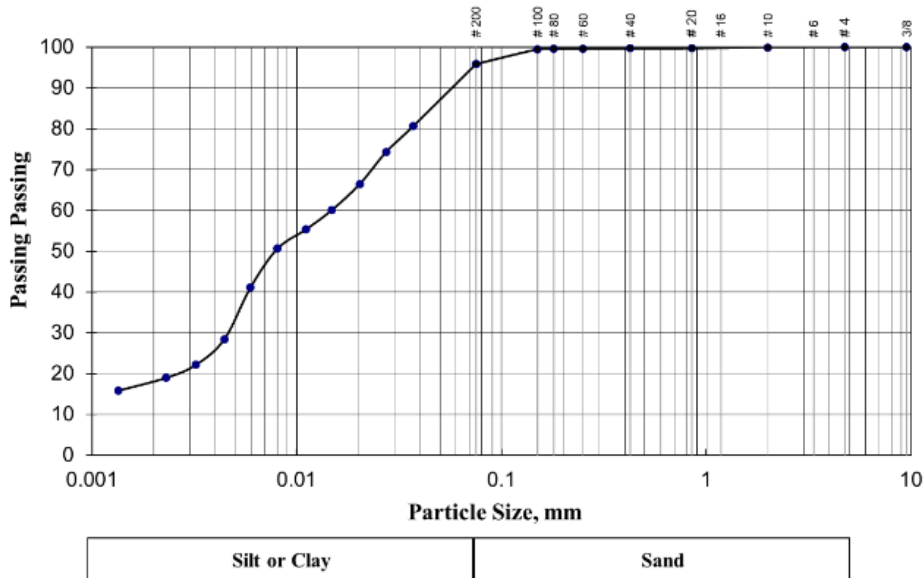


Fig. 1. The particle-size distribution curve of base soil sample

Preparation and curing of samples

About 30kg of the desired base soil was dried and passed through sieve No. 10 (aperture size 2 mm). Then, the soil sample was divided into 5 parts and 0-5-10-15-20 percent by weight of dry soil, crude oil was added to each part in the form of a spray and mixed until it became homogeneous. Immediately, each part was put in plastic bags and their heads were closed to prevent the evaporation of petroleum products. These samples were kept in this condition for at least 7 days so that the oil is absorbed by the soil particles.

Results and discussion

On the samples prepared with different amounts of oil, tests were performed, the results of which are presented below.

An important test to determine the dispersivity of a soil is the pinhole test. The pinhole test mold includes a transparent chamber with a length of 100 mm and a diameter of 32 mm, with inlet and outlet holes for water and air, and a pinhole needle, with a diameter of 1 mm and a length of 67 mm, made of steel, has a handle for guidance. The needle guide is in the form of an incomplete cone connected to the flat surface of brass

(Wilson, 1970).

Based on the degree of dispersivity, soils are classified into six groups: D1, D2, ND4, ND3, ND2, and ND1, in which D1 represents very dispersive and ND1 represents nondispersive (ASTM D4647). The amount of water and the transparency of the output water at a certain time and the final diameter of the embedded hole at the end of the test are the criteria used to evaluate the degree of dispersivity of the soil sample.

In this research, first, 5, 10, 15, 20 percent by weight of the base soil, oil was added, and then the unit weight and moisture content of the soil was obtained, and then 24 hours were given to the soil to provide the opportunity for oil absorption by clay minerals. To be sampling was done in a Pyrex tube in such a way that 5 layers were compacted with pressure so that the unit weight of the soil reached the maximum dry unit weight obtained from the Proctor compaction test (1.71 g/cm^3). At the end, the length of the test sample was 38 mm, and with the help of a needle with a diameter of 1 mm passing through the needle guide, a hole was created along the length of the sample. Then the device is placed in a position where this hole is horizontal. The flow of distilled water was passed through a hole

with a diameter of one millimeter and under a hydraulic head of 50, 180, 380 millimeters, and then the transparency of the output water and the diameter of the hole were evaluated. The applied hydraulic load in this experiment was varied from 2 to 15% and the flow velocity varied from 30 to 160 cm/s. The pinhole test is according to three methods B, A or C, and method A was used to detect the differences of the samples in this research. Figure 2 shows the pinhole testing device used in this research along with a tested sample.

The results of pinhole tests performed on samples with different crude oil contents are presented in Figure 3 in terms of time versus flow rate. Finally, the change in dispersion properties of samples from different percentages of crude oil is given in Table 1. It can be seen that the samples prepared with 0 and 5% crude oil, nondispersive characteristics (ND1), samples with 10 and 15% of crude oil have intermediate dispersive soil characteristics (ND3) and the sample with 20% crude oil shows the characteristics of intermediate and highly dispersive soil (ND4). Based on the results are shown in Table 1, the dispersive property of soil increases with increasing of oil content.



Fig. 2. Images of tests to determine soil dispersivity by pinhole method

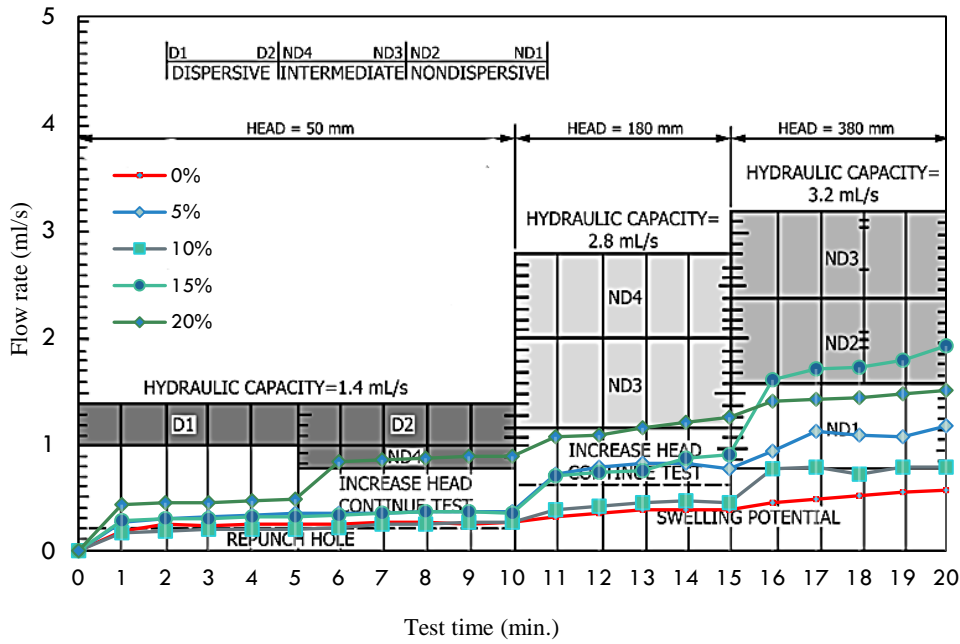


Fig. 3. Flow rate (Q) of the sample relative to the cumulative test time in different heads of the pinhole tests

Table 1. The results of tests to determine soil dispersive using the pinhole method

Describe dispersive	Dispersive classification	Oil %
Nondispersive	ND1	0
Nondispersive	ND1	5
Intermediate dispersive	ND3	10
Intermediate dispersive	ND3	15
Intermediate to highly dispersive	ND4	20

Conclusions

The most important results obtained are as follows:

1. The results of pinhole tests and examination of the soil texture with SEM images showed that the base soil samples have nondispersive properties (ND1) and by adding 5% of crude oil, part of the void spaces of the base soil is filled with light molecules of crude oil. This process causes soil flocculation, which creates a structure similar to silt or sand particles.
2. Samples of 10 and 15% crude oil have moderately

dispersive characteristics (ND3 or intermediate dispersive) and increasing the content of oil causes dispersivity and it is noticeable that the oil surrounds the soil particles and causes the clay particles to slide over each other.

3. With the addition of 20% crude oil, a greater portion of the inter-particle voids of the clay particles were coated with oil fluid, causing the soil to exhibit a higher tendency towards dispersion (ND4).
4. Overall, as the amount of crude oil increased, the soil displayed a greater tendency towards dispersion.



بررسی اثر نفت بر واگرایی خاکهای ریزدانه (مطالعه موردی: خاکهای منطقه پالایشگاه شازند اراک)

رقیه حسنی^۱، ابراهیم اصغری کلجاهی^۲، سینا مجیدیان^۳

۱. دانشجوی دکتری ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران. رایانامه: royahasani22764@gmail.com

۲. دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: e-asghari@tabrizu.ac.ir

۳. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، ایران. رایانامه: sina.majidian@mazust.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>نفت خام، واگرایی خاک، خاک ریزدانه، آزمایش بین هول، آزمایش هیدرومتری مضاعف، تصاویر SEM.</p>	<p>با گسترش صنایع نفتی و همچنین با فرسودگی تاسیسات و خطوط لوله، نشت مواد نفتی بیشتر می‌شود. نشت نفت علاوه بر تأثیرات زیست محیطی، باعث ایجاد تغییراتی در خواص خمیری و واگرایی خاک می‌شود. به منظور بررسی پتانسیل واگرایی خاک‌های ریزدانه در اثر نفوذ نفت، نمونه خاکی از محدوده پالایشگاه شازند اراک برداشته شده و با نسبت‌های وزنی ۰-۵-۱۰-۱۵-۲۰ درصد نفت خام مخلوط شده و نمونه سازی با دانسیته خشک حداکثر حاصل از آزمایش تراکم (به روش پروکتور) صورت گرفته و بعد از عمل آوری، آزمایشات بین هول و هیدرومتری مضاعف انجام شده است. نتایج آزمایش‌های مذکور نشان می‌دهد که با افزودن نفت تا ۱۵ درصد، خاک ریزدانه تمایل به واگرایی دارد و در ادامه با افزایش آن تا ۲۰ درصد، واگرایی خاک افزایش می‌یابد. تغییرات بافت خاک با افزایش مقدار نفت با استفاده از عکسهای میکروسکوپ‌های الکترونی (SEM) بررسی شده و نتایج نشان می‌دهند که پراکندگی ذرات خاک (واگرایی) با افزایش مقدار نفت، بیشتر می‌شود.</p>

مقدمه

و انقباض این خاکهای واگرا زیاد بوده و به طور کلی دارای سرعت نفوذپذیری کمتری نسبت به خاک‌های غیرواگرا هستند (Roshangar et al., 2019). قبلاً رس‌ها غیرقابل فرسایش در نظر گرفته می‌شدند، اما مشخص شده که خاک‌های رسی واگرا قابلیت فرسایش و شستگی درونی دارند. واگرایی خاک در آب شامل یک تعامل پیچیده از واکنشهای فیزیکی و شیمیایی است که تحت تأثیر عواملی مانند ترکیب معدنی، توزیع اندازه ذرات، محتوای نمکهای محلول و ترکیب شیمیایی محلول قرار دارد (Fatima et al., 2023). هنگامی که خاک پراکنده با آب با غلظت نمک کمتر مواجه می‌شود،

یکی از مشکلات خاک‌های رسی در پروژه‌های آبی، واگرایی (Dispersive) است. به خاک‌هایی که در معرض آب، ذرات آن به صورت معلق در آمده و همراه با جریان آب حرکت کرده و ساختمان خاک پوک می‌شود، خاکهای واگرا گفته می‌شود (ASTM, 2016). در حقیقت این نوع خاکها در برابر آب مقاوم نبوده و دچار آبشستگی یا فرسایش می‌گردند و همین امر باعث تخریب سازه‌های آبی می‌شود. وجود این خاکهای واگرا در مسیر کانال‌های آب موجب نشست و تخریب کف و دیواره‌های کانال می‌گردد. معمولاً میزان تورم

استناد: حسنی، ر.، اصغری کلجاهی، ا.، مجیدیان، س. (۱۴۰۳). بررسی اثر نفت بر واگرایی خاک‌های ریزدانه (مطالعه موردی: خاک‌های منطقه پالایشگاه شازند اراک).

مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۸ (۲)، ۲۶۲-۲۸۵. <https://doi.org/10.22034/JEG.2024.18.2.105675>



(et al., 2024).

ساختار خاک رس که به شدت بر مکانیسم‌های پراکندگی و انبساط آن تأثیر می‌گذارد، پیچیده است. انبساط خاک باعث پراکندگی خاک می‌شود. این که تورم یا پراکندگی غالب باشد بستگی به درجه‌ای دارد که تورم خاک پیوند بین ذرات رس را ضعیف می‌کند. تورم زمانی غالب می‌شود که نیروهای جاذب قوی مانع جدا شدن ذرات خاک شوند و در غیر این صورت پراکندگی غالب می‌شود (Ozturk and Turkoz, 2021). به طور کلی خاک‌هایی که ذرات رسی آنها به خودی خود از یکدیگر جدا شده و به صورت سوسپانسیون در آب وارد می‌شوند، به عنوان خاک‌های واگرا شناخته می‌شوند (Mitchell, 2005; Ouhadi and Goodarzi, 2006). واگرایی یک روند فیزیکی-شیمیایی است که در برخی رسها و سیلتها اتفاق می‌افتد و اصولاً تحت تأثیر متغیرهایی چون کانی شناسی، مشخصات آب حفره‌ای و نمک‌های حل شده در خاک است (Abbasi, 2018; Yong et al., 1978). آرایش هندسی ذرات خاک به عنوان بافت خاک تعریف می‌شود بر رفتار مهندسی خاکها تأثیر می‌گذارد (Budhu, 2010). دو نوع نیرو بین ذرات رسی وجود دارد، یعنی نیروهای جاذبه ناشی از واندروالس (Van der Waals) و نیروهای دافعه ناشی از لایه آب دوگانه است. نیروهای خالص بین ذره‌ای بر شکل ساختاری ذرات معدنی رس تأثیر می‌گذارد. اگر دافعه خالص وجود داشته باشد، ذرات جهت‌گیری رو به رو پیدا می‌کنند که به آن ساختار پراکنده گفته می‌شود. اگر یک جاذبه خالص وجود داشته باشد، ذرات موقعیت لبه به لبه (Edge-to-face or edge-to-edge) را می‌گیرند که به آن ساختار لخته (Flocculated) شده گفته می‌شود (Knappett and Craig, 2019). انقباض و تجمع بین ذرات

نیروهای جاذبه بین ذرات در خاک کمتر از نیروهای دافعه است که منجر به پراکندگی خاک به ذرات مجزا می‌شود (Xu et al., 2024). خاک‌های واگرا معمولاً به دلیل محتوای سدیم زیاد، خاصیت واگرایی نشان می‌دهند. در خاکهای واگرا در شرایط اشباع، نیروهای جاذبه کمتر از نیروهای دافعه بوده و این به جدا شدن ذره و حرکت همراه جریان آب کمک می‌کند (Mohanty et al., 2021).

در خاکهای واگرا واقع در مناطق دارای سفره‌های آب زیرزمینی کم عمق و سازه‌هایی که در تماس با آب هستند، خاک واگرا اغلب منجر به خرابی‌های سازه‌ای مانند ریزش یا آسیب کانالهای آبیاری و خاکریزها می‌شود. در گذشته موارد متعددی از سدهای خاکی، سازه‌های هیدرولیکی و خاکریزهای جاده‌ها به دلیل فرسایش دورنی خاک ناشی از واگرایی با مشکل مواجه شده‌اند. تمایل رسها به پراکنده شدن یا لخته شدن به نوع رس و شیمی خاک بستگی دارد (Li et al., 2024; Vakili et al., 2024). تحقیقات نشان داده که خواص شیمیایی خاک دارای اهمیت زیادی در پدیده واگرایی خاک است (Sherard et al., 1976; Bazargan and Esmaili, 2018). از این رو گاهی اصلاح چنین خاکهایی ضروری است. برای این منظور یک راه حل ساده جایگزینی آنها با خاکهای غیرواگرا است.

مشکلات مربوط به خاک‌های واگرا از بسیاری از نقاط جهان همچون کشورهای کره جنوبی و تایوان گزارش شده است (Dinh et al., 2021). نخستین بار در استرالیا، مسئله فرسایش درونی و ایجاد حفره‌های بزرگ در سدهای خاکی کوتاه باعث شد انجمن حفاظت خاک استرالیا، مطالعات گسترده‌ای جهت حفاظت و جلوگیری از فرسایش ناشی از خاک‌های واگرا انجام دهد (Udom

خاک را به دلیل وجود سیالات آلی نشان داد که درجه تجمع با کاهش ثابت دی الکتریک و با افزایش نسبت سیال به آب افزایش خواهد یافت (Olgun and Yildiz, 2010). هرگاه خاک رس واگرا در معرض آب قرار گیرد، ذرات آن از یکدیگر جدا شده و پراکنده می‌شوند و با آب حرکت می‌کنند، اگر این فرسایش پیشرفت کند به نام فرسایش داخلی شناخته می‌شود (Vyas et al., 2010). بنابراین یکی از عوامل اصلی در فرسایش درونی خاک، وجود خاکهای واگراست. یکی از آزمایش‌هایی تعیین واگرایی خاک، آزمایش کرامب (Crumb test) است. این آزمایش نخستین بار در سال ۱۹۶۴ توسط امرسون (Emerson, 1964)، در استرالیا شرح داده شد و سپس در آمریکا توسط شرارد و همکاران (Sherard et al., 1976) اصلاح شده و مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش هیدرومتری مضاعف (Double hydrometer test)، آزمایش پین هول (Pinhole Test) (سوراخ سوزنی) و آزمایش‌های شیمیایی از جمله روشهای دیگر شناسایی خاک‌های واگرا در آزمایشگاه هستند. همچنین آزمایش دیگری مانند آزمایش تعیین میزان پراکندگی، آزمایش استوانه‌ی چرخان، آزمایش تعیین نوع کانی‌های رس وجود دارد.

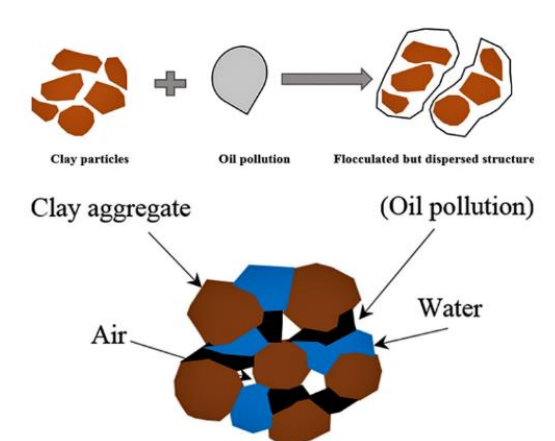
تحقیقاتی که روی روش‌های مختلف شناخت، اصلاح و بهبود خاک‌های واگرا در ایران انجام شده است، قابل توجه است. (Marandi et al., 2014) به کمک آزمایشات کرامب، هیدرومتری مضاعف، پین هول و شیمیایی نشان دادند که معیارهای واگرایی در خاکهای رسی با خواص خمیری و پتانسیل واگرایی کم باید اصلاح گردند. ستاری و همکاران (Sattari et al., 1998) به دنبال بررسی علل تخریب پوشش کانال پمپاژ ۳ مغان، راهکار پیشنهادی آنها برای کنترل فرسایش، استفاده از مصالح ژئوسنتتیکی در بستر کانال خاکی بود. خبازی و حسنلوراد (Khabazi and Hasanlorad, 2017) با بررسی اثر آلاینده‌های نفتی بر خاصیت واگرایی و مقاومت برشی خاک‌های رسی واگرا دریافتند که با نفوذ نفت و افزایش درصد آن و زمان تماس نفت و خاک، واگرایی خاک کاهش می‌یابد، بدین صورت که با افزایش تدریجی نفت، خاک کاملاً واگرا به خاک غیر واگرا تبدیل شد. همچنین آزمایش‌های تک محوری نشان داد که ابتدا مقاومت نمونه‌ها تا ۳٪ نفت افزایش می‌یابد و مقادیر نفت بیشتر باعث کاهش مقاومت خاک می‌شود. همچنین مشاهده شد که اصلاح شیمیایی خاک می‌تواند باعث کاهش پتانسیل واگرایی خاک شود. از این جهت برخی از محققین به بررسی اثرات نفت خام، گازوئیل و اسید بر واگرایی خاک پرداختند (Jafari et al., 2013 ، Zanjarani Farahani and Hamidi., 2013).

حسنی و همکاران (Hasani et al., 2024) با افزودن درصد‌های مختلف نفت خام به خاکهای ریزدانه نشان دادند که افزودن نفت به‌طور کلی باعث کاهش ضریب نفوذپذیری خاک می‌شود. افزایش مقدار نفت در تحکیم خاک اثری متفاوت داشته و ضریب تحکیم خاک با افزایش مقدار نفت، افزایش می‌یابد. ضمناً مقاومت فشاری تک‌محوری خاک با افزایش مقدار نفت کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی خاکهایی که رس موجود در آنها از درصد سدیم بالایی برخوردار باشد، از نظر شیمیایی واگرا محسوب می‌شوند به دلیل ساختمان خاص ذرات رس کاتیون‌های تبادلی از جمله سدیم به شدت جذب سطحی رویه‌های این ذرات می‌شوند تا بار الکتریکی منفی سطح ذرات را خنثی نمایند در صورتی که این ذرات رسی در تماس با آب قرار گیرند، کاتیونهای مازادی که قبلاً ته‌نشین شده بودند، در آب حل می‌شوند و ساختمان خاک رس در تماس با آب به راحتی در هم شکسته شده و ذرات مجزای آن به شکل معلق در آب درآمده و به اصطلاح واگرا می‌شوند (Sherard et al., 1976). بنابراین افزودن نفت خام از یک طرف باعث لخته

شدن ذرات خاک می‌شوند و از طرف دیگر با ایجاد شکاف بین این لخته‌های تشکیل شده باعث جدا شدن و پراکندگی ذرات خاک می‌شوند. این بدان معنی است که نفت خام آغشته به نفت را نشان می‌دهد.

ساختار خاک را به ساختار لخته شده اما پراکنده تبدیل می‌کنند (Haghsheno and Arabani, 2024). شکل ۱ به صورت شماتیک ساختار لخته شده اما پراکنده خاک رس آغشته به نفت را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایش شماتیک آغشته شدن ذرات خاک رس با نفت خام (Haghsheno and Arabani, 2024)
Fig. 1. Schematic representation of clay impregnation with crude oil (Haghsheno and Arabani, 2024)

با توجه به این که نفت دارای دو قسمت اجزاء سبک‌تر و سیال‌تر نفت و ترکیبات سنگین و کم‌تحرک نفتی است، ترکیبات سبک، دارای تحرک بیشتری بوده و توان ورود به فضاهای درونی ذرات خاک را داشته و حتی قادر است به فضای بین لایه‌های کانیهای رسی وارد شود (Yang and Pan, 2000)، ولی ترکیبات سنگین فقط به فضای بین ذرات خاک نفوذ کرده و بیشتر به صورت پوششی، سطح ذرات خاک را احاطه می‌کند (Wilhelms et al., 1996).

همچنین مطالعات نشان می‌دهد که ظرفیت تبادل کاتیون (CEC) برای رس حاوی نفت بطور چشمگیری کمتر از رس بدون نفت می‌باشد که این امر، کاهش سطح ویژه را تایید می‌کند. کاهش در سطح ویژه باعث کاهش در چسبندگی خاک می‌شود (Abbasi, 2018). در پژوهش‌های پیشین نیز رفتار خاک‌های رسی آلوده با خاصیت خمیری بالا در آزمایش بر مستقیم به خاک‌های غیرچسبنده تشبیه شده است (Ur-Rehman et al., 2007).

خاصیت خمیری خود را از دست می‌دهند و غیرخمیری می‌شوند، چون ذرات باردار خاک توسط گازوئیل احاطه می‌شوند گازوئیل مانع تاثیرات آب بر ذرات رسی می‌شود و این پدیده سبب تمایل تغییر رفتار خاک رسی می‌شود (Rajaei et al., 2019).

در تحقیق حاضر تاثیر مقادیر مختلف نفت خام بر میزان واگرایی خاک رس با استفاده از آزمایشات پین هول و هیدرومتری مضاعف و همچنین مطالعه بافت خاک با میکروسکوپ الکترونی (SEM) بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

جهت انجام آزمایش‌ها، از خاک ریزدانه محدوده پالایشگاه شازند در ۲۵ کیلومتری غرب اراک واقع در استان مرکزی استفاده شده است. در محدوده پالایشگاه با هدف بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی، تعداد ۷۰ گمانه به اعماق ۵۰ تا ۶۰ متر به وسیله شرکت پژوهش عمران راهوار در سال ۱۳۹۸ حفاری شده است. در حفاری برخی گمانه‌ها مغزه

میکروسکوپ الکترونی (SEM) بررسی شده است.

شد. تصویری از خاک پایه در شکل ۳ نشان داده شده است. بر روی خاک پایه آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری، چگالی ویژه ذرات (Gs)، حدود اتربرگ و تراکم استاندارد مطابق دستورالعمل ASTM انجام شده است. مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. نوع خاک مطابق رده بندی نظام متحد CL (رس با خاصیت خمیری کم) بوده و در شکل ۴ نمودار دانه بندی خاک پایه ارائه شده است.

گیری صورت گرفته است. در شکل ۲ تصویری از جعبه‌های مغزه‌های حفاری نشان داده شده است. نمونه‌های خاک از گمانه‌های حفاری شده در محدوده پالایشگاه شازند برداشته شده و به آزمایشگاه انتقال داده شده است. خاک چند عمق مختلف (اعماق ۱ تا ۱۰ متری) از ۵ گمانه با هم مخلوط شده و نمونه خاک پایه بدست آمده و حدود ۳۰ کیلوگرم از خاک پایه مورد نظر در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در کوره خشک شده و از الک شماره ۱۰ (اندازه منافذ ۲ میلی‌متر) عبور داده



شکل ۲. تصویری از مغزه‌های حفاری گمانه در محدوده پالایشگاه شازند (Pazhohesh Omran Rahvar Co., 2018)
Fig. 2. Image of borehole drilling cores in Shazand Refinery (Pazhohesh Omran Rahvar Co., 2018)

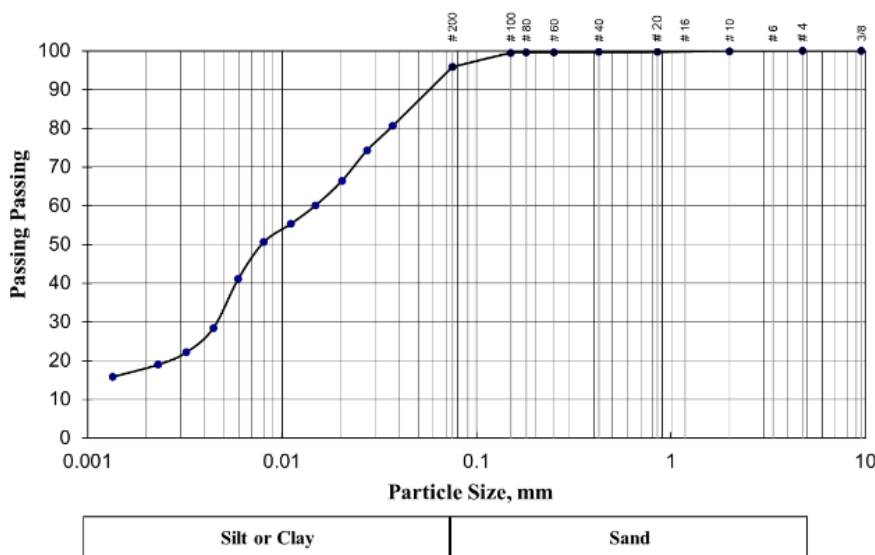


شکل ۳. تصویری از خاک پایه
Fig. 3. An image of the base soil

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک پایه

Table 1. Physical and chemical characteristics of the base soil

قهوه‌ای روشن	رنگ خاک
CL	طبقه بندی خاک
47	LL%
21	PI%
2.65	Gs
9.3	pH
0.22	SO ₃ ⁻² %
0.014	CL %
1.3	مقدار مواد آلی %



شکل ۴. نمودار دانه‌بندی خاک پایه

Fig. 4. The particle-size distribution curve of base soil sample

آسماری، بنگستان و خامی، نفت‌های مخازن آسماری و بنگستان از لحاظ ژئوشیمیایی بسیار شبیه به یکدیگر است. در جدول ۲ مشخصات فیزیکی و شیمیایی نفت خام مورد استفاده نشان داده شده است.

نفت خام مورد استفاده از پالایشگاه شازند دریافت شده است. در شکل ۵ تصویری از آن نشان داده شده است. این نفت از میدان نفتی مارون که متشکل از مخازن



شکل ۵. تصویری از نفت خام مورد استفاده در این مطالعه
Fig. 5. Image of the crude oil used in this study

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی نفت خام مورد استفاده (Shazand Refinery Laboratory, 2021)
Table 2. Physical and chemical characteristics of the crude oil used (Shazand Refinery Laboratory, 2021)

مقدار	واحد	مشخصات
31.3	API°	وزن API
0.1	%	مقدار آب
27.2	mm ² /s	ویسکوزیته در دمای ۱۰ درجه
17.3	mm ² /s	ویسکوزیته در دمای ۲۰ درجه
8.1	mm ² /s	ویسکوزیته در دمای ۴۰ درجه
7.5	PTB	مقدار نمک
60	kPa	فشار بخار نفت خام

روش تهیه و عمل آوری نمونه‌ها

خاک پایه مورد نظر به ۵ قسمت تقسیم شده و به هر قسمت مقادیر ۰-۵-۱۰-۱۵-۲۰ درصد وزنی خاک خشک، نفت خام به صورت اسپری افزوده شده و بهم زده شد تا به صورت همگن در آید. بلافاصله هر قسمت در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و سر آنها بسته شد

تا از تبخیر مواد نفتی جلوگیری شود. در شکل ۶ تصویری از نمونه‌های تهیه شده نشان برای آزمایشات پین هول و هیدرومتری دابل داده شده است. این نمونه‌ها حداقل به مدت ۷ روز در همین وضعیت نگهداری شد تا نفت جذب ذرات خاک شود.



شکل ۶. تصویری از نمونه‌های آغشته به مقادیر مختلف نفت

Fig. 6. Image of samples impregnated with different amounts of oil

بر روی نمونه‌های با مقادیر مختلف نفت آزمایشات حدود روانی و خمیری تعیین شده و نتایج به صورت جدول ۳ بدست آمده است. با افزایش مقدار نفت مقدار شاخص خمیری (PI) خاک کم می‌شود.

نتایج و بحث

بر روی نمونه‌های تهیه شده با مقادیر مختلف نفت، آزمایشات مختلفی انجام شده که در ادامه نتایج آنها ارائه شده است.

۱- آزمایشات تعیین حدود اتربرگ

جدول ۳. نتایج آزمایشات تعیین حدود اتربرگ خاک دارای مقادیر مختلف نفت

Table 3. Results of Atterberg limit tests of soil with different amounts of oil

20	15	10	5	0	درصد نفت
					حدود اتربرگ
44	47	37	41	47	LL %
35	34	25	25	26	PL %
9	13	12	16	21	PI %

و نتایج آنها در جدول ۴ آورده شده است. مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر خاک پایه ۱/۷۱ گرم بر سانتی متر مکعب و مقدار رطوبت بهینه ۱۶/۵ درصد بدست آمده است.

۲- آزمایشات تراکم

آزمایش تراکم بر روی نمونه خاک پایه و خاک دارای مقادیر مختلف نفت به روش (ASTM D698 (2018) انجام گردیده

جدول ۴. نتایج آزمایشات تراکم خاک به روش استاندارد (پروکتور) با مقادیر مختلف نفت

Table 4. The results of compaction tests by the standard method (Proctor) with different amounts of oil

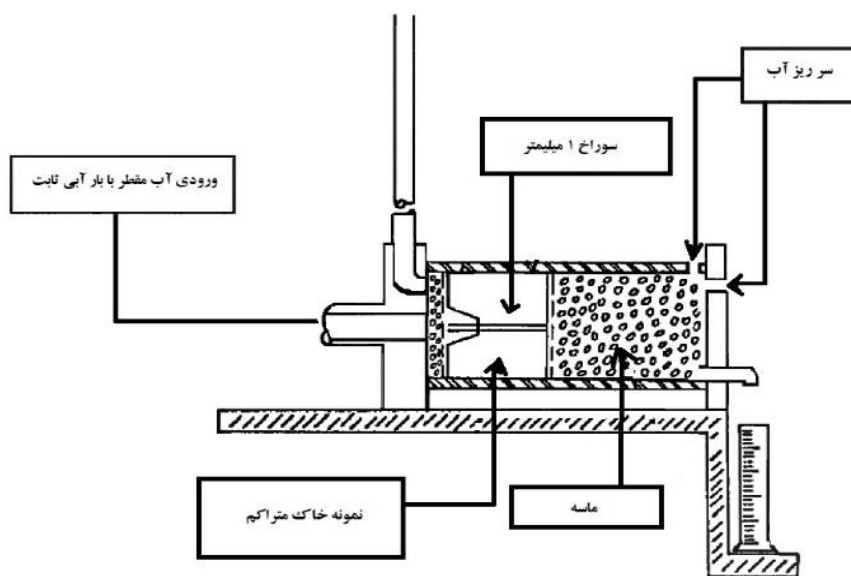
درصد رطوبت بهینه (%)	وزن مخصوص خشک حداکثر (gr/cm ³)	درصد نفت
16.5	1.71	0
14.9	1.72	5
13.5	1.76	10
11.1	1.79	15
9.8	1.81	20

پین هول (سوراخ سوزنی) است. شکل ۷ قسمت‌های مختلف

دستگاه آزمایش پین هول را نشان می‌دهد.

۳- آزمایشات پین هول

مهمترین آزمایش برای تعیین واگرایی یک خاک، آزمایش



شکل ۷. قسمت‌های مختلف دستگاه پین هول (ASTM D4647, 2016)

Fig. 7. Different parts of the pinhole device (ASTM D4647, 2016)

بر اساس درجه واگرایی، خاکها به شش گروه D1، D2، ND1 و ND2، ND3، ND4 طبقه‌بندی می‌شوند که در این طبقه بندی D1 بیانگر بسیار واگرا و ND1 بیانگر حالت غیرواگرا است (ASTM D4647). مقدار آب و شفافیت آب خروجی در زمان معین و قطر نهائی سوراخ تعبیه شده در پایان آزمایش، معیارهای به کار گرفته شده برای

قالب آزمایش پین هول شامل محفظه استوانه‌ای شفاف به طول ۱۰۰ میلی‌متر و قطر ۳۲ میلی‌متر دارای منافذ ورود و خروج آب و خروج هوا می‌باشد و سوزن پین هول، به قطر ۱ میلی‌متر و طول ۶۷ میلی‌متر دارای دسته برای هدایت است و هدایت‌گر سوزن، به شکل مخروط ناقص متصل به سطح تخت از جنس برنج می‌باشد (Wilson, 1970).

افقی باشد. جریان آب مقطر از داخل سوراخ تحت بار هیدرولیکی (Head) ۵۰، ۱۸۰، ۳۸۰ میلیمتر عبور داده شد و سپس میزان شفافیت آب خروجی و قطر سوراخ ارزیابی گردید. بار هیدرولیکی اعمال شده در این آزمایش، از دو تا ۱۵ درصد و سرعت جریان از ۳۰ تا ۱۶۰ سانتیمتر در ثانیه تغییر می‌کرد. آزمایش پین هول طبق سه روش A، B یا C است که برای تشخیص واگرایی نمونه‌های موجود در این پژوهش، از روش A استفاده شده است. در جدول ۵ خلاصه معیارهای آزمایش پین هول بر اساس استاندارد [ASTM D4647](#) ارائه شده است. در شکل ۸ دستگاه آزمایش پین هول مورد استفاده در این تحقیق به همراه یک نمونه آزمایش شده نشان داده شده است.

ارزیابی درجه واگرایی نمونه خاک است. در این تحقیق ابتدا مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد وزنی خاک پایه، نفت اضافه کرده و سپس وزن مخصوص و رطوبت مورد نظر خاک را بدست آوردیم و آنگاه ۲۴ ساعت به خاک زمان داده می‌شود تا فرصت جذب نفت به وسیله کانی‌های رسی فراهم شود. در لوله پیرکس اقدام به انجام نمونه سازی گردید به این صورت که ۵ لایه و هر لایه با فشار متراکم شد به نحوی که مقدار وزن مخصوص خاک به وزن مخصوص خشک حداکثر حاصل از آزمایش تراکم پروکتور (۱/۷۱) گرم بر سانتی متر مکعب) برسد. در انتها طول نمونه آزمایش ۳۸ میلیمتر بوده و به کمک سوزنی به قطر ۱ میلیمتر که از هادی سوزن عبور می‌کند سوراخی در امتداد طولی نمونه ایجاد شد. سپس نمونه در وضعیتی قرار گرفته که این سوراخ

جدول ۵. معیارهای ارزیابی نتایج آزمایشات پین هول (ASTM D4647, 2016)

Table 5. Criteria for evaluating pinhole test results (ASTM D4647, 2016)

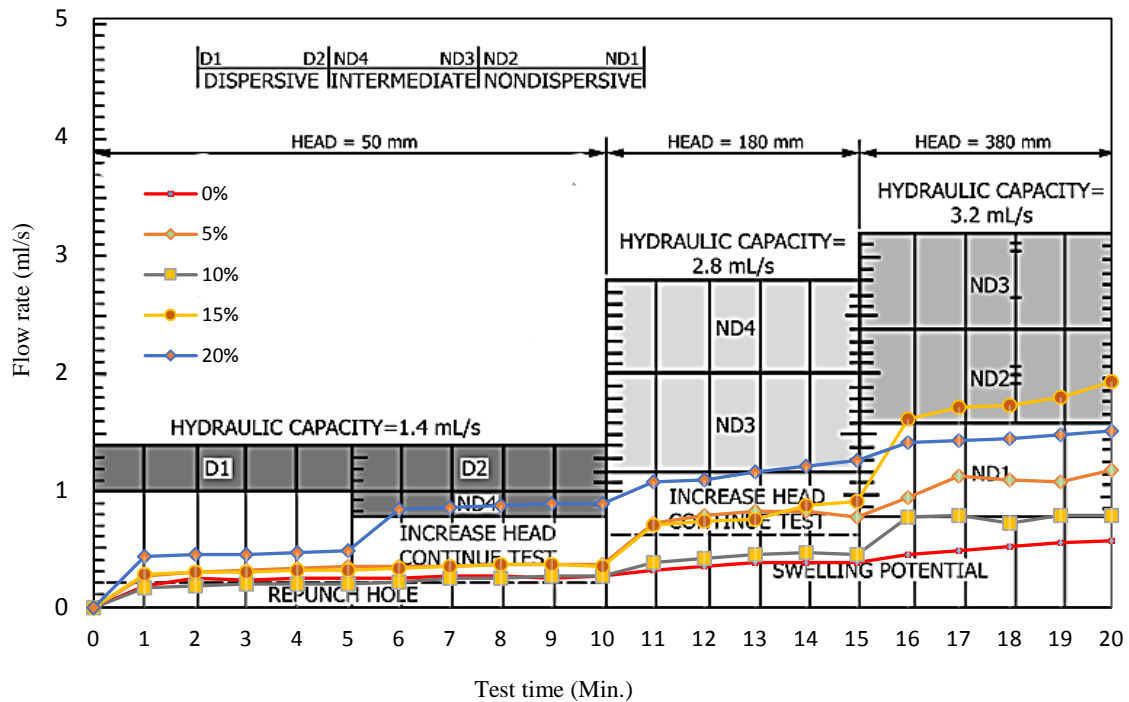
اندازه سوراخ پس از آزمایش (mm)	تیرگی آب خروجی در پایان آزمایش		سرعت نهایی عبور آب داخل نمونه (میلی متر بر ثانیه)	زمان آزمایش برای هد معین (دقیقه)	ارتفاع آبی (میلیمتر)	طبقه بندی واگرایی
	از کنار	از بالا				
≥ 2.0	خیلی تیره	تیره	1-1.4	5	50	D1
> 1.5	تیره	نسبتا تیره	1-1.4	10	50	D2
≤ 1.5	نسبتا تیره	کمی تیره	0.8-1.0	10	50	ND4
≥ 1.5	کمی تیره	به زحمت قابل مشاهده	1.4-2.7	5	180	ND3
---	---	--	1.8-3.2	5	380	---
< 1.5	به زحمت قابل مشاهده	شفاف	> 3	5	1020	ND2
1.0	کاملا شفاف	کاملا شفاف	≤ 3	5	1020	ND1

(ND1)، نمونه‌های دارای ۱۰ و ۱۵ درصد نفت خام خاصیت متوسط واگرا (ND3) و نمونه دارای ۲۰ درصد نفت خاصیت متوسط واگرا (ND4) را نشان می‌دهند. همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است، خواص پراکندگی هر یک از ۵ نمونه با افزایش مقدار نفت خام تمایل به واگرایی دارند.

در شکل ۹ نتایج آزمایش های پین هول انجام شده بر روی نمونه‌هایی با مقادیر مختلف نفت خام بر حسب زمان در مقابل سرعت جریان ارائه شده است. همچنین تغییرات در خواص پراکندگی نمونه‌ها ناشی از مقادیر مختلف نفت خام در جدول ۶ آورده شده است. مشاهده می‌شود که نمونه‌های تهیه شده با ۰ و ۵ درصد نفت خام، خاصیت غیرواگرا



شکل ۸. تصاویری از آزمایشات تعیین واگرایی خاک به روش پین هول
 Fig. 8. Images of tests to determine soil dispersive using the pinhole method



شکل ۹. دبی جریان عبوری (Q) از نمونه نسبت به زمان جمع‌آوری آزمایش در بارهای آبی مختلف آزمایشات پین هول
 Fig. 9. Flow rate passing through the sample (Q) in relation to the cumulative time of the test in different water loads of the pinhole tests

جدول ۶: نتایج آزمایش تعیین واگرایی خاک به روش پین هول

Table 6. Results of tests to determine soil dispersive using the pinhole method

توصیف واگرایی خاک در آزمایش پین هول	زمان (min)	ارتفاع (mm)	جریان		بیشینه دبی آب عبوری از سوراخ (ml/s)	کدورت آب خروجی از نمونه		درصد نفت
			میلی لیتر	ثانیه		از کنار	از بالا	
ND1 (کاملاً غیرواگرا)	1-5	50-1020	16-139	60	2.32-0.35	کاملاً شفاف - کمی تیره	کاملاً شفاف	5
ND3 (واگرایی متوسط)	1-5	50-1020	10-112	60	1.87-0.20	کمی تیره	تقریباً شفاف	10
ND3 (واگرایی متوسط)	1-5	50-1020	17-185	60	3.08-0.32	کمی تیره	تقریباً شفاف	15
ND4 (واگرایی متوسط به بالا)	1-5	50-1020	26-233	60	3.88-0.48	تقریباً تیره	تقریباً تیره	20

جدول ۷: جمع بندی نتایج آزمایشات تعیین واگرایی خاک به روش پین هول

Table 7. Summary results of tests to determine soil dispersive using the pinhole method

توصیف واگرایی	رده بندی واگرایی	درصد نفت
غیرواگرا	ND1	0
غیرواگرا	ND1	5
متوسط	ND3	10
متوسط	ND3	15
متوسط به بالا	ND4	20

هیدرومتری مضاعف علاوه برای انجام آزمایش هیدرومتری معمولی، یک بار هم آزمایش هیدرومتری بر روی نمونه بدون محلول پراکنده ساز صورت می گیرد. منحنی های دانه بندی هر دو نوع هیدرومتری ترسیم شده و مقدار درصد ذرات ریزتر از ۰/۰۰۵ میلیمتر در هر دو روش تعیین می گردد. آنگاه درصد واگرایی به شرح زیر تعیین می شود:

$$\text{درصد ذرات کوچکتر از } 5 \text{ میکرون در آزمایش هیدرومتری بدون محلول پراکنده ساز} \times 100 = \frac{\text{درصد ذرات کوچکتر از } 5 \text{ میکرون در آزمایش هیدرومتری با محلول پراکنده ساز}}{\text{درصد ذرات کوچکتر از } 5 \text{ میکرون در آزمایش هیدرومتری بدون محلول پراکنده ساز}} \times 100$$

واگرایی بین ۳۰ تا ۱۵ درصد باشد، نشان دهنده احتمال واگرایی متوسط و در صورتی که نسبت واگرایی کمتر از ۱۵ درصد باشد احتمال واگرا نبودن خاک را نشان می دهند. از آنجا که نتایج این آزمایش تابع عوامل متعددی از جمله

بررسی واگرایی خاک با آزمایشات هیدرومتری مضاعف

آزمایش هیدرومتری بر روی خاک بر اساس ASTM D4221 انجام می شود که در آن محلول پراکنده ساز (هگزا متافسفات سدیم) با غلظت ۴ درصد و نیز همزن مکانیکی برای جداسازی دانه ها مورد استفاده قرار می گیرد. در آزمایش

بر اساس طبقه بندی (Sherard et al. 1976) که در جدول ۸ آورده شده است، چنانچه نسبت واگرایی بیشتر از ۵۰ درصد باشد، خاک دارای پتانسیل واگرایی بوده و چنانچه بیشتر از ۳۰ درصد باشد، خاک احتمالاً واگراست. اگر نسبت

رطوبت خاک و خمیرائی آن می‌باشد، لذا نتایج حاصل باید با
احتیاط و در مقایسه با نتایج سایر روشها مورد استفاده قرار
گیرد.

جدول ۸. طبقه بندی خاک‌ها مطابق طبقه بندی (Sherard et al. (1976)

Table 8. Classification of soils according to the classification of Sherard et al. (1976)

پتانسیل واگرایی خاک	درصد واگرایی
غیرواگرا	≤ 15
واگرایی ناچیز	15-30
واگرایی ملایم	30-50
واگرایی شدید	≥ 50

جهت بررسی اثر نفت خام بر واگرایی خاک‌های ریزدانه، از
نتایج آزمایشات هیدرومتری مضاعف بر روی نمونه‌های حاوی
۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد نفت خام نیز استفاده شده است
(شکل ۱۰).



شکل ۱۰. تصویری از آزمایشات هیدرومتری مضاعف بر نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف نفت

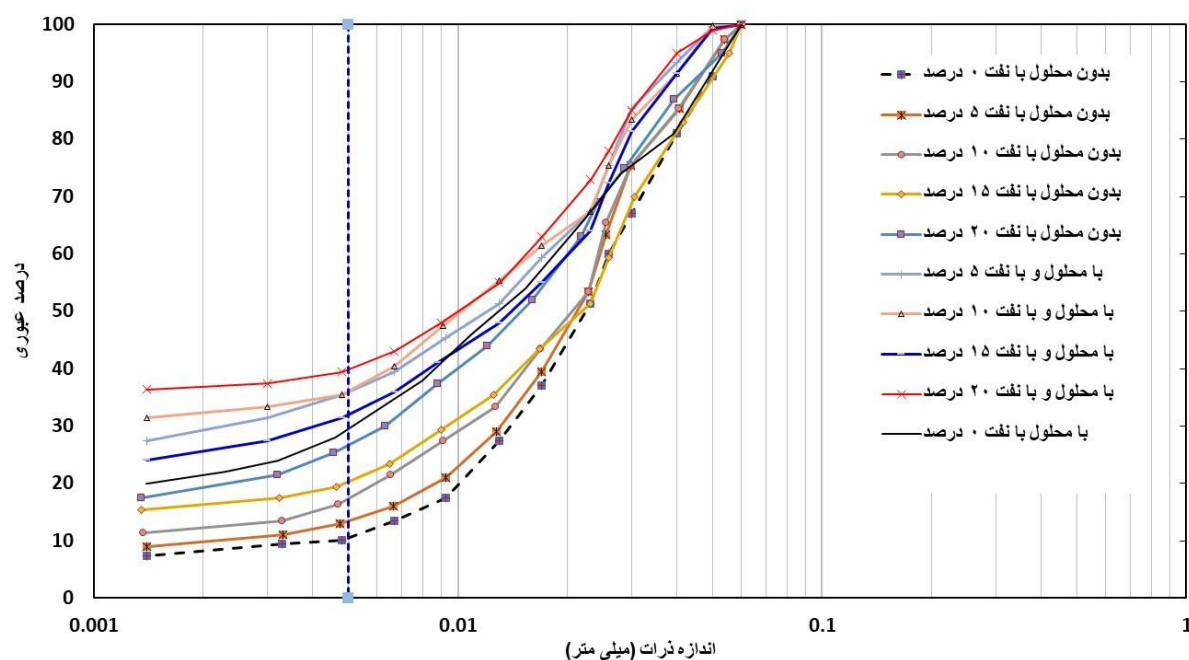
Fig. 10. Image of double hydrometric tests on samples containing different amounts of oil

نتایج آزمایشات هیدرومتری مضاعف در جدول ۹ و شکل ۱۱
ارائه شده است. با توجه به نتایج آزمایشات هیدرومتری با
افزودن ۵ و ۱۰ درصد نفت خام به خاک ریزدانه، درصد
واگرایی به ترتیب ۳۲ و ۴۷ درصد بدست آمده که نشان
دهنده واگرایی متوسط می‌باشد. افزودن نفت به مقدار ۱۵ و
۲۰ درصد نفت به خاک سبب افزایش درصد واگرایی به ۵۱
و ۸۴ درصد می‌شود.

جدول ۹. نتایج آزمایشات تعیین درصد واگرایی خاک به روش هیدرومتری مضاعف

Table 9. The result of double hydrometric tests for determining of dispersivity percent of soil

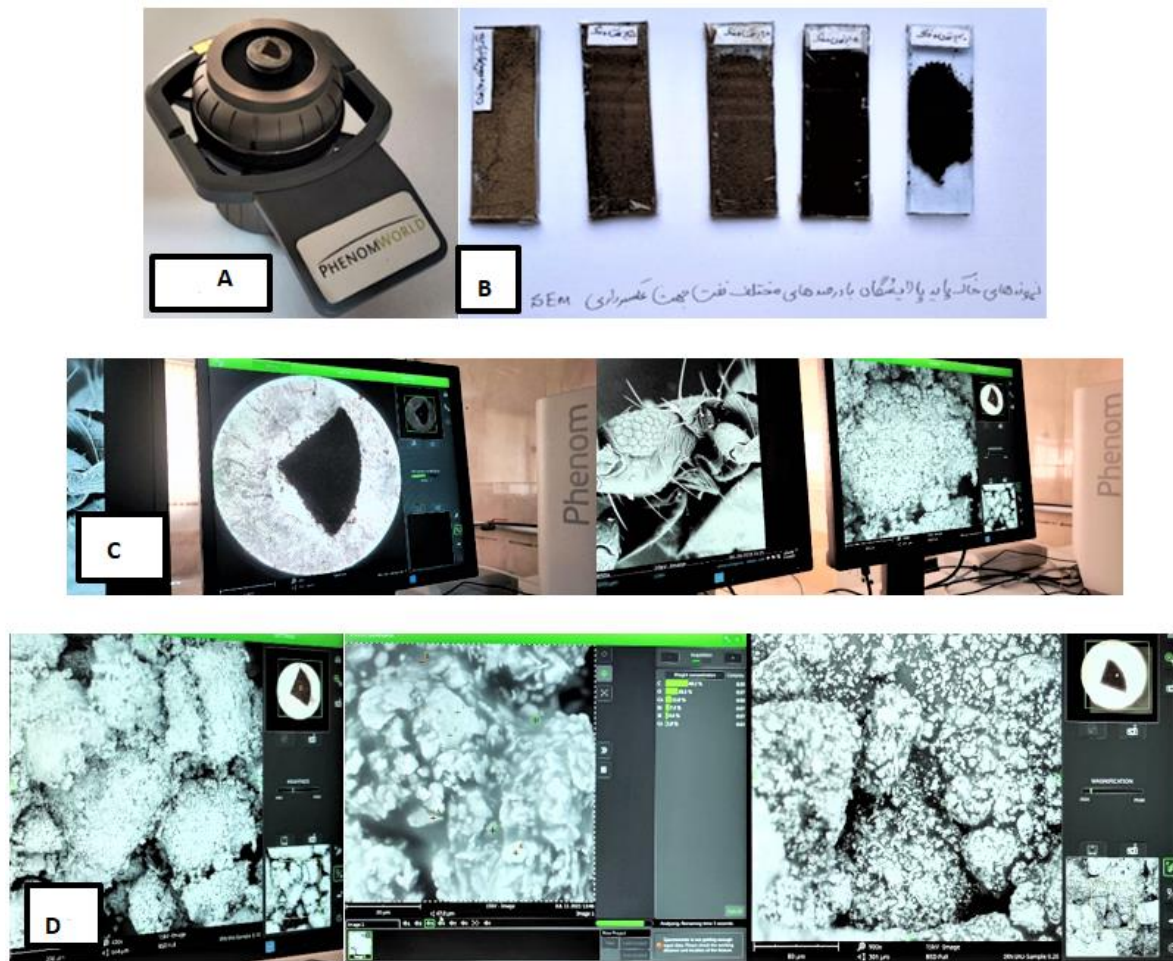
درصد نفت	درصد واگرایی	توصیف واگرایی
۰	29	واگرایی ناچیز
۵	32	واگرایی متوسط
۱۰	47	واگرایی متوسط
۱۵	51	واگرایی شدید
۲۰	84	واگرایی شدید



شکل ۱۱. نمودارهای آزمایشات هیدرومتری مضاعف بر روی نمونه‌های با مقادیر مختلف نفت
 Fig. 11. Curves of double hydrometric tests on samples with different amounts of oil

آغستگی با نفتی قرار می‌گیرد، بخش سبک نفت خام، فضای بین حفره‌ای و خلل و فرج ذرات خاک رس را پر می‌کند. این فرآیند لخته‌هایی را تشکیل می‌دهد که شبیه به ذرات سیلت یا حتی ماسه هستند (Ur-Rehman et al., 2007). تصاویر SEM نمونه خاک پایه (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که سطح ذرات خاک در خاک پایه، بافت پراکنده است و ذرات ریز قابل مشاهده است و هیچ لخته مشخصی در این میکروگرافها مشاهده نشده است. با افزودن ۵ درصد نفت خام، می‌توان لخته شدن را مشاهده کرد. به طور کلی، خاک لخته شده دارای استحکام بالاتر، تراکم پذیری کمتر و نفوذپذیری بالاتری نسبت به همان خاکی است که در حالت پراکنده با نسبت فضای خالی یکسان قرار می‌گیرد (Lambe and Whitman, 1991).

بررسی بافت خاک با میکروسکوپ الکترونی SEM
 برای مشاهده و بررسی بافت خاک و پخش ذرات نفت خام از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, Cambridge S360) با قدرت بزرگ نمایی تا ۴۰۰۰ برابر و رزولوشن $300(\mu m)$ در $15kV$ و برای تعیین اندازه نانوذرات از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM, EM208S) استفاده شد. برای آماده سازی نمونه‌ها جهت عکس برداری، ابتدا نمونه‌های مکعبی با ابعاد حداکثر ۱ سانتی متر از نمونه‌های آغشته به نفت آماده شده و پس از شماره گذاری و خشک کردن، روی پایه مخصوص دستگاه SEM ثابت شده و در نهایت در مقابل تفنگ الکترونی قرار داده شدند (شکل ۱۲). تصاویر SEM نمونه‌های خاک با مقادیر مختلف نفت در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که زمانی که خاک در معرض



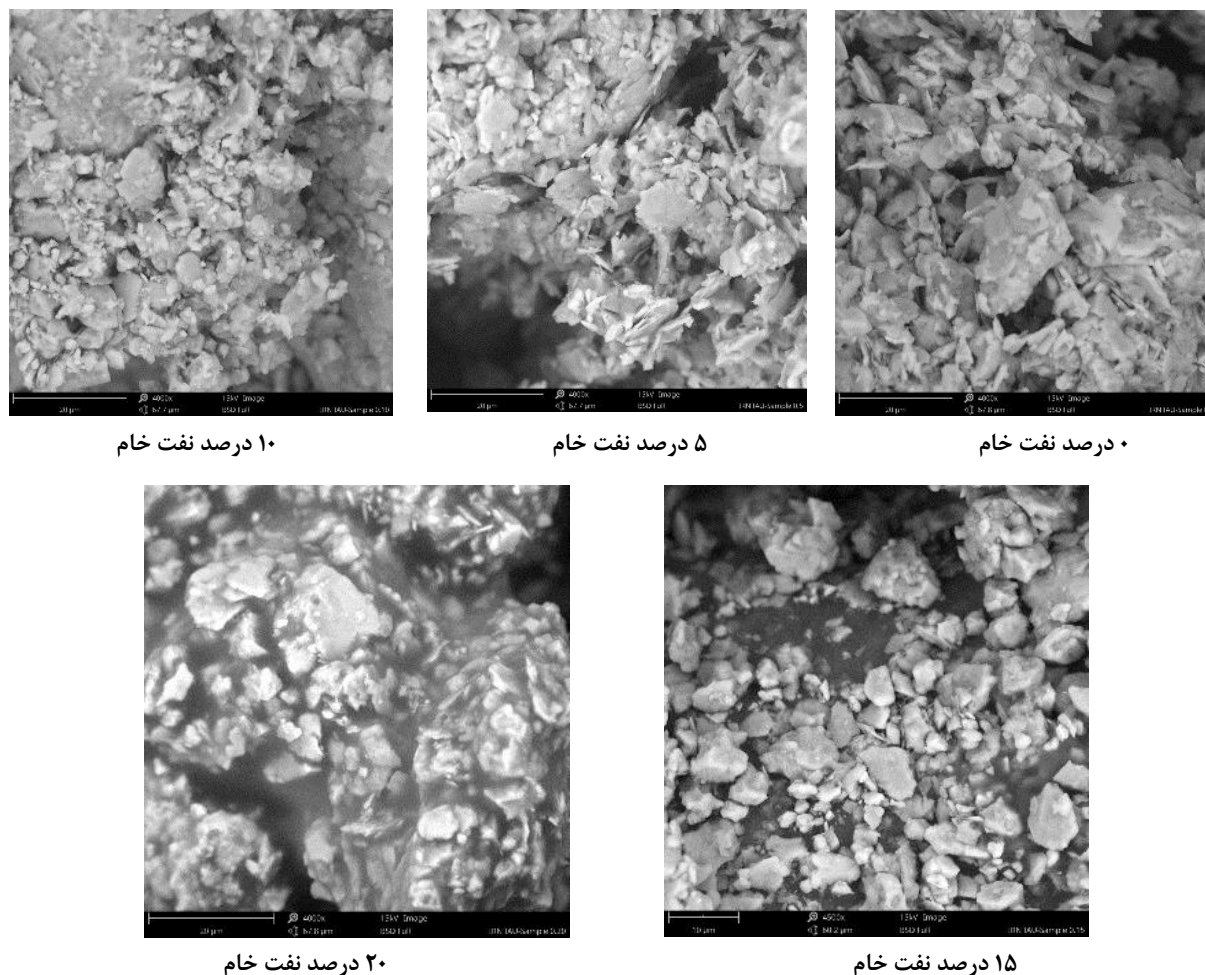
شکل ۱۲. تصاویری از نحوه آماده سازی و عکس برداری میکروسکوپی SEM (A : نمونه‌های آماده جهت عکس برداری، B) پایه مخصوص دستگاه SEM، C) تفنگ الکترونی و نمایشگر تصاویر، D) عملیات عکسبرداری و آنالیز عنصر نمونه‌ها

Fig. 12. Pictures of how to prepare and photograph SEM microscopy: a) Samples ready for photographing, b) Special stand for SEM device, c) Electron gun and image display, d) Photographing and elemental analysis.

بر اساس نتایج آزمایشات پین هول، هیدرومتری مضاعف و بررسی عکسهای SEM، نمونه بدون نفت خام، ویژگیهای خاک غیرواگرا (ND1)، نمونه‌های دارای ۵ و ۱۰ درصد نفت خام خاصیت متوسط واگرا (ND3 تمایل به واگرایی) و نمونه‌های دارای ۱۵ و ۲۰ درصد نفت خاصیت واگرا (ND4) تمایل به واگرایی) را نشان می‌دهند. نتایج آزمایشات پین هول، هیدرومتری مضاعف و عکسهای SEM با یکدیگر تطابق خوبی داشته و افزایش خاصیت واگرایی خاک با افزایش مقدار نفت را نشان می‌دهد.

از سوی دیگر برای آغستگی تا ۵ درصد، یک لایه نازک از نفت خام در مجاورت با ذرات خاک پایه به عنوان یک رابط چسبناک عمل می‌کند و به خاک پایه کمک می‌کند تا ساختار خود را حفظ کند و در نتیجه مقاومت برشی افزایش می‌یابد. برای نمونه‌هایی با شدت آغستگی بیشتر مانند ۱۵ و ۲۰ درصد نفت خام، ضخامت این لایه از یک مقدار بحرانی فراتر رفته و باعث می‌شود که ذرات روی یکدیگر بلغزند.

بحث



شکل ۱۳. تصاویر SEM از تغییرات بافت و ساختار خاک با مقادیر مختلف نفت خام (بزرگنمایی حدود ۴۰۰۰)
 Fig. 13. SEM images of soil texture and structure changes with different amounts of crude oil (magnification about 4000)

مخلوط خاک با ۵ و ۱۰ درصد نفت خام باعث لخته شدن یکپارچه توده خاک می‌شود. اثر ترکیبی آب و ۱۵ درصد نفت خام باعث افزایش لخته شدن در نمونه خاک می‌گردد. با افزایش ۲۰ درصد نفت خام به خاک، بیشتر فضای بین حفره-ای ذرات خاک رس از سیال سبک نفت خام احاطه شده است. در نتیجه با افزایش درصد نفت خام، فضاهای بیشتری اشغال شده و باعث تشکیل یک لایه آب دوگانه اطراف ذرات رس شده و پراکندگی بیشتر خاک می‌شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) نمونه خاک رس توسط یلدیز و الگان (Olgun and Yildiz, 2010) نشان

اثر نفت بر خاک رس و واکنشهای فیزیکی-شیمیایی خاک رس با نفت، موجب افزایش تبادلات کاتیونی شده و در نتیجه باعث افزایش خاصیت واگرایی خاک می‌گردد. نتایج بدست آمده با مطالعات پیشین که نشان دهنده اثر کاتیونها و آنیونها در افزایش واگرایی است، مطابقت دارد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هر چه میزان رس بیشتر باشد، تاثیرگذاری آن هم بیشتر می‌شود. افزودن نفت خام به خاک باعث تشکیل مجموعه‌هایی مجزا از هم از ذرات رس و تشکیل ساختار توده‌ای (Aggregated) گردیده و در نتیجه سطح ویژه کاهش می‌یابد.

شده و همچنین بافت خاک با مقادیر مختلف نفت به وسیله میکروسکوپ الکترونی بررسی شده است. مهمترین نتایج بدست آمده به شرح زیر است:

- نتایج حاصل از انجام آزمایشات پین هول، هیدرومتری مضاعف و بررسی بافت خاک با عکسهای SEM نشان داد که نمونه‌های خاک پایه (خاک بدون نفت) غیرواگرا (ND1) است و با افزودن ۵ درصد نفت خام، بخشی از فضای بین حفره‌ای خاک را مولکولهای نفت خام پر می‌کند. این فرآیند سبب فولکوله شدن (لخته شدن) خاک شده که ساختاری شبیه به ذرات سیلت یا ماسه ایجاد می‌کند.
- نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد نفت خام، خاصیت واگرایی متوسط (ND3) تمایل به واگرایی دارند و افزایش درصد نفت سبب پراکندگی ذرات شده و نشانگر این است که نفت ذرات خاک را احاطه کرده و موجب لغزندگی ذرات رس بر روی یکدیگر می‌گردد.
- با افزودن ۲۰ درصد نفت خام، فضای بین حفره‌ای بیشتری از ذرات خاک رس را سیال نفت پوشانده و سبب می‌شود که خاک تمایل بیشتری به واگرایی (ND4) نشان دهد. در مجموع با افزایش مقدار نفت خام، خاک تمایل بیشتری به واگرایی پیدا می‌کند.
- بر اساس بررسی بافت خاک به وسیله میکروسکوپ الکترونی، با افزایش مقدار نفت فضای بین حفره‌ای بیشتری با خاک پر شده و منجر به کاهش سطح ویژه ذرات خاک می‌شود.

قدردانی

از پالایشگاه شازند اراک به خاطر ارائه اطلاعات و از آزمایشگاه تدبیر خاک صبا به خاطر فراهم ساختن امکان انجام آزمایشات قدردانی می‌شود.

می‌دهد که ذرات رس منعقد شده و در حضور سیالات آلی با ثابت دی الکتریک پایین، ساختاری تشکیل می‌دهند. هنگامی که نفت خام منافذ بین ذرات رس را پر کرد و جایگزین آب شد، ذرات جدا می‌شوند. میزان درجه تجمع ذرات با کاهش ثابت دی الکتریک و با افزایش نسبت سیال به آب افزایش می‌یابد. اگر پس از آن آب به خاک رس آغشته به نفت خام اضافه شود، به دلیل ثابت دی الکتریک بالا (بیشترین در بین تمام مایعات)، می‌تواند پیوند نفت و خاک رس را جدا کند.

در نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد نفت خام، با افزایش تدریجی مقدار نفت، نفت خام فضای بین حفره‌ای بیشتری را پوشش می‌دهد و منجر به کاهش سطح ویژه خاک (Soil specific surface area (SSA)) خاک می‌شود. با افزایش درصد نفت خام، حاشیه‌ها و لبه‌های تیز ذرات کمتر مشخص می‌شود. تغییرات در ثابت دی الکتریک سیال منفذی می‌تواند بر ضخامت لایه دوگانه تأثیر بگذارد (Mitchell, 2005). Soga and که در خاکهای آغشته به نفت خام رخ می‌دهد. از آنجایی که ثابت دی الکتریک نفت خام (بین ۲-۲/۲) کمتر از آب (یعنی ۸۰) است، افزودن نفت به خاک ضخامت لایه دوگانه را کاهش داده (McBride, 1994) و منجر به کاهش انسجام خاک می‌گردد (Safehian et al., 2018).

نتیجه‌گیری

یک تحقیق آزمایشگاهی به منظور بررسی اثر نفت خام بر خاصیت واگرایی خاکهای ریزدانه انجام شده است. برای این منظور نمونه خاک از چند نقطه محدوده پالایشگاه شازند برداشته شده و بعد از اختلاط یک نمونه خاک پایه تهیه شد. همچنین از نفت خام خوراک پالایشگاه مذکور یک نمونه اخذ گردید. نمونه‌هایی با مقادیر مختلف نفت خام تهیه شده و بعد از عمل آوری بر روی نمونه‌ها آزمایشات واگرایی انجام

References

- Abbasi, N. (2018). Investigating the role of anions in the saturated extract in the divergence potential of clay soils, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3):15-30. (In Persian)
- ASTM D4221 (2018). Standard Test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer, doi:10.1520/D4221-18.
- ASTM D4318 (2016). Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soil, *Annual Books of ASTM Standards*, doi:10.1520/D4318-17E01.
- ASTM D698 (2018). Standard test methods for laboratory compaction characteristic, *Annual Books of ASTM Standard*, doi:10.1520/D0698-12R21
- ASTM D4647 (2016). Standard test methods for identification and classification of dispersive clay soils by the pinhole test, *Annual Books of ASTM Standards*.
- Bazargan, J., Esmaili, S. (2018). Evaluation and modification of the chemical criterion for detecting the divergence potential of clay soils, *Journal of Engineering Geology*, 2(4):917-942. (In Persian)
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations*. Third ed. John Wiley and Sons, New York, USA, 588p.
- Dinh, B., Nguyen, A., Jang, S., Kim, Y. (2021). Evaluation of erosion characteristics of soils using the pinhole test, *Geotechnical Engineering*, 12:16, doi:10.1186/s40703-021-00145-4
- Emerson, W.W. (1964). A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Australian Journal of Soil Research*, 2: 211-217.
- Fatima, B., Alshameri, B., Hassan, W., Maqsood, Z., Jamil, S.M., Madun, A. (2023). Sustainable incorporation of plaster of Paris kiln dust for stabilization of dispersive soil: A potential solution for construction industry, *Construction and Building Materials*, 397, 132459, doi:10.1016/j.conbuildmat.2023.132459
- Haghsheno, H., Arabani, M. (2024). Stabilization and solidification of oil-polluted soils using secondary stabilizers and industrial wastes, *International Journal of Environmental Science and Technology* 21: 2129–2162, doi:10.1007/s13762-023-05285-x
- Hasani, R., Asghari-Kaljahi, E., Majidian, S. (2023). Effect of Crude Oil on the Physical and Mechanical Properties of Fine-Grained Soils of Arak Shazand Refinery Zone, *Journal of Civil and Environment Engineering*, 53(4):126-137. doi:10.2034/CEEJ.2023.54167.2201.2. (In Persian)
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., Sheahan, T.C. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. doi:10.4236/ojce.2013.33B006
- Jafari, H.R., Hassanlourad, M., Hassanlou, M.R. (2013). Dispersion potential of a clay soil stabilized by Alum. A Case Study. *Soils and Rocks*, 36(2): 221-228.
- Khabazi, H., Hasanlorad, M. (2017). The effect of oil pollutants on the diverging properties and shear strength of divergent clay soils, *Amirkabir Engineering Journal*, 50(2):401-408. doi:10.22060/ceej.2016.870. (In Persian)
- Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Sabour, M.R., Yazdani, H. (2013). Geotechnical properties of gas oil-contaminated kaolinite, *Engineering Geology*, 166:11–16. doi:10.1016/j.enggeo.2013.08.004
- Knappett, J., Craig, R.F. (2019). *Soil mechanics*. CRC press, doi:10.1201/9781351052740.
- Lambe, T.W., Whitman, R.V. (1991). *Soil mechanics*, John Wiley and Sons, 576 p.
- Li, T., Zhu, Z., Wu, T., Ren, G., Zhao, G. (2024). A potential way for improving the dispersivity and mechanical properties of dispersive soil using calcined coal gangue, *Journal of Materials Research and Technology*, 29: 3049-3062, doi:10.1016/j.jmrt.2024.01.281.
- Marandi, S., Hamidi, S., Selajgeh, A. (2014). Validation of variance tests in soils with pasty properties and low variance potential (a case study of some regions of Iran), *Journal of Civil Engineering and Environment*, 45(3): 52-63. (In Persian)
- McBride, M.B. (1994). *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, 300p
- Mitchell, J.K., Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior*, John Wiley and Sons, 111p. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.06.004
- Mitchell, I.V. (2005). *Pillared layered structures: current trends and applications*, Elsevier Applied

- Science, doi: 10.1180/claymin.1992.027.1.13
- Mohanty, S., Roy, N., Prasad, S., Sihag, P. (2021). Strength and durability of fly ash, GGBS and cement clinker stabilized dispersive soil. *Cold Regions Science and Technology*, 191, 103358. doi:10.1016/j.coldregions.2021.103358
- Olgun, M., Yildiz, M. (2010). Effect of organic fluids on the geotechnical behavior of a highly plastic clayey soil. *Applied Clay Science*, 48(4): 615-621. doi:10.1016/j.clay.2010.03.015
- Ouhadi, V.R., Goodarzi, R.V. (2006). Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum. *Engineering Geology*, 85: 91-101, doi:10.1016/j.enggeo.2005.09.042
- Ozturk, O., Turkoz, M. (2021). Effect of silica fume on the undrained strength parameters of dispersive soils, *Turkish Journal of Engineering*, 6(4), doi:10.31127/tuje.1001413
- Pan, C., Yang, J. (2000). Geochemical characteristics and implications of hydrocarbons in reservoir rocks of Junggar basin. *China. Chemical Geology*, 167: 321-335, doi:10.1016/S0009-2541(99)00236-3
- Pzhohesh Omran Rahvar Co. (2018), Report on the drilling studies of the piezometric boreholes of Shazand Refinery, submitted to Imam Khomeini Oil Refinery Company (Shazand). (In Persian)
- Rajaei, F., Lashkaripour, Gh., Ghafouri, M. (2013). Investigating the effects of diesel pollution on the geomechanical properties of clay: a case study of Shirvan region, the 15th conference of the Geological Society of Iran, Tarbiat Modares University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Roshangar, K., Alami, M. Hoshiar, Y. (2019). Laboratory investigation of the effect of lime on the process of self-healing and divergence of clay soils (case study: Gordian dam), *Amirkabir Civil Engineering Journal*, 52(6): 1360-1347. (In Persian)
- Safehian, H., Rajabi, A.M., Ghasemzadeh, H. (2018). Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil. *Engineering Geology*, 241: 55-63, doi:10.1016/j.enggeo.2018.04.020
- Sattari, D., Akbari, M. A., Solimanzadeh, A. (1998). Investigating the causes of damage to the lining of pumping channel 3 of Moghan and its treatment methods. The first national seminar on geotechnical issues of irrigation and drainage networks of technical research and agricultural engineering institutes, Iran. (In Persian)
- Shazand Refinery Laboratory (2021), Crude oil analysis report. (In Persian)
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S. (1976). Identification and nature of dispersive soils. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 102 (4): 287-301, doi:10.1061/AJGEB6.0000256
- Udom, B.E., Ikiriko, M.E., Gogo, A.J., Dickson, A.A. (2024). Water dispersible clay and micro-structure of soils from coastal plain sands, shale and false-bedded sandstones. *Soil Security*, 16, 100137, doi:10.1016/j.soisec.2024.100137
- Umesha, T.S., Dinesh, S.V., Sivapullaiah, P.V. (2009). Control of dispersivity of soil using lime and cement. *International journal of geology*, 1: 8–16.
- Ur-Rehman, H., Abduljawwad, S.N., Akram, T. (2007). Geotechnical behavior of oil contaminated fine-grained soils. *Electronic Journal Geotechnical Engineering*, 12.
- Vakili, A.H., Salimi, M., Keskin, I., Jamalimoghadam, M. (2024). A systematic review of strategies for identifying and stabilizing dispersive clay soils for sustainable infrastructure, *Soil and Tillage Research*, 239, 106036, doi:10.1016/j.still.2024.106036
- Vyas, S., Phougat, N., Sharma, P., Ratnam, M. (2011). Stabilization of dispersive soil by blending polymers. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4: 52–54
- Wilson, S.D. (1970). Moisture-density relationships of soils using Harvard compaction apparatus. *Symposium on Special Procedures for Testing Soil and Rock for Engineering Purposes*, 5th ed., 101–103.
- Wilhelms, A., Horstad, I., Karlsen Sequential, D. (1996). extraction-a useful tool for reservoir geochemistry *Organic Geochemistry*. 24:1157-1172, doi:10.1016/s0146-6380(96)00100-3
- Xu, X., Lei, H., Wang, Q., Yuan, X., Guo, L., Yu, Z. (2024). Polyaluminum chloride (PAC) modification of dispersive soil: A comprehensive study on dispersivity, mechanical properties, and microscale mechanisms. *Construction and Building Materials*, 425, 135890, doi:10.1016/j.conbuildmat.2024.135890

Yong, R.N., Sethi, A.J., Ludwig, H.P., Jorgensen, M.A. (1978). Physical chemistry of dispersive clay particle interaction. American Society of Civil Engineers, Chicago, 1-21.

Zanjarani Farahani, M., Hamidi, A. (2014).

Investigation of behavior and consolidation parameters of kaolinite clay contaminated with petroleum derivatives. Journal of Iranian Petroleum Geology, 4(8):1-15. (In Persian).