Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Evaluation of aggregate stability under the influence of the application of petroleum compounds in soils with different textures

Raziyeh Daryaee[1], Ali Akbar Moosavi[*2], Reza Ghasemi[3], Masoud Riazi[4]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: raziyeh.daryaee@shirazu.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: aamousavi@gmail.com
3. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: ghasemif@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Petroleum Engineering, College of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: mriazi180@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 01.14.2022
Revised: 06.11.2022
Accepted: 07.29.2022

Keywords:
Clay loam,
Crude oil,
Gasoline,
Kerosene,
Loamy sand,
Sandy loam

ABSTRACT

Background and Objectives: Oil pollutants are inevitable consequence of rapid population growth and the process of industrialization. Their spread in soil can affect many soil properties, especially aggregate stability. Particle size distribution and aggregate stability are of the main physical and hydraulic characteristics of soil that study of these indices is the basis of soil conservation strategies and is one of the most important parameters in identifying the status of soil structure. Iran is an oil-rich country and the effect of different petroleum compounds on aggregate stability and stability indices including mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregates in soils of different textures have not been studied so far. Therefore, this study aimed to investigate the effect of different levels of crude oil, kerosene, and gasoline as the three high-consumption petroleum products on the stability of aggregates in three soils with clay loam, sandy loam, and loamy sand textures.

Materials and Methods: In this study, the effect of 0, 1.5, 3.5, and 4.5% levels of crude oil, kerosene, and gasoline on the stability of aggregates in clay loam, loamy sand, and sandy loam soils was investigated in a factorial completely randomized design experiment. Studied stability indices were the mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregates deterimined using both dry and wet sieving approaches. Finally, the results of the research were analyzed using EXCEL and SAS statistical softwares and the means of each separate treatment as well as their interactions compared using the Duncan's multiple range test at the 5% level.

Results: The results showed that the mean dry weight of aggregate diameters in the loamy sand and sandy loam soils was significantly lower than that of the clay loam soil by nearly 72% and 56%, respectively. The reductions were about 78% and 69% for the dry geometric mean diameter of aggregates. Furthermore, the dry mean weight diameter of aggregates in the soils treated by kerosene and gasoline were more than that of the crude oil- treated soils by nearly 17% and 25%, respectively. The mentioned increaments were about 22% and 35% for the dry geometric mean diameter. The wet mean weight diameter of aggregates in the loamy sand

soils was significantly higher than that of the clay loam and sandy loam soils by nearly 20% and 35%, respectively. Furthermore, the wet geometric mean diameter of aggregates in the loamy sand soils was significantly higher than that of the clay loam and sandy loam soils by nearly 91% and 12%, respectively. The wet mean weight diameter of aggregates in the soils treated by kerosene and gasoline was significantly lower than that of the crude oil- treated soils by nearly 32% and 8%, respectively. Furthermore, the wet geometric mean diameter of aggregates in the soils treated by kerosene and gasoline was significantly lower than that of the crude oil-treated soils by nearly 34% and 14%, respectively.

Conclusion: Overall, the results indicated that the application of low levels of petroleum products significantly increased the wet and dry mean weight diameter of aggregates and geometric mean diameter of aggregates; whereas, high levels reduced the above-mentioned attributes. The results of this study can be used in both aspects of identifying and monitoring the properties of oil-contaminated soils for their remediation and making appropriate management decisions, as well as conservation of soils the destructive erosion phenomenon.

Cite this article: Daryaee, Raziyeh, Moosavi, Ali Akbar, Ghasemi, Reza, Riazi, Masoud. 2022. Evaluation of aggregate stability under the influence of the application of petroleum compounds in soils with different textures. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 25-45.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2022.19559.3526
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۰۶۹-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۲۷۹٤-۲۳۲۲

ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها تحت‌تأثیر کاربرد ترکیبات نفتی در خاک‌های با بافت مختلف

راضیه دریایی[۱]، سید علی‌اکبر موسوی*[۲]، رضا قاسمی[۳]، مسعود ریاضی[٤]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: raziyeh.daryaee@shirazu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: aamousavi@gmail.com
۳. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: ghasemif@gmail.com
٤. دانشیار گروه مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: mriazi180@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۰/۲٤
تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۵/۰۷

واژه‌های کلیدی:
شن لومی،
گازوئیل،
لوم رسی،
لوم شنی،
نفت خام،
نفت سفید

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی‌های نفتی یک پیامد اجتناب‌ناپذیر حاصل از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن هستند که انتشار آن‌ها در خاک می‌توانند بر بسیاری از ویژگی‌های خاک به‌ویژه پایداری خاکدانه‌ها مؤثر باشند. توزیع اندازه ذرات و پایداری خاکدانه‌ها از ویژگی‌های اصلی فیزیکی خاک هستند که بررسی این شاخص‌ها، پایه و اساس استراتژی‌های حفاظت خاک بوده و از پارامترهای بسیار مهم در شناسایی وضعیت ساختمان خاک می‌باشند. ایران کشوری نفت‌خیز است و تاکنون اثر ترکیبات نفتی مختلف بر پایداری خاکدانه‌ها و شاخص‌های پایداری شامل میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های با بافت مختلف بررسی نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به‌عنوان سه ماده نفتی پرمصرف بر پایداری خاکدانه‌ها در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر سطوح صفر، ۱/۵، ۳ و ٤/۵ درصد نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی در قالب طرح کاملاً تصادفی در یک آزمایش فاکتوریل بررسی شد. شاخص‌های پایداری موردمطالعه شامل میانگین وزنی و هندسی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها بودند که به ترتیب با استفاده از روش‌های الک خشک و تر اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL و SAS تجزیه‌وتحلیل و میانگین‌های مربوط به اثر جداگانه و برهمکنش‌های هر یک از تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۷۲ و ٥٦ درصد و میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در این خاک‌ها به ترتیب به میزان حدود ۷۸ و ٦۹ درصد کم‌تر از خاک لوم رسی بود. هم‌چنین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به ترتیب به میزان حدود ۱۷ و ۲۵ درصد و میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۲۲ و ۳۵ درصد بیش‌تر بود. میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی در مقایسه با خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۲۰ و ۳۵ درصد و میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۹۱ و ۱۲ درصد بیش‌تر بود. هم‌چنین میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۳۲ و ۸ درصد و میانگین هندسی‌تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۳٤ و ١٤ درصد کم‌تر بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد کاربرد سطوح کم مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی و هندسی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها شد درحالی‌که سطوح زیاد سبب کاهش ویژگی‌های مذکور شد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در هر دو بعد شناسایی و پایش ویژگی‌های خاک‌های آلوده به مواد نفتی برای اصلاح و اتخاذ تصمیمات مدیریتی و هم‌چنین به‌منظور حفاظت از خاک در برابر پدیده مخرب فرسایش قابل‌استفاده باشد.

استناد: دریایی، راضیه، موسوی، سید علی‌اکبر، قاسمی، رضا، ریاضی، مسعود (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها تحت‌تأثیر کاربرد ترکیبات نفتی در خاک‌های با بافت مختلف. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (۲)، ۴۵-۲۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19559.3526

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

آلودگی‌های نفتی یک پیامد اجتناب‌ناپذیر حاصل از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن هستند و ازآن‌جاکه بیش‌تر تأسیسات پالایشگاهی بر روی خاک احداث می‌شوند، آلودگی خاک با مواد نفتی در محدوده پالایشگاه‌ها با توجه به پوسیدگی مخازن، پوسیدگی یا شکست خطوط لوله‌های انتقال و یا تصادف تانکرها در مسیر انتقال امری شایع است (۱). آلاینده‌های نفتی با اثرات منفی زیست‌محیطی گوناگون و تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک و آب، کیفیت آن‌ها را به مخاطره انداخته و سلامت بشر را تهدید می‌کند (۲). فراورده‌های نفتی ازجمله رایج‌ترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌هایی هستند که سبب آلودگی محیط‌زیست می‌شوند (۱). زندگی بشر وابسته به منابع انرژی و به‌ویژه سوخت‌های فسیلی همچون نفت خام و دیگر فراورده‌های نفتی پرمصرف هم‌چون نفت سفید و گازوئیل است. هیدروکربن‌های نفتی مذکور به‌صورت طبیعی هم در مواد شیمیایی که توسط انسان و برای فعالیت‌های مختلف شامل سوخت‌گیری وسایل نقلیه و گرم کردن منازل استفاده می‌شوند، وجود دارند. نشت ترکیبات نفتی تحت‌تأثیر نیروهای موئینگی و ثقلی منجر به حرکت عمودی در خاک‌های غیراشباع شده و خلل و فرج خاک را پر می‌کند (۳). حضور ترکیبات نفتی در خاک می‌تواند سبب بروز سمیت برای انسان و سایر موجودات زنده و نیز آلودگی آب‌های زیرزمینی شود. هیدروکربن‌های نفتی یکی از شایع‌ترین گروه آلوده‌کننده‌های آلی زیست‌تخریب‌پذیر در محیط‌زیست می‌باشند (٤) و از مشکلات بسیار مهم و عمده‌ای است که محیط‌زیست انسان و سایر موجودات زنده را به‌طورجدی تهدید می‌کند (۵)، بنابراین پالایش مکان‌های آلوده به ترکیبات نفتی امری ضروری و مهم است که لازمه آن شناخت و بررسی تأثیر این آلاینده‌ها بر ویژگی‌های خاک است (٤). مطالعاتی که تاکنون در ارتباط با اثر آلودگی‌های نفتی بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و مقاومت خاک‌ها انجام‌شده، نشان می‌دهد که برخی ویژگی‌های خاک ازجمله نفوذپذیری، زاویه اصطکاک داخلی، حدود آتربرگ و سایر ویژگی‌های مقاومتی خاک‌آلوده نسبت به خاک طبیعی متفاوت است (٦ و ۷). عمده مطالعات در ارتباط با اثر آلودگی خاک بر نفوذپذیری خاک بوده که در کشاورزی بسیار دارای اهمیت بوده و دارای نقشی بسیار مهم و ارتباط زیاد با سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک است (۸ و ۹). بررسی و مطالعه منابع گذشته در حیطه موردپژوهش نشان داد افزودن آلاینده‌های آلی، بسته به نوع آن‌ها اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها خواهد داشت. اما نکته دارای اهمیت آن است که آب‌گریزی یک ویژگی کلیدی در پایداری خاک است و در پی افزایش شدت آب‌گریزی، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد (۱۰).

با توجه به این‌که ایران کشوری نفت‌خیز است، آلوده شدن خاک با مواد نفتی مختلف در ایران امری شایع است و ازاین‌رو شناسایی رفتار خاک در مواجهه با این مشکل و کشف چگونگی مدیریت آن امری ضروری است. از طرفی تاکنون مطالعه مقایسه‌ای برای بررسی اثر سطوح مختلف آلاینده‌های پرمصرف و مهم بر پایداری خاکدانه‌ها و شاخص‌های مرتبط با پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های با بافت مختلف انجام‌نشده است. بنابراین این پژوهش باهدف بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به‌عنوان سه ماده نفتی پرمصرف بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۸ و در بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه (عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ٤٦ دقیقه شرقی، و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) انجام شد. پژوهش به‌صورت گلدانی، در قالب آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح صفر، ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد جرمی از سه نوع آلاینده آلی نفت خام، نفت سفید و گازوئیل و سه نوع بافت خاک مختلف شامل کلاس بافت‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی بودند. خاک با بافت لوم رسی به‌صورت طبیعی از خاک سری دانشکده واقع در منطقه باجگاه و دو بافت دیگر به‌صورت مصنوعی و دست‌ساز تهیه شد. به‌این‌ترتیب که برای تهیه ۳ کیلوگرم از نمونه‌های خاک موردنظر، به مقدار لازم از دو نوع بافت خاک رس لومی و شنی به‌عنوان بافت پایه که به ترتیب از سری کوی اساتید دانشکده کشاورزی شیراز و منطقه سیوند استان فارس تهیه‌شده بودند استفاده شد. برای ساخت ۳ کیلوگرم خاک با بافت شن لومی به ترتیب مقدار ۹۳/٤۸ و ٦/٥۲ درصد از خاک‌های شنی و لوم رسی و برای ساخت ۳ کیلوگرم خاک با بافت لوم شنی به ترتیب مقدار ٤٦/١٦ و ٥۳/۸٤ درصد از خاک‌های شنی و لوم رسی استفاده و ترکیب شد. لازم به ذکر است در نمونه‌هایی از خاک‌های موردمطالعه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بافت خاک‌های تهیه‌شده نیز با روش هیدرومتر (۱۱) اندازه‌گیری شد. برای آشنایی بیش‌تر با ترکیب شیمیایی و ساختار آلاینده‌های نفتی مورد مطالعه، نیز آزمایش‌هایی در آزمایشگاه مرکزی نفت دانشکده نفت دانشگاه شیراز انجام و نتایج گزارش شد (جدول ۲).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های اولیه خاک‌های مورداستفاده در پژوهش.

Table 1. Some basic characteristics of soils used in the research.

ویژگی‌ها Attributes	خاک Soil		
	خاک اول First soil	خاک دوم Second soil	خاک سوم Third soil
کلاس بافت خاک Texture	Clay Loam	Loamy Sand	Sandy Loam
رس (درصد) Clay (%)	29.93	3.6	8.95
سیلت (درصد) Silt (%)	32.78	9.15	28.31
شن (درصد) Sand (%)	37.29	87.25	62.74
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	0.885	0.341	0.477
پ‌هاش خمیر اشباع pH of saturated paste	7.63	7.38	7.68
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity of saturated extract (dS/m)	0.736	0.861	0.640
کربنات کلسیم معادل (درصد) Calcium carbonate equivalent (%)	36.85	39.75	25.15
سدیم محلول (میلی‌گرم در لیتر) Soluble sodium (mg/L)	31.10	37.90	30.17

جدول ۲- برخی ویژگی‌های مواد نفتی مورد استفاده در پژوهش.

Table 2. Some properties of petroleum products used in the research.

ویژگی (واحد) Properties (unit)	مقدار Amount			روش/ وسیله اندازه‌گیری Method / measuring device
	گازوئیل Gasoline			
ویسکوزیته دینامیک (کیلوگرم بر متر ثانیه) Dynamic viscosity (kg/m.s)	4.26×10^{-3}			ویسکومتر چرخشی Rotary viscometer
ویسکوزیته سینماتیک (مترمربع بر ثانیه) Kinematic viscosity (m^2/s)	4.93×10^{-6}			ASTM D445-03
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg/m^3)	864.7			پیکنومتر Pycnometer
	نفت سفید Krosene			
ویسکوزیته دینامیک (کیلوگرم بر متر ثانیه) Dynamic viscosity (kg/m.s)	1.61×10^{-3}			ویسکومتر چرخشی Rotary viscometer
ویسکوزیته سینماتیک (مترمربع بر ثانیه) Kinematic viscosity (m^2/s)	1.94×10^{-6}			ASTM D445-03
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg/m^3)	830.0			پیکنومتر Pycnometer
	نفت خام Crude oil			
ویسکوزیته دینامیک (کیلوگرم بر متر ثانیه) Dynamic viscosity (kg/m.s)	ویسکوزیته دینامیک Dynamic viscosity	سرعت دورانی rad/s	گشتاور (%) Torque	ویسکومتر چرخشی Rotary viscometer
	50.8×10^{-3}	3.142	25.4	
	50.9×10^{-3}	5.236	42.3	
	52.2×10^{-3}	7.330	60.8	
	53.6×10^{-3}	9.424	80.3	
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg/m^3)	923.1			پیکنومتر Pycnometer

تمام ویژگی‌های فوق در فشار ٦٤٠ میلی‌متر جیوه و دمای ٢٦/٥ درجه سانتی‌گراد (دما و فشار معمول آزمایشگاه) اندازه‌گیری شده‌اند.

All the above mentioned characteristics were measured at a pressure of 640 mm Hg and a temperature of 26.5 °C (normal laboratory temperature and pressure).

پس از آماده‌سازی بافت‌های خاک، تیمارهای نفتی با درصدهای ذکر شده و در سه تکرار به خاک‌های مورد مطالعه اضافه شد، سپس نمونه‌های ۳ کیلوگرمی تیمار شده به گلدان‌های استوانه‌ای شکل پلاستیکی منتقل شد و به مدت ۷۲ ساعت در یک محیط در بسته و در داخل پاکت، به منظور اثرگذاری بهتر و بیش‌تر آلاینده بر خاک و جلوگیری از تبخیر آن‌ها نگهداری شدند. پس از گذشت ۷۲ ساعت، نمونه‌ها توزین و سپس به مدت ده هفته و هر هفته یک بار در حد رطوبت ظرفیت مزرعه برای هر بافت، با آب مقطر آبیاری شدند (لازم به ذکر است دوره زمانی ذکر شده برای آزمایش، بر اساس نتایج سایر پژوهش‌های مرتبط قبلی و نظرات نهایی اعضای محترم تیم پژوهش انتخاب شده است). پس از اتمام این مدت زمان، نمونه‌ها برای انجام و بررسی آزمایش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی شامل میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش‌های الک تر و خشک آماده شد که روش اندازه‌گیری ویژگی‌های نام برده در ادامه شرح داده خواهد شد. برای تعیین میانگین وزنی (MWD)[1] و هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)[2] از روش‌های الک خشک و تر استفاده شد (۱۲). این روش‌ها براساس اندازه‌گیری جرم خاکدانه‌هایی با اندازه مشخص استوار است. در روش الک خشک مقدار ۵۰ گرم از خاک هوا خشک شده که از الک ٤ میلی‌متر عبور داده شده بود توزین شد و بر روی سری الک‌هایی با قطر سوراخ ۳/۱۵، ۲، ۱/٦، ۰/۸، ۰/٤، ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۵ میلی‌متر که به ترتیب اندازه سوراخ از بزرگ به کوچک و از بالا به پایین مرتب‌شده بودند و در زیر آنان یک سینی تعبیه‌شده بود، قرار داده‌شده و به مدت ۵ دقیقه با ارتفاع لرزش ۱ میلی‌متر و شتاب لرزش ۵ برابر شتاب جاذبه (۵ g) حرکت داده شد. سپس خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک با دقت جدا و توزین شد. در روش الک تر نیز مقدار ۵۰ گرم خاک هوا خشک شده که از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شده بود توزین و بر روی سری الک‌هایی با قطر سوراخ ٤، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۵۳ میلی‌متر که به ترتیب اندازه سوراخ از بزرگ به کوچک و از بالا به پایین مرتب شده بودند و در زیر آن‌ها یک سینی تعبیه شده بود قرار داده شده و بعد از ۱۰ دقیقه درحالی‌که مجموعه الک‌ها با ارتفاع لرزش ۱ میلی‌متر و شتاب لرزش ۵ برابر شتاب جاذبه (۵ g) در آب تکان داده می‌شد و ذرات خاکدانه‌ها به‌ترتیب اندازه روی الک‌ها قرار می‌گرفت، دستگاه خاموش شده و الک‌ها جدا شدند. سپس خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک درون ظروف شسته شد و ظروف به‌مدت ۲٤ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شد. میانگین‌های وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$MWD=\sum_{i=1}^{n} f_i.\bar{d}_i \qquad (۱)$$

$$GMW= \exp[\sum_{i=1}^{n} f_i.(\ln\bar{d}_i)] \qquad (۲)$$

که در آن‌ها، $\bar{d}_i$ متوسط قطر یا اندازه خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه‌ای (میانگین قطر سوراخ الک‌های بالا و پایین) و f_i مقدار نسبی خاکدانه‌های با قطر متوسط $\bar{d}_i$ است.

نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های پایداری خاکدانه‌های خاک در تیمارهای مختلف به‌کاربرده شده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL و SAS تجزیه‌وتحلیل شد و میانگین‌های مربوط به اثر هر یک از تیمارها به‌صورت جداگانه و نیز برهمکنش‌های موردبررسی آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شد.

1- Mean weight diameter
2- Geometric mean diameter

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک نشان داد اثر کاربرد سطوح آلاینده‌های نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. هم‌چنین نتایج نشان داد که اثر بافت خاک، تیمارهای نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و هم‌چنین اثر برهمکنش سه‌تایی بر این ویژگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد به‌طورکلی در هر سه بافت خاک موردمطالعه میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر است. به‌طوری‌که در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی تیمار شده با نفت سفید میزان میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۱۳، ۲ و ۴۱ درصد و در خاک‌های تیمار شده با گازوئیل به ترتیب به میزان حدود ۱۹، ۸ و ٥٦ درصد بیش‌تر از خاک‌های تیمار شده با نفت خام بود (جدول ٤).

هم‌چنین به‌طور میانگین کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد تیمارهای نفتی در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی موردمطالعه روند مشابهی داشت و سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد شد. به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور به ترتیب سبب افزایش حدود ٤١، ٥١ و ٤٨ درصد در خاک‌های لوم رسی و ۹۹، ۱۱٦ و ۱۰۳ درصد در خاک‌های لوم شنی شد؛ درحالی‌که در خاک‌های شن لومی کاربرد سطوح مذکور تیمارهای نفتی اثر معکوسی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها داشت و کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد تیمارهای نفتی سبب کاهش معنی‌دار میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۳ و ۱۲ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ٤).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (سه عاملی) اثر مواد نفتی بر میانگین وزنی، MWD_{dry} و هندسی خشک، GMD_{dry} و میانگین وزنی، MWD_{wet} و هندسی، GMD_{wet} تر قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 3. Results of analysis of variance (three factors) for the effect of petroleum materials on the dry mean weight, MWD_{dry}, and geometric mean, GMD_{dry} diameter of aggregates (mm) in texturally different soils.

میانگین مربعات Mean squares				درجه آزادی Degrees of freedom	منابع تغییر Sources of variation
GMD_{wet}	MWD_{wet}	GMD_{dry}	MWD_{dry}		
7.83^{**}	4.18^{**}	31.78^{**}	40.15^{**}	2	بافت خاک Soil Texture
2.33^{**}	6.70^{**}	1.00^{**}	1.19^{**}	2	نوع ماده نفتی Petroleum materials type
7.81^{**}	12.49^{**}	2.48^{**}	2.09^{**}	3	سطوح مواد نفتی Petroleum materials levels
0.994^{**}	0.942^{**}	0.346^{**}	0.220^{**}	4	برهم‌کنش بافت خاک و نوع ماده نفتی Interaction of soil texture and petroleum materials type
0.462^{**}	0.662^{**}	1.13^{**}	0.656^{**}	6	برهم‌کنش بافت خاک و سطوح مواد نفتی Interaction of soil texture and petroleum materials levels
0.614^{**}	1.39^{**}	0.131^{**}	0.096^{**}	6	برهم‌کنش نوع و سطوح مواد نفتی Interaction of petroleum materials type and levels
0.723^{**}	0.887^{**}	0.137^{**}	0.14^{**}	12	برهم‌کنش بافت خاک، نوع و سطوح مواد نفتی Interaction of soil texture, petroleum materials type and levels
0.04	0.01	0.003	0.0002	72	خطا Error

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند

* and ** show significance at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ٤- اثر سطوح مواد نفتی موردمطالعه بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 4. Effect of studied petroleum materials on mean weight diameter of aggregates measured by dry sieving method (mm) in texturally different soils.

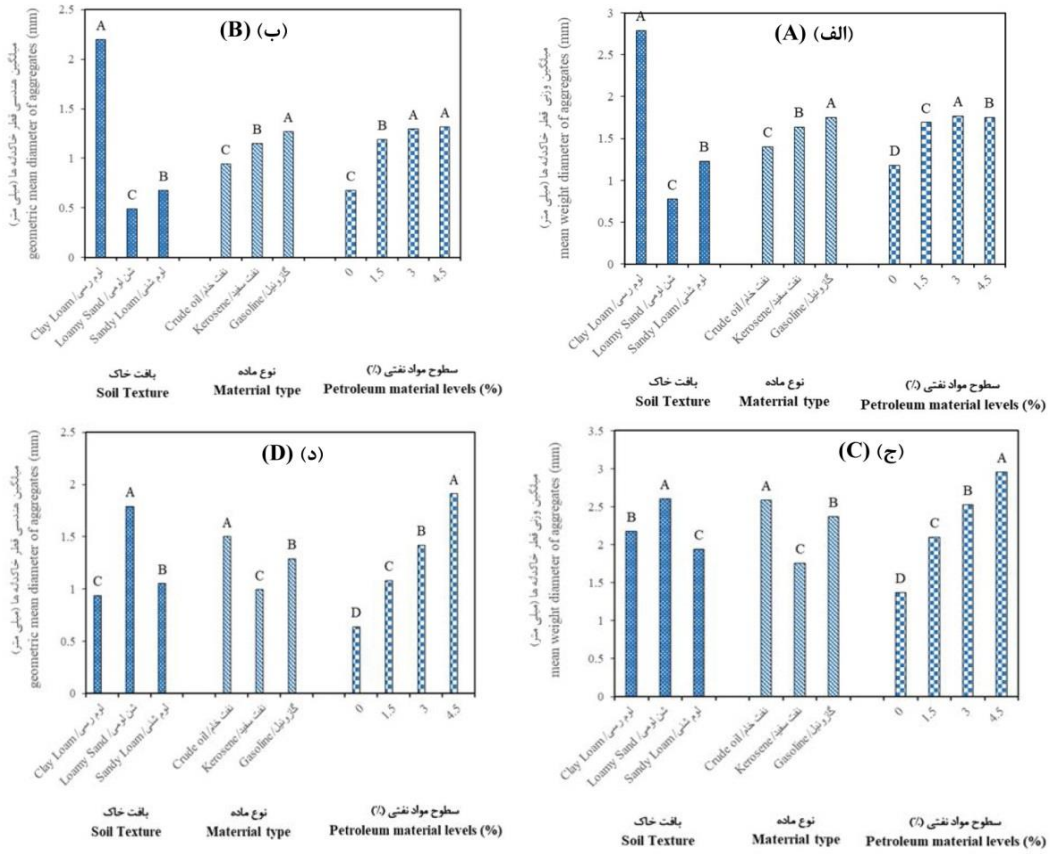
میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum material			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
	بافت لوم رسی (میانگین= 2.79 A) Clay Loam texture (Mean = 2.79 A)			
2.07 D	2.63 j	1.69 l	1.78* k	0
2.91 C	2.97 f	3.08 e	2.68 i	1.5
3.12 A	3.27 b	3.35 a	2.73 h	3
3.06 B	3.15 d	3.25 c	2.78 g	4.5
	3.01 A	2.84 B	2.52 C	Mean میانگین
	بافت شن لومی (میانگین= 0.775 C) Loamy Sand texture (Mean= 0.775 C)			
0.803 A	0.924 a	0.783 c	0.703 f	0
0.782 B	0.759 d	0.908 b	0.679 g	1.5
0.704 C	0.777 c	0.641 h	0.694 f	3
0.809 A	0.777 c	0.722 e	0.927 a	4.5
	0.809 A	0.763 B	0.751 C	Mean میانگین
	بافت لوم شنی (میانگین= 1.23 B) Sandy Loam texture (Mean = 1.23 B)			
0.684 D	0.682 h	0.699 h	0.670 h	0
1.36 C	1.63 bc	1.39 e	1.07 f	1.5
1.48 A	1.81 a	1.54 d	1.10 f	3
1.39 B	1.67 b	1.62 c	0.873 g	4.5
	1.45 A	1.31 B	0.928 C	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند ازنظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان ۳/۳۵ و ۱/٦۹ میلی‌متر و به ترتیب در تیمار ۳ درصد نفت سفید و بدون نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ۰/۹۲۷ و ۰/٦٤۱ میلی‌متر و در تیمار ٤/۵ درصد نفت خام و ۳ درصد نفت سفید مشاهده شد. در خاک‌های لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۱/۸۱ و ۰/٦۷۰ میلی‌متر و در تیمار ۳ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت خام مشاهده شد (جدول ٤).

به‌طورکلی میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۷۲ و ٥٦ درصد کم‌تر از خاک لوم رسی بود (شکل ۱- الف). همچنین به‌طورکلی میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به ترتیب به میزان حدود ۱۷ و ۲۵ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱- الف). به‌طورکلی کاربرد ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ٤۳، ٥۰ و ٤۸ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱- الف).



شکل ۱- اثر سطوح مختلف تیمارهای نفتی مورد آزمایش بر میانگین وزنی (الف) و هندسی (ب) قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک و میانگین وزنی (ج) و هندسی (د) قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر در خاک‌های با بافت مختلف (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند ازنظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

Figure 1. Effect of different levels of oil treatments on mean weight (A) and geometric mean (B) diameter of aggregates measured by dry sieving method and mean weight (C) and geometric mean (D) diameter of aggregates measured by wet sieving method in texturally different soils (Columns followed by the same capital letter are not statistically significant at 5% probability using the Duncan's Multiple Range Test).

تجزیه واریانس میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک نشان داد اثر کاربرد سطوح نفت خام، نفت سفید و گازوئیل، اثر بافت خاک، مواد نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و هم‌چنین اثر برهمکنش سه‌تایی آن‌ها بر میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج نشان داد به‌طور میانگین در هر سه بافت خاک موردمطالعه، میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر است. به‌طوری‌که در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی تیمار شده با نفت سفید میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۲۵، ٦ و ۲٦ درصد و در خاک‌های تیمار شده با گازوئیل به ترتیب به میزان حدود ۳۷، ٤ و ۵۵ درصد بیش‌تر از خاک‌های تیمار شده با نفت خام بود (جدول ۵).

جدول ۵- اثر سطوح مواد نفتی موردمطالعه بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 5. Effect of studied petroleum materials on geometric mean diameter of aggregates by dry sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum materials			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
	بافت لوم رسی (میانگین= 2.20 A) Clay Loam texture (Mean = 2.20 A)			
1.21 C	1.66 g	0.808 i	1.16* h	0
2.28 B	2.37 d	2.50 c	1.97 f	1.5
2.66 A	2.97 a	3.02 a	1.99 f	3
2.66 A	3.01 a	2.80 b	2.18 e	4.5
	2.50 A	2.28 B	1.83 C	Mean میانگین
	بافت شن لومی (میانگین= 0.488 C) Loamy Sand texture (Mean = 0.488 C)			
0.491 B	0.571 b	0.468 c	0.434 cd	0
0.538 A	0.557 b	0.630 a	0.426 d	1.5
0.434 C	0.450 cd	0.437 cd	0.416 de	3
0.490 B	0.385 e	0.468 c	0.616 a	4.5
	0.491 A	0.501 A	0.473 B	Mean میانگین
	بافت لوم شنی (میانگین= 0.679 B) Sabdy Loam texture (Mean = 0.679 B)			
0.332 C	0.280 g	0.328 g	0.389 g	0
0.747 B	0.916 b	0.701 de	0.625 e	1.5
0.818 A	1.04 a	0.790 cd	0.626 e	3
0.819 A	1.08 a	0.875 bc	0.499 f	4.5
	0.829 A	0.674 B	0.535 C	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند ازنظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

به‌طور میانگین اثر کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد تیمارهای نفتی بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی موردمطالعه روند مشابهی داشت و سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد شد. به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی سبب افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۲ برابر در همه موارد شد؛ درحالی‌که در خاک‌های شن لومی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد تیمارهای نفتی روند معکوسی داشت به‌گونه‌ای که کاربرد ۱/۵ درصد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۱۰ درصد شد. در حالی‌که کاربرد ۳ درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۱۲ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ٥).

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به‌میزان ۳/۰۲ و ۰/۸۰۸ میلی‌متر و در خاک تیمار شده با ۳ درصد نفت سفید و بدون کاربرد نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ۰/٦۳۰ و ۰/۳۸٥ میلی‌متر و در خاک‌های تیمار شده با ۱/۵ درصد نفت سفید و ٤/٥ درصد گازوئیل مشاهده شد. در خاک‌های لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۱/۰۸ و ۰/۲۸۰ میلی‌متر و در شرایط تیمار با ٤/٥ درصد گازوئیل و بدون کاربرد گازوئیل (شاهد) مشاهده شد (جدول ٥).

نتایج هم‌چنین نشان داد به‌طورکلی میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۷۸ و ٦۹ درصد کمتر از خاک لوم رسی بود (شکل ۱- ب). میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل نیز در مقایسه با نفت خام به ترتیب به میزان حدود ۲۲ و ۳٥ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱- ب). هم‌چنین نتایج نشان داد به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد تیمارهای نفتی موردمطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۷٦، ۹۲ و ۹٥ درصد در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۱- ب).

بررسی نتایج میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر نشان داد اثر کاربرد سطوح نفت خام، نفت سفید و گازوئیل در سطح احتمال ۱ درصد و اثر بافت خاک، تیمارهای نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و اثر برهمکنش سه‌تایی آن‌ها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج نشان داد به‌طور میانگین در هر سه بافت خاک موردمطالعه، میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام، تغییرات تقریباً مشابهی داشته است. به‌طوری‌که در خاک‌های لوم رسی و شن لومی کاربرد تیمارهای نفت سفید و گازوئیل نسبت به نفت خام سبب کاهش میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۳٦ و ۳۱ درصد در اثر کاربرد نفت سفید و افزایش حدود ۲ درصد در اثر کاربرد گازوئیل در خاک‌های لوم رسی شد (هرچند افزایش حاصل از کاربرد گازوئیل نسبت به نفت خام در هر دو خاک معنی‌دار نبود)؛ در خاک‌های لوم شنی نیز کاربرد نفت سفید و گازوئیل نسبت به نفت خام میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها را

به‌طور معنی‌داری و در حدود ۲۹ درصد در همه موارد کاهش داد (جدول ٦). به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد تیمارهای نفتی در همه خاک‌های موردمطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد (سطح صفر تیمار نفتی) شد. به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک‌های لوم رسی به ترتیب سبب افزایش حدود ۲ برابر در همه موارد؛ در خاک‌های شن لومی نیز حدود ۲ برابر در همه موارد و در خاک‌های لوم شن حدود ۲٦، ٤٥ و ۷۰ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ٦). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین وزنی‌تر قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان ٤/۱۹ و ۰/۹۳۸ میلی‌متر و به ترتیب در خاک تیمار شده با ٤/٥ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت خام (شاهد) مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ٤/۳۰ و ۱/۰٦ میلی‌متر و در خاک تیمار شده با ۳ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۳/۱۷ و ۱/۲۱ میلی‌متر و در شرایط تیمار با ۳ درصد نفت خام و بدون کاربرد گازوئیل (شاهد) مشاهده شد (جدول ٦).

به‌طورکلی میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی نسبت به خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۲۰ و ۳۵ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱- ج). به‌طورکلی میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۳۲ و ۸ درصد کم‌تر بود. نتایج نشان داد به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/٥ درصد تیمارهای نفتی موردنظر سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ٥۳، ۸٥ و ۱۱٦ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱- ج).

نتایج بررسی میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر نشان داد اثر کاربرد سطوح نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. هم‌چنین اثر بافت خاک، تیمار نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و هم‌چنین اثر برهمکنش سه‌تایی بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش تر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طور میانگین در هر سه خاک موردمطالعه تغییرات میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل روند تقریباً مشابهی داشتند. به‌طوری‌که در خاک‌های شن لومی و لوم شنی کاربرد نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام ویژگی یادشده را به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۳۹ و ۲۹ درصد (برای نفت سفید) و به ترتیب به میزان حدود ٥ و ٤۷ درصد (برای گازوئیل) کاهش داد؛ در خاک لوم رسی نیز کاربرد نفت سفید در مقایسه با نفت خام میانگین هندسی تر خاکدانه‌ها را به‌طور معنی‌داری به‌میزان حدود ۳۱ درصد کاهش داد درحالی‌که گازوئیل در مقایسه با نفت خام بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در این خاک‌ها اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

جدول ٦- اثر سطوح مواد نفتی موردمطالعه بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 6. Effect of studied petroleum materials on mean weight diameter of aggregates measured by wet sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum materials			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
	بافت لوم رسی (میانگین= 2.18 B) Clay Loam texture (Mean = 2.18 B)			
1.26 D	1.41 d	1.44 ef	0.938* g	0
2.03 C	1.63 def	1.77 d	2.69 c	1.5
2.35 B	1.76 c	1.35 f	2.95 c	3
3.07 A	4.19 a	1.72 de	3.28 b	4.5
	2.50 A	1.57 B	2.46 A	میانگین Mean
	بافت شن لومی(میانگین= 2.61 A) Loamy Sand texture (Mean = 2.61 A)			
1.41 D	1.62 i	1.06 k	1.54 j	0
2.47 C	2.60 f	1.78 h	3.03 e	1.5
3.17 B	4.30 a	2.06 g	3.15 c	3
3.39 A	3.15 c	3.10 d	3.92 b	4.5
	2.92 A	2.00 B	2.91 A	میانگین Mean
	بافت لوم شنی (میانگین= 1.94 C) Sandy Loamy texture (Mean = 1.94 C)			
1.43 D	1.21 k	1.69 g	1.40 j	0
1.80 C	1.60 h	1.77 f	2.05 d	1.5
2.08 B	1.53 i	1.52 i	3.17 a	3
2.43 A	2.46 c	1.84 e	2.98 b	4.5
	1.70 B	1.71 B	2.40 A	میانگین Mean

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند ازنظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

جدول ۷- اثر سطوح مواد نفتی موردمطالعه بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 7. Effect of studied petroleum materials on geometric mean diameter of aggregates measured by wet sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum materials			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
	بافت لوم رسی (میانگین= 0.935 C) Clay Loam texture (Mean = 0.935 C)			
0.457 C	0.587 de	0.548 de	0.241* e	0
0.698 C	0.654 de	0.863 d	0.577 de	1.5
1.02 B	1.01 cd	0.617 de	1.43 bc	3
1.56 A	2.30 a	0.698 de	1.70 b	4.5
	1.14 A	0.682 B	0.987 A	Mean میانگین
	بافت شن لومی (میانگین= 1.79 A) Loamy Sand texture (Mean = 1.79 A)			
0.868 D	1.16 f	0.518 h	0.925 g	0
1.52 C	1.62 e	0.888 g	2.04 c	1.5
2.17 B	3.16 b	1.50 e	1.84 d	3
2.63 A	2.05 c	2.24 c	3.60 a	4.5
	2.00 B	1.29 C	2.10 A	Mean میانگین
	بافت لوم شنی (میانگین= 1.05 B) Sandy Loam texture (Mean = 1.05 B)			
0.579 C	0.367 h	0.777 f	0.591 g	0
1.03 B	0.741 f	1.14 d	1.20 cd	1.5
1.06 B	0.587 g	0.930 e	1.67 b	3
1.53 A	1.28 c	1.17 d	2.15 a	4.5
	0.745 C	1.00 B	1.40 A	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند ازنظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

به‌طور میانگین کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/۵ درصد تیمارهای نفتی در همه خاک‌های موردمطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد (سطح صفر تیمار نفتی) شد (البته لازم به ذکر است که این افزایش تنها در سطح ۱/۵ درصد در خاک‌های لوم رسی معنی‌دار نبود). به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک‌های لوم رسی به ترتیب سبب افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۲، ۲ و ۳ برابر؛ در خاک‌های شن لومی حدود ۲، ۳ و ۳ برابر و در

خاک‌های لوم شنی حدود ۲، ۲ و ۳ برابر در مقایسه با شاهد شد (جدول ۷). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان ۲/۳۰ و ۰/۲٤۱ میلی‌متر و به‌ترتیب در خاک تیمار شده با ٤/۵ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت خام (شاهد) مشاهده شد. در حالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ۳/٦۰ و ۰/۵۱۸ میلی‌متر و در خاک تیمار شده با ٤/۵ درصد نفت خام و بدون کاربرد نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها به‌ترتیب به میزان ۲/۱۵ و ۰/۳٦۷ میلی‌متر و در تیمار ٤/۵ درصد نفت خام و بدون کاربرد گازوئیل (شاهد) مشاهده شد (جدول ۷).

به‌طورکلی میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان حدود ۹۱ و ۱۲ درصد بیش‌تر از خاک لوم رسی بود (شکل ۱- د). میزان میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۳٤ و ۱٤ درصد کمتر بود (شکل ۱- د). نتایج هم‌چنین نشان داد به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ٤/۵ درصد مواد نفتی موردمطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی‌تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۲، ۲ و ۳ برابر در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱- د).

میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها ازجمله شاخص‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک هستند (۱۳ و ۱٤). مواد آلی هیومیکی حلقوی همراه با ترکیبات بی‌شکل آهن و آلومینیم و یا کاتیون‌های فلزی چندظرفیتی از عوامل پایداری خاکدانه‌های کوچک خاک می‌باشند به شکلی که تقویت پوشش سطحی خاک با کاربرد تثبیت‌کننده‌های خاک مانند مالچ‌های نفتی، مواد پلیمری و غیره می‌تواند سبب حفاظت خاک در برابر فرسایش‌های آبی و بادی شود (۱۵ و ۱٦). حضور پوشش‌های آب‌گریز روی خاکدانه‌ها سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش خاک می‌شود و پژوهش‌ها نشان می‌دهد پیامدهای مثبت آب‌گریزی بر پایداری خاکدانه‌هایی با اندازه ۰/۵ تا ۵ میلی‌متر بیش‌تر است و تأثیری بر پایداری خاکدانه‌های بزرگ‌تر ندارد (۱۷). بررسی منابع نشان می‌دهد افزودن آلاینده‌های آلی، بسته به نوع آن‌ها اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها خواهد داشت. آب‌گریزی یک ویژگی کلیدی در پایداری خاک است و در پی افزایش شدت آن، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد، زیرا لایه آب‌گریز مانند یک پوشش بر روی خاکدانه‌ها از متلاشی شدن ذرات خاک در برابر نیروی آب و باد محافظت می‌کند و درنتیجه تا حدودی فرسایش را از طریق کاهش فرسایش‌پذیری خاک، کنترل می‌کند هم‌چنین وجود خاصیت آب‌گریزی در خاکدانه‌ها از طریق تأخیر در خیس شدن سریع آن‌ها و جلوگیری از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر فشرده شدن هوای داخل خاکدانه‌ها سبب افزایش پایداری آن‌ها می‌شود، از سوی دیگر حضور ترکیبات آلی آب‌گریز مانند ترکیبات نفتی در خاک سبب افزایش زاویه تماس آب با خاک شده، بنابراین جذب آب به آهستگی انجام می‌شود و از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر ورود سریع آب جلوگیری می‌کند. ازنظر نوع ماده آلی مؤثر در پایداری خاکدانه‌ها نیز وجود اسیدهای آروماتیک موجود در ترکیبات نفتی در خاک سبب هم‌آور شدن ذرات خاک و درنتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند. هم‌چنین ترکیبات آب‌گریز در درازمدت سبب ایجاد کمپلکس رس- هیومین شده و از این طریق پایداری

خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. به‌ویژه مولکول‌های بزرگ بخش هیومین مانند ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک که پایداری خاکدانه‌ها را به میزان زیادی افزایش می‌دهند. درواقع ترکیبات آلی از چند روش پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. این ترکیبات با ایجاد پیوند کاتیونی (کاتیون‌های چندظرفیتی- ترکیبات آلی) با رس‌های خاک، خنثی کردن بارهای موجود در سطح رس‌ها توسط یون‌های آلی و پوشش‌های آب‌گریزی که روی سطوح خاکدانه‌ها تشکیل می‌دهند از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در برابر نیروهای مکانیکی و آب حفاظت می‌کنند. البته باید توجه داشت که هیدروکربن‌های نفتی در غلظت‌های زیاد علاوه بر تشدید آب‌گریزی، به دلیل ایجاد روانی زیاد پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهند. نکته قابل‌ذکر دیگر آن است که کاربرد مواد نفتی در خاک با توجه به تفاوت در میزان آب‌گریزی و لزوجت (گرانروی) خود به طبع اثرات با درجات متفاوتی را در خاک به وجود می‌آورند برای نمونه ازنقطه‌نظر موضوع موردبحث (پایداری خاکدانه‌ها)، هرقدر که ماده نفتی کاربردی دارای آب‌گریزی و لزوجت بیش‌تری باشد، شاهد آن خواهیم بود که در مقادیر و درصد وزنی کم‌تری می‌تواند سبب ایجاد پایداری شده و هم‌چنین غلظت آستانه و بحرانی را کاهش می‌دهد. این به آن معناست که حداقل غلظتی از مواد نفتی که می‌تواند سبب ایجاد روانی بیش‌ازحد و پاشش خاک شده و هم‌چنین از طرفی در کنار مقاومت به فرسایش بادی می‌تواند مانع نفوذ آب به خاک و ایجاد فرسایش آبی شود نیز کم‌تر خواهد بود. پژوهش‌گرانی هم‌چون آرسنگو و همکاران (۲۰۰۸)، دکستر و همکاران (۲۰۱۱)، وگلمان و همکاران (۲۰۱۳)، کرمان‌پور و همکاران (۲۰۱۵) و درستکار و والی (۲۰۱۷) نیز در پژوهش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (۱۰، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که امروزه آلودگی خاک‌ها به مواد نفتی به‌خصوص به مواد پرمصرف نفتی رو به افزایش بوده و این موضوع ازنقطه‌نظر زیست‌محیطی و براساس نوع استفاده و کاربری‌های گوناگون زمین می‌تواند مضر و محدودکننده باشد. بنابراین قبل از هرگونه اقدام لازم است که اثر این مواد بر ویژگی‌های مختلف خاک‌ها بررسی شود تا شناخت و اطلاعات لازم در خصوص این خاک‌های آلوده افزایش یابد. این اطلاعات از بسیاری جنبه‌ها ازجمله انتخاب راهکارهای مدیریتی و اصلاح بسیار دارای اهمیت است. هم‌چنین از طرفی غیر از دیدگاه آلودگی، مواد نفتی می‌توانند در مورد برخی آسیب‌های جدی وارده به خاک و خاک‌های تخریب‌یافته در اثر فرسایش به‌عنوان یک تیمار بهبوددهنده شرایط و حفاظت‌کننده خاک در برابر تخریب و فرسایش بیش‌تر نیز عمل کنند. استفاده از مواد نفتی برای کنترل فرسایش با در نظر داشتن نوع کاربری و استفاده از خاک منطقه و برتری حضور مواد نفتی برای کنترل و کاهش فرسایش نیز می‌تواند یک راهکار عملی و کنترل‌کننده است. بنابراین در این پژوهش اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به‌عنوان سه ماده نفتی پرمصرف بر پایداری خاکدانه‌ها در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین‌های وزنی و هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از خاک لوم رسی بود. هم‌چنین میانگین‌های وزنی و هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. درحالی‌که میانگین‌های

وزنی و هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی در مقایسه با خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر ولی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد کاربرد سطوح کم مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی و هندسی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها شد ولی سطوح زیاد سبب کاهش ویژگی‌های مذکور شد. بنابراین به‌طورکلی نتایج این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری برای استفاده‌های مختلف از خاک‌های آلوده به مواد نفتی و به‌ویژه در مسائل مدیریت و اصلاح این خاک‌ها و هم‌چنین استفاده از مواد نفتی برای حفاظت خاک در برابر فرسایش مورداستفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه شیراز (بخش‌های علوم و مهندسی خاک و مهندسی نفت) برای انجام این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسده اول در رشته مدیریت منابع خاک، گرایش فیزیک و حفاظت خاک بوده و مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه‌های بخش علوم و مهندسی خاک در دانشکده کشاورزی و بخش مهندسی نفت در دانشکده نفت، گاز و پتروشیمی دانشگاه شیراز و در سال ۱۳۹۹ انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و داده برداری، انجام محاسبات، آنالیز و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه شیراز و دانشکده کشاورزی در قالب گرانت پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و هم‌چنین گرانت پژوهشی دانشگاه شیراز برای سایر نویسندگان انجام شده است.

منابع

1.Seyed Alikhani, S., Shorafa, M., Tavassoli, A., and Ebrahimi, S.S. 2011. The effect of plants' growth at different densities on soil petroleum hydrocarbons remediation. Journal of Water and Soil, 25: 5. 961-970. (In Persian)

2.Fallah, M., Ebrahimi, S., and Shabanpour, M. 2013. Hydrocarbon pollution emission in the pilot and pulse condition in saturated porous media of soil. Journal of Water and Soil Conservation, 20: 3. 227-240. (In Persian)

3.Delleur, J.W. (Ed). 2006. Handbook of Ground water engineering, CRC press. 17_19-17_24.

4.Saadati, N., Davatgar, N., Roodpeyma, M., Mosaddeghi, M.R., and Bostani, A.A. 2015. Evaluation of petroleum contamination effects on soil water repellency intensity in Bakhtiardasht of Isfahan. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 29: 3. 359-369. (In Persian)

5.Hamid, F.S., Ossai, I.C., Ahmed, A., and Hassan, A. 2020. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. Environmental Technology & Innovation, 17: 1-42.

6.Estabragh, A.R., Beytolahpour, I., and Javadi, A.A. 2011. Effect of resin on the strength of soil-cement mixture. Journal of Materials in Civil Engineering, 23: 7. 969-976.

7.Estabragh, A.R., Khatibi, M., and Javadi, A.A. 2016. Effect of cement on treatment of a clay soil contaminated with glycerol. Journal of Materials in Civil Engineering, 28: 4. 1-36.

8.Antony, R., Saravanan, S., and Manjula, R. 2016. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties– A case study at NIT Trichy. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 9: 6. 2041-2047.

9.Ghahremani, N., Hafezi Moghaddas, N., Ghafoori, M., and Lashkaripour, G.R. 2018. Effect of urban wastewater on chemical, physical and mechanical properties of soil (Case study: Central area of Mashhad). Iranian Journal of Engineering Geology, 11: 3. 1-13. (In Persian)

10.Kermanpour, M., Mosaddeghi, M.R., Afyuni, M., and Hajabassi, M.A. 2015. Effect of Petroleum Pollution on Soil Water Repellency and Structural Stability in Bakhtiardasht Plain, Isfahan. Journal of Water and Soil Sciences, 19: 73. 139-149. (In Persian)

11.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411. A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. Particle-size analysis. P 383-411. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.

12.Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, 5: 425-442.

13.Besalatpour, A.A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M.A., Mosaddeghi, M.R., and Schulin, R. 2013. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. Catena, 111: 72-79.

14.Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., and Sabzalian, M.R. 2015. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. Geoderma, 249: 250. 87-99.

15.Movahedan, M., Abbasi, N., and Keramati, M. 2013. Effect of Polyvinyl Acetate Polymer on Stability of Dry Aggregates. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 27: 1. 71-83. (In Persian)

16.Tisdall, J.M., and Oades, J.M. 1982. Organic matter and water- stable aggregation by the root system of ryegrass. Australian Journal of Soil Science Research, 18: 423-438.

17.Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Gueuero, C., Zomoza, R., Malaix-Beneyto, J., and Garcia-Orenes, F. 2008. Intermediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. Catena. 74: 219-226.

18. Dexter, A.R., Czyz, G.E.A., Davy, J., Hardy, M., and Duval, O. 2011. Clay dispersion from soil as a function of antecedent water potential. Soil Science Society of America Journal, 75: 444-455.
19. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., and Awe, G.O. 2013. Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. Ciencia Rural, 43: 1582-1589.
20. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Awe, G.O., and Mataix-Solera, J. 2013. Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability. Catena, 110: 24-31.
21. Dorostkar, V., and Vali, R. 2017. Effect of grape leaves and pomegranate peel on soil structural stability and water repellency in different salinity levels. Scientific Journal of Agriculture, 40: 2. 29-46. (In Persian)