Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 44, No. 4, Winter 2022, p. 15-28

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Laboratory Comparison of Nanoclay Effect on Clay and Sandy Soil Hydraulic Conductivity in Three Different Density

P. Taghvaei[1], S. F. Mousavi[2], A. Shahnazari[3*], H. Karami[4] and I. Shoshpash[5]

1- Ph.D. candidate, Department of Hydraulic Structures, Semnan University, Semnan, Iran.
2- Professor, Department of Hydraulic Structures, Semnan University, Semnan, Iran
3- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.(a.shahnazari@sanru.ac.ir).*
4- Assistant Professor, Department of Hydraulic Structures, Semnan University, Semnan, Iran
5- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Babol University of Technology, Babol, Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 8 February 2018
Revised: 11 September 2018
Accepted: 15 September 2018

Keywords:
Hydraulic Conductivity, Montmorillonite Nanoclay, Clay Soil, Sandy Soil, Density.

TO CITE THIS ARTICLE:

Taghvai, P., Mousavi, S., Shahnazari, A., Karami, H., Shooshpasha, I. (2021). 'Laboratory Comparison of Nanoclay Effect on Clay and Sandy Soil Hydraulic Conductivity in Three Different Density', Irrigation Sciences and Engineering, 44(4), pp. 15-28. doi: 10.22055/jise.2018.24885.1738.

Introduction

Hydraulic conductivity of soils is one of the most important parameters in designing soil structures, water, and environmental resources management. Hydraulic conductivity in the soil varies with the size of their particles. Several studies by different researchers on fine-grained soil hydraulic conductivity and coarse-grained soils are done. In some studies, the methods and materials used to reduce soil hydraulic conductivity. On the other hand, nanoclays are nanoparticles of layered mineral silicates. Depending on chemical composition and nanoparticle morphology, nano clays are organized into several classes such as montmorillonite, bentonite, kaolinite, hectorite, and halloysite(Majeed and Taha, 2013). Organically modified nanoclays (organoclays) are an attractive class of hybrid organic-inorganic nanomaterials with potential uses in polymer nanocomposites, as rheological modifiers, gas absorbents, and drug delivery carriers(Abbasi et al, 2016).

Plate-like montmorillonite is the most common nanoclay used in materials applications. Montmorillonite consists of ~ 1 nm thick aluminosilicate layers surface-substituted with metal cations and stacked in ~ 10 μm-sized multilayer stacks. Depending on the surface modification of the clay layers, montmorillonite can be dispersed in a polymer matrix to form a polymer-clay nanocomposite. Within the nanocomposite individual, nm-thick clay layers become fully separated to form plate-like nanoparticles with a very high (nm × μm) aspect ratio.

In this study, the effect of different amounts of montmorillonite nano clay (0.25, 0.5, 0.75, and 1%) on the hydraulic conductivity in three different densities (85, 90, and 95%) of sandy and clay soils have been investigated experimentally.

Methodology

The initial soil testing was conducted to study the effect of different amounts of montmorillonite nano-clay on hydraulic conductivity. This initial testing includes gradation, density test, and determine the optimum moisture and the Atterberg Limits test.

The clay used in the experiments was from the source of the Alborz dam in the Lefebvre area of Mazandaran province. 96% of the soil passes through a 200-grade sieve, and according to the USCS classification, the soil is of CL type and according to the AASHTO classification A-7-6.

The sand used in the experiments has been extracted from the Khatirkuh mine located in Mazandaran province. This sand has 6.6% of the particles passing through the sieve of 200. Due to the gradation, and according to the USCS classification, the soil is SP-SC and in the AASHTO classification A-3. Primary soil physical characteristics were calculated according to AASHTO standards.

To study and compare the effects of nano-clay on the hydraulic properties of clay and sandy soils, 10 soil samples were used. Each clay and sand sample was mixed with 0, 0.25, 0.5, 0.75, and 1% nano-clay. After that, the Hydraulic conductivity of sand and clay soil is determined by the Constant and fall test, respectively.

Results and Discussion

The results show that by increasing the percentage of nano-clay, particular Weight in clay and sandy soil is reduced. By increasing the amount of nano-clay up to 1%, the dry density of the soil decreases. The specific gravity decreased by 1.43% and 0.50% in the clay and sand soils, respectively.

Also, in both clay and sandy samples, increasing the amount of nano clay increases the optimum moisture, which is higher in sand samples. So, rising 1% nano-clay to clay and sand soils, optimum moisture content increased by 2.8% and 28.2%, respectively.

The sandy soil hydraulic conductivity in four levels of nano clay and 90% density are 3.67×10^{-3}, 7.3×10^{-4}, 9.12×10^{-5}, and 1.24×10^{-5} centimeters per second, and 9.9×10^{-8}, 4.3×10^{-8}, 3.1×10^{-8}, and 4.5×10^{-9} centimeters per second in clay soil, respectively. In clay soils, average (hydraulic conductivity in different densities) with increasing of 0.25, 0.51, 0.75 and 1% of nanoclay were 44, 76, 85 and 98% reduction of hydraulic conductivity respectively, and in sand soils Also, with the same increase in nanoclay, 62.5%, 92.49%, 98.96%, and 99.87%, respectively, showed a decrease in hydraulic conductivity.

With the aim of statistical analysis of the effect of nanoclay and density on the hydraulic conductivity of clay and sand samples, second-order variance analysis was performed on 15 data from each soil using SPSS software with a confidence level of 0.05. The statistical analysis showed a significant effect of adding nano clay on the hydraulic conductivity of clay and sandy soils. Also, the effect of density on hydraulic conductivity has been studied. The results reveal that adding nano clay particles serves better in reducing hydraulic conductivity in sandy soil than clay soil. Statistical analysis showed that changes of density in clay samples significantly affected the hydraulic conductivity, while in sand samples, this effect was not significant. Hence, using nanomaterials in soil structures is recommended to reduce the hydraulic conductivity.

Conclusions

In the present study, the effect of nanoclay on the hydraulic conductivity of two types of clay and sand was investigated.

This study showed that the effect of nanoclay on the reduction of hydraulic conductivity and physical properties of sandy soils is more than clay soils. It can be used in various soil structures such as homogeneous and heterogeneous earth dams to reduce hydraulic conductivity and stability of the structure.

In this research, two types of soil and a particular type of nanoclay have been investigated. In future studies, nanoclay impacts on soils can be examined with different soil aggregates or the effect of these materials on soil structures such as earth dams.

Acknowledgments

We would like to thanks deputy of research and technology of Samnan University and Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University for cooperation in implametig of the study.

References

1- Abbasi, N., Farjad, A. and Sepehri, S., 2016. The use of Nanoclay particles for stabilization of dispersive clayey soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, pp.1-9.

2- Majeed, Z.H. and Taha, M.R., 2013. A review of stabilization of soils by using nano-materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *7*(2), pp.576-581.

© 2022 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٤، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠٠، مقاله پژوهشی، ص. ٢٨-١٥

بررسی تأثیر کاربرد درصدهای مختلف نانورس بر هدایت هیدرولیکی خاک‌های رسی و ماسه‌ای تحت سه تراکم مختلف

پوریا تقوایی[۱]، سید فرهاد موسوی[۲]، علی شاهنظری[۳*]، حجت کرمی[۴] و عیسی شوش‌پاشا[۵]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان.

۲- استاد، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان.

۳*- نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساریa.shahnazari@sanru.ac.ir

۴- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان.

۵- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروان بابل.

دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹ بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۴

چکیده

میزان هدایت هیدرولیکی خاک‌ها در طراحی سازه‌های خاکی و یا مدیریت منابع آب و محیط‌زیست یک پارامتر مهم طراحی می‌باشد. در تحقیق حاضر، به مقایسه‌ی تأثیر افزودن ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد نانورس مونتموریلونیت بر هدایت هیدرولیکی خاک‌های رسی و ماسه‌ای در سه تراکم مختلف (۸۵، ۹۰ و ۹۵ درصد)، به‌صورت آزمایشگاهی، پرداخته شد. نتایج نشان داد که هدایت هیدرولیکی خاک ماسه‌ای در اثر کاربرد چهار سطح نانورس در تراکم ۹۰ درصد به‌ترتیب به $۳/٦۷\times۱۰^{-۳}$، $۷/۳\times۱۰^{-٤}$، $۹/۱۲\times۱۰^{-٥}$ و $۱/۲٤\times۱۰^{-٥}$ سانتی‌متر بر ثانیه و در خاک رسی به‌ترتیب به $۹/۹\times۱۰^{-۸}$، $٤/۳\times۱۰^{-۸}$، $۳/۱\times۱۰^{-۸}$ و $٤/٥\times۱۰^{-۹}$ سانتی‌متر بر ثانیه کاهش می‌یابد. هم‌چنین، اثر تراکم بر کاهش هدایت هیدرولیکی خاک رسی نیز بررسی شد. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان داشت که افزودن میزان کمی نانورس به هر دو نوع خاک، میزان هدایت هیدرولیکی را به شدت کاهش می‌دهد. لذا استفاده از این نانومواد در سازه‌های خاکی با هدف کاهش هدایت هیدرولیکی توصیه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: قابلیت انتقال، مونتموریلونیت، نفوذپذیری، تخلخل، رطوبت بهینه.

مقدمه

میزان هدایت هیدرولیکی خاک یکی از عوامل تعیین کننده در انتخاب آن برای استفاده در هسته سدهای خاکی، عایق‌سازی کانال‌ها، عایق‌سازی مخازن آب و استخرهای تثبیت و ته‌نشینی و دفن مواد زاید شهری، بهداشتی و زایدات خطرناک اتمی است. میزان هدایت هیدرولیکی در خاک‌ها با توجه به ابعاد ذرات آن‌ها متفاوت است. تحقیقات گوناگونی توسط محققین مختلف روی هدایت هیدرولیکی خاک‌های ریزدانه و خاک‌های درشت‌دانه انجام شده است. در برخی از تحقیقات، از روش‌ها و موادی برای کاهش هدایت هیدرولیکی خاک استفاده شده است. (Neff, 1980). Barzegar et al. (2004) تأثیر چهار مقدار مختلف کاه گندم را بر خصوصیات فیزیکی خاک پس از یک سال مشاهده کردند. یکی از این خصوصیات فیزیکی، کاهش هدایت هیدرولیکی خاک بود. Jayanthi et al. (2004) در بررسی کاهش نشت از استخر آب شور از موادی مانند رس و فضولات مرغی استفاده نمودند و مشاهده کردند که بیوکرت در مقایسه با مواد دیگر در کنترل تلفات آب بهتر عمل نموده است. Haman et al. (1990) برای آب‌بندی آببندان‌ها در فلوریدا، روش‌هایی از قبیل تراکم، بلانکت، بنتونیت، غشاهای انعطاف‌پذیر و مواد شیمیایی را پیشنهاد نموده و بیان کردند که انتخاب روش مناسب آب‌بندی به درشت‌دانه بودن یا ریزدانه بودن خاک بستگی دارد. Mousavi et al. (2012) تأثیر هفت مقدار مختلف کاه برنج بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک سنگین شالیزاری و تشکیل ترک را مطالعه کردند. Lentz (2015) اثر پلی‌اکریل‌آمید و بیوپلیمر بر لختگی، پایداری و نفوذ آب در خاک را مورد بررسی قرار داد.

یکی از موادی که در تحقیقات نوین با هدف کاهش هدایت هیدرولیکی خاک مورد استفاده قرار گرفته، مواد در ابعاد نانو می‌باشد. نانورس از خانواده اسمکتیت (نام مجموعه‌ای از کانی‌ها) است که دارای شکل صفحه‌ای است. نانوذرات به‌دلیل ابعاد کوچک‌تر، سطح ویژه‌ی زیادی دارند که با دیگر ذرات موجود در ماتریکس خاک واکنش بسیار فعالانه‌ای دارند. بنابراین، وجود حتی مقدار بسیار کمی از این مواد اثر زیادی بر خواص مهندسی خاک از قبیل کشش، نفوذپذیری، مدول الاستیسیته، مقاومت و همچنین پایداری خاک خواهد داشت (Majeed and Taha, 2013). در تحقیقات گوناگون، از نانومواد برای بهبود خواص ژئوتکنیکی Abbasi et al (2016) و هیدرولیکی Salemi et al (2016) خاک استفاده شده است. Kananizadeh et al. (2011) از این مواد برای کاهش نفوذپذیری محل دفن زباله استفاده کردند و نتیجه گرفتند که افزودن چهار درصد نانورس به خاک رسی، باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک از ۳×۱۰^{-۹} به $۷/۷۴\times۱۰^{-۱۱}$ سانتی‌متر بر ثانیه در

شرایط معمولی شده است. Majeed و Taha (2013)، تأثیر رفتار نانومواد بر خواص ژئوتکنیک رس آلی پنگ مالزی را بررسی کردند. نانومواد انتخابی، نانو اکسید منیزیم و نانورس به‌صورت ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی خاک می‌باشد. افزودن هر یک از نانومواد، حدود اتربرگ و شاخص خمیری را کاهش داده و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک را افزایش می‌دهد. هم‌چنین، خواص مقاومتی خاک بهبود یافت. به گونه‌ای که با افزایش مقدار نانومواد، مقاومت فشاری در ابتدا روند صعودی داشته و سپس کاهش یافت. Taha و Taha (2012)، تأثیر نانومواد بر رفتار تورم و انقباض خاک را بررسی کردند. نانومواد در نظر گرفته شده، نانورس، نانوآلومین و نانومس بود که با ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد وزنی با خاک مخلوط شدند. نتایج ایشان نشان داد که با افزودن درصد بهینه نانومواد، تغیر شکل ناشی از جمع‌شدگی و تورم کاهش می‌یابد Neethu و Remya (2013) دو نوع خاک متفاوت به نام‌های خاک لاتریتی و رس کائولینیت را با نسبت‌های متفاوتی از نانورس (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد) ترکیب نمودند و خواص ژئوتکنیک آن‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. برای بررسی اثر نانورس، آزمایش‌های تراکم، تحکیم، نفوذپذیری و مقاومت فشاری تک محوری روی هر دو نوع خاک انجام شد. مناسب‌ترین درصد نانورس را از آزمایش‌ها یک درصد انتخاب نمودند. نتایج مقاومت فشاری تک‌محوری نشان‌دهنده‌ی افزایش ۱۰۴ درصد برای خاک لاتریتی و ۸۷ درصد برای رس کائولینیت بود. ضریب هدایت هیدرولیکی نیز برای خاک لاتریتی ۹۹ درصد و رس کائولینیت ۹۶ درصد کاهش یافت و به میزان ۳×۱۰^{-۷} سانتی‌متر بر ثانیه رسید.

در تحقیق حاضر نیز از مواد نانورسی مونتموریلونیت با هدف بهبود خواص هیدرولیکی خاک رسی و ماسه‌ای استفاده شده و تغییرات هدایت هیدرولیکی و درصد رطوبت بهینه خاک‌ها، در اثر استفاده از درصدهای مشخصی نانورس، در هر دو خاک، مورد مقایسه قرار گرفته است. خاک رسی از منابع قرضه‌ی هسته‌ی سد خاکی غیر همگن البرز و خاک ماسه‌ای از منابع قرضه‌ی مناسب برای سد خاکی همگن می‌باشد. در مناطق مرطوب مانند شمال کشور، شرایط اجرایی سدهای خاکی به دلیل ایجاد رطوبت بهینه با مشکلات فراوانی همراه است. در آن‌جا به‌دلیل رطوبت زیاد و بارش‌های مکرر، میزان رطوبت خاک از میزان رطوبت بهینه بیشتر شده و تا کاهش این میزان رطوبت باید صبر کرد. به‌طور مثال در ساخت و تراکم بدنه‌ی سد خاکی البرز (لفور) به‌دلیل بارش‌های پیاپی، درصد رطوبت خاک از درصد رطوبت بهینه بیشتر شده و دستگاه نظارت اجازه‌ی تراکم خاک را صادر نکرده و کار به مدت چند ماه تعطیل شد. با ایجاد شرایطی که این رطوبت بهینه افزایش پیدا کند، می‌توان این مشکلات را تا حدود زیادی کاهش داد. لذا نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در طراحی سدها و انواع سازه‌های خاکی مورد استفاده قرار گیرد. اصلی‌ترین تفاوت تحقیق حاضر با پژوهش‌های پیشین ، استفاده از نانورس در خاک ماسه‌ای جهت کاهش هدایت هیدرولیکی و مقایسه‌ی آن با خاک رسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خاک رسی

خاک رسی مورد استفاده در آزمایش‌ها از منبع قرضه‌ی سد البرز واقع در منطقه‌ی لفور در استان مازندران می‌باشد. مقدار ۹۶ درصد از خاک از الک نمره ۲۰۰ عبور کرده و طبق طبقه‌بندی USCS خاک از نوع CL و طبق طبقه‌بندی AASHTO از نوع A-7-6 می‌باشد. با توجه به ریزدانه بودن خاک، برای دانه‌بندی، از روش هیدرومتری نیز استفاده شد که نتایج این آزمایش در شکل (۱) ارائه شده است. خصوصیات فیزیکی اولیه خاک بر طبق استاندارد AASHTO محاسبه شده است. که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد. نتایج آزمایش تراکم استاندارد به روش AASHTO-T99 نیز در شکل (۲) نشان داده شده است.

خاک ماسه‌ای

خاک ماسه‌ای مورد استفاده در آزمایش‌ها از معدن خطیرکوه واقع در استان مازندران استخراج شده است. این خاک دارای ۶/۶ درصد ذرات گذرنده از الک ۲۰۰ می‌باشد و با توجه به دانه‌بندی نشان داده شده در شکل (۱) در طبقه‌بندی USCS از نوع SP-SC و در طبقه‌بندی AASHTO از نوع A-3 است. خصوصیات فیزیکی اولیه خاک بر طبق استاندارد AASHTO محاسبه شده است که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد. نتایج آزمایش تراکم استاندارد به روش AASHTO-T99 نیز در شکل (۲) نشان داده شده است.

نانورس

نانورس‌ها کانی‌هایی در مقیاس نانومتر هستند که از سطح ویژه‌ای در حدود ۲۵۰ مترمربع بر گرم برخوردارند. این سطح ویژه‌ی بزرگ باعث می‌شود که همواره واکنش شدیدی بین نانورس و محیط اطرافش وجود داشته باشد. در تحقیق حاضر، از نانورس به عنوان ماده افزودنی استفاده شده است. نانورس مصرفی، رس مونتموریلونیت اصلاح‌شده از لحاظ ابعادی بود که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ارائه شده آن توسط شرکت تولیدکننده (شرکت سیگما آلمان) در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. همچنین، نتیجه‌ی آزمایش پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) نانورس مصرفی در این تحقیق نیز در شکل (۳) نشان داده شده است. پراش اشعه X برای مطالعه‌ی ساختار مواد بلوری استفاده می‌شود. تاکنون الگوی پراش بیش از ۷۵۰۰۰ ترکیب معدنی و آلی جمع‌آوری شده است. با استفاده از این پایگاه داده و با کمک روش جستجو و تطبیق می‌توان ترکیب هر ماده را مشخص نمود. در تحلیل این آزمایش می‌توان بیان داشت که مواد آمورف (بی‌شکل) مانند شیشه، پیک‌های مشخص تشکیل نمی‌دهند، در حالی‌که مواد بلوری که ساختار منظمی دارند پیک‌های مشخص در زوایای مشخص ایجاد می‌کنند.

DOI: 10.22055/JISE.2018.24885.1738

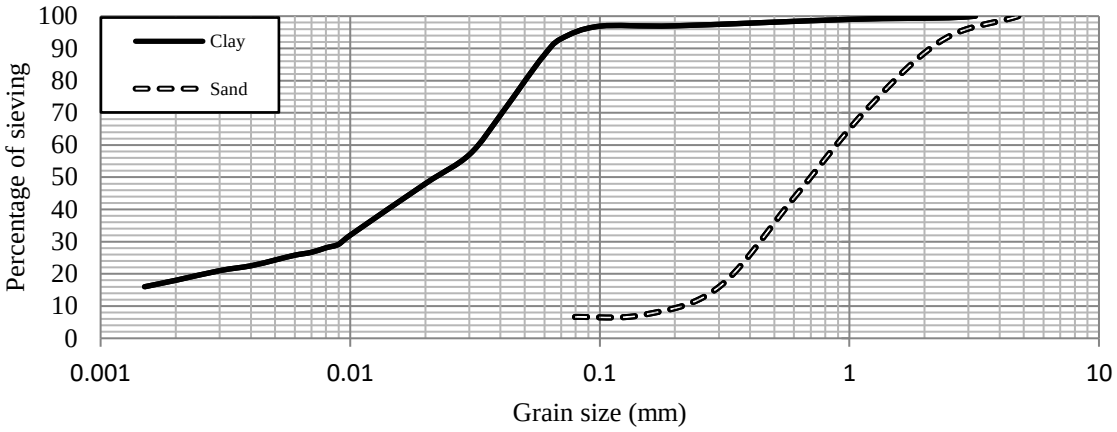


Fig.1- Granulation of clay soils and sands used in the present study
شکل ۱- دانه‌بندی خاک‌های رسی و ماسه‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک رسی مورد استفاده در تحقیق
Table 1- Properties of clay in the present study

Properties	Value
percentage of clay	96
percentage of sand	4
LL	42
PL	16
Max. dry density	1.67 (g/cm^3)
USCS	CL
AASHTO	A-7-6

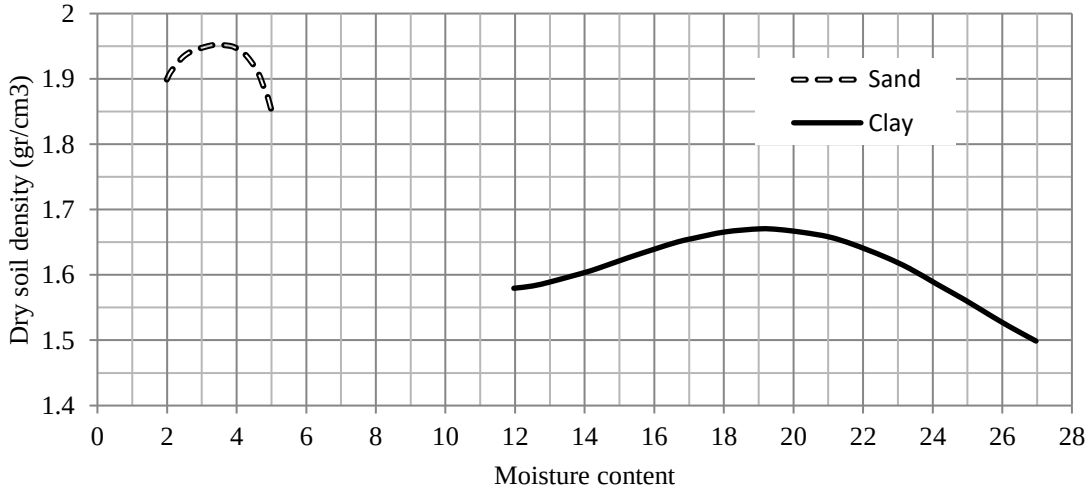


Fig. 2- Density curve of clay and sands in the present study
شکل ۲- منحنی تراکم خاک‌های رسی و ماسه‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک ماسه‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 2- Properties of sand in the present study

Properties	Value
percentage of clay	94
percentage of sand	6
Max. dry density	1.95 (g/cm^3)
D_{10}	0.23 (mm)
D_{30}	0.42 (mm)
D_{60}	0.9 (mm)
C_U	4.5
C_C	3.9
USCS	SP-SC
AASHTO	A-3

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نانورس مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 3 - Physical and mechanical properties of nanoclay in the present study

Density	0.6 (g/cm^3)
Particle size	1-2 nm
Special area	220-270 (m^2/gr)
Electrical conductivity	250 (ds/m)
Ion exchange rate	48 (meq/100 gr)
Empty distance between particles	60 (A^0)
Color	light yellow
moisture	1-2 Percent

جدول ٤- درصد اکسیدهای شیمیایی نانورس مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 4 - Percentage of nanoclay chemical oxides in the present study

Name of oxide	Percent
Na_2O	0.98
K_2O	0.86
TiO_2	0.62
Al_2O_3	19.6
SiO_2	50.95
LOI	15.45
MgO	3.29
Fe_2O_3	5.62
Cao	1.97

DOI: 10.22055/JISE.2018.24885.1738

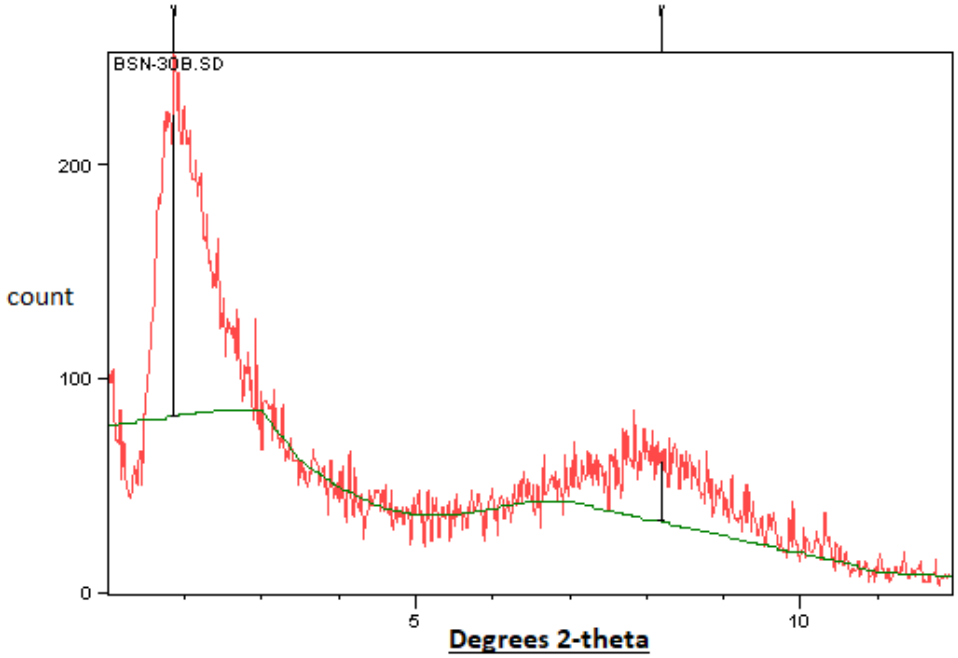


Fig. 3 - XRD test results of nanoclay used in the present study

شکل ۳- نتایج آزمایش XRD نانورس مورد استفاده در تحقیق حاضر

روش انجام آزمایش

با هدف بررسی و مقایسه‌ی تأثیر نانورس بر خواص هیدرولیکی خاک‌های رسی و ماسه‌ای، روی ۱۰ نمونه خاک آزمایش انجام شد. هر کدام از نمونه‌های رسی و ماسه‌ای با صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و یک درصد وزنی نانورس مخلوط شدند که ۱۰ نمونه خاک مانند جدول (۵) ایجاد گردید. برای مخلوط کردن نانورس با خاک ماسه‌ای از روش دو برابر کردن روی خاک‌های خشک استفاده شد. به این صورت که ابتدا مقدار کمی از خاک ماسه‌ای جدا کرده و درصد وزنی نانورس مورد نظر به آن اضافه شد، سپس مقدار ماسه دوبرابر شده و درصد نانورس مورد نظر به آن اضافه شد و این کار تا رسیدن به وزن نمونه‌ی مورد نظر ادامه پیدا کرد. وزن مورد نظر نمونه، با توجه به وزن مخصوص خاک در درصد تراکم مورد نظر و حجم استوانه‌ی آزمایش بار ثابت محاسبه شد. برای مخلوط کردن نانورس با خاک رسی، از اختلاط توسط همزن برقی و آب استفاده شد. به این صورت که وزن نمونه‌ی رسی با توجه به وزن مخصوص در تراکم مورد نظر و همچنین حجم استوانه‌ی بار متغیر محاسبه شده و اشباع گشت، سپس درصد نانورس معین شده به آن اضافه گشته و توسط همزن برقی اختلاط صورت گرفت. برای تهیه‌ی منحنی تراکم و رطوبت بهینه جهت کوبیدن خاک، آزمایش "تراکم آزمایشگاهی خاک با استفاده از چکش ۲/۵ کیلوگرمی" طبق دستورالعمل استاندارد AASHTO-T99 در قالبی به قطر ۱۵۲/۵ میلی‌متر و با چکشی ۲/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۳۰۵ میلی‌متر رها می‌شود، انجام شد. برای تعیین خصوصیات ترک خوردگی و پلاستیسیته‌ی خاک رسی از آزمایش حد روانی و حد خمیری بر طبق استانداردهای ASSHTO-T89 و ASHTO-T90 استفاده شد. برای تعیین هدایت هیدرولیکی خاک رسی و ماسه‌ای، به‌ترتیب از آزمایش هدایت هیدرولیکی با بار متغیر و بار ثابت تحت استاندارد AASHTO-T215 استفاده شد. به‌طور متوسط هر آزمایش بار متغیر دو روز و هر آزمایش بار ثابت سه ساعت به طول انجامید. در رابطه با تراکم خاک رسی، پس از آزمایش تراکم و یافتن حداکثر وزن مخصوص خشک و محاسبه‌ی نمودار درصد رطوبت بهینه، با توجه به حجم استوانه‌ی بار متغیر و تراکم مورد نظر، وزن نمونه محاسبه شده و تمام آن در استوانه‌ی مورد نظر قرار داده شد. برای این کار، با توجه به نمودار درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص نمونه، رطوبت به نمونه اضافه شد تا نمونه در استوانه‌ی بار متغیر قرار گیرد و به اصطلاح جا شود. در نتیجه تراکم مورد نظر برای نمونه رسی حاصل شد. پس از اشباع خاک با هدف اطمینان از عدم وجود خطا، در محاسبه‌ی هدایت هیدرولیکی خاک ماسه‌ای و رسی، قرائت و اندازه‌گیری‌های لازم سه بار صورت گرفت و میانگین آن‌ها به‌عنوان هدایت هیدرولیکی محاسبه شد. با هدف دقت بیشتر در آزمایش بار متغیر از دو قطر لوله‌ی مختلف (سه و ۴/۵ میلی‌متر) نیز استفاده گردید. برای بررسی تأثیرگذاری سطوح نانورس و تراکم بر ضریب هدایت هیدرولیکی نمونه‌های رسی و ماسه‌ای، تحلیل واریانس مرتبه‌ی دوم توسط نرم‌افزار SPSS با سطح اطمینان پنج درصد صورت گرفت.

جدول ۵- تیمار نمونه‌های مورد مطالعه

Table 5 - Studied samples

Number	Treatment	Soil type	Nanoclay(%)
1	C_0	Clay	0
2	$C_{0.25}$	Clay	0.25
3	$C_{0.50}$	Clay	0.5
4	$C_{0.75}$	Clay	0.75
5	C_1	Clay	1
6	S_0	Sand	0
7	$S_{0.25}$	Sand	0.25
8	$S_{0.50}$	Sand	0.5
9	$S_{0.75}$	Sand	0.75
10	S_1	Sand	1

نتایج و بحث

در ابتدا، وزن مخصوص نمونه‌های خاک در اثر افزودن درصدهای مختلف نانورس محاسبه شده و با یک‌دیگر مقایسه گردیدند که در شکل (۴) ملاحظه می‌گردد. تغییرات وزن مخصوص نمونه‌ها در مجموع بسیار کم است. با این حال، با توجه به شیب و ضریب تبیین (R^2) خط حاصل از برازش، ملاحظه می‌گردد که تغییرات وزن مخصوص نمونه‌های رسی کمی بیشتر و خطی‌تر از نمونه‌های ماسه‌ای می‌باشد. با افزایش میزان نانورس تا یک درصد، وزن مخصوص خشک خاک کاهش پیدا می‌کند. به‌طوری که در خاک‌های رسی و ماسه‌ای، وزن مخصوص به‌ترتیب ۱/۴۳ درصد و ۰/۵۰ درصد کاهش یافت، که با توجه به ریزدانه‌تر شدن نمونه‌ها قابل توجیه می‌باشد.

نمودار درصد رطوبت بهینه‌ی آزمایش تراکم در نمونه‌های مختلف رسی و ماسه‌ای به‌ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. در هر دو نمونه رسی و ماسه‌ای، با افزایش میزان نانورس، درصد رطوبت بهینه افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری که با افزایش یک درصد نانورس به خاک‌های رسی و ماسه‌ای، رطوبت بهینه به‌ترتیب ۲/۸ و ۲۸/۲ درصد افزایش یافت. این افزایش با توجه به ریزدانه‌تر شدن نمونه‌ها قابل توجیه است. خاک‌هایی که دارای نانو ذرات هستند، معمولاً با حفرات بین دانه‌ای نسبتاً بزرگ‌تر و حفرات درون ذره‌ای کوچک‌تر، ساختار توده‌ای با تخلل دوگانه از خود نشان می‌دهند. چنین ریزساختاری با تغییرات سطوح تنش و تغییرات آب منفذی، تأثیرات عمیقی در هدایت هیدرولیکی خاک خواهند داشت. باید در نظر داشت که سطح مخصوص بسیار بالای نانوذرات نیز با جذب سطحی بیشتر در کاهش هدایت هیدرولیکی خاک‌ها موثر است. پدیده دیگر که هدایت هیدرولیکی بستگی زیادی به آن دارد محلول یا نافذ شیمیایی است. برای مثال Nakagawa و Ishiguro (1994) گزارش کردند که هدایت هیدرولیکی اشباع یک خاک آلوفینیک در pH=۶ بیشترین مقدار بود و به ترتیب در pH های سه و ۱۱ به ۹۳ و ۷۵ درصد تغییر کرد. ظاهراً، پراکندگی بار مثبت (pH= ۳) و بار منفی (pH=۱۱) نانو ذرات خاک با بارهای سطحی، منجر به از هم گسستگی توده خاک و متعاقباً گرفتگی منافذ خاک می‌شوند و باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردند. در نمونه‌های ماسه‌ای این افزایش خطی‌تر از نمونه‌های رسی می‌باشد که به نظر می‌رسد به‌دلیل ماهیت تصادفی و چسبندگی دانه‌های رسی است. نکته‌ی قابل توجه تأثیر مشهود نانورس بر میزان درصد رطوبت بهینه‌ی خاک ماسه‌ای می‌باشد. علت این پدیده می‌تواند سطح ویژه‌ی بالای نانورس و اختلاف زیاد آن با سطح ویژه‌ی خاکی ماسه‌ای باشد.

نتایج این آزمایش‌ها برای خاک‌های رسی و ماسه‌ای مخلوط شده با درصدهای مختلف نانورس به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است. در خاک‌های رسی به‌طور میانگین (میانگین هدایت هیدرولیکی در تراکم‌های مختلف) با افزایش ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و یک درصد نانورس به‌ترتیب ۴۴، ۷۶، ۸۵ و ۹۸ درصد کاهش یافت و در خاک‌های ماسه‌ای نیز با همان میزان افزایش نانورس، به‌ترتیب ۶۲/۵، ۹۲/۰۴، ۹۸/۹۶ و ۹۹/۸۷ درصد کاهش یافت. در جدول (۶) میزان دقیق ضریب هدایت هیدرولیکی در تراکم ۹۰ درصد در سطوح مختلف نانورس، به‌عنوان نمونه، نشان داده شده است. از سوی دیگر، تأثیر تراکم بر خاک‌های رسی و ماسه‌ای نیز در این جدول قابل مشاهده است.

با هدف بررسی آماری معنی‌داری تأثیر سطوح نانورس و تراکم بر ضریب هدایت هیدرولیکی نمونه‌های رسی و ماسه‌ای، تحلیل واریانس مرتبه‌ی دوم بر ۱۵ داده از هر نوع خاک توسط نرم‌افزار SPSS با سطح اطمینان پنج درصد صورت گرفت. نتایج این آنالیز همان‌گونه که در جدول (۷) قابل مشاهده است نشان از معنی‌داری تأثیر میزان نانورس و تراکم بر هدایت هیدرولیکی خاک‌های رسی داشته است. درحالی‌که در خاک‌های ماسه‌ای تنها تأثیر میزان نانورس معنی‌دار می‌باشد. در ادامه، توسط آزمون تعقیبی نیومن-کلز استودنت (SNK) مشاهده شد

 DOI: 10.22055/JISE.2018.24885.1738

که در سطوح مختلف تراکم برای خاک رسی تفاوت‌های معنی‌دار بین تراکم ۸۵ درصد و بیشتر می‌باشد و اختلاف معنی‌داری بین تراکم‌های ۹۰ و ۹۵ درصد مشاهده نمی‌گردد. از سوی دیگر، در سطوح مختلف نانورس نیز از سطح ۰/۵ درصد به بالا تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد. نتایج همین آزمون برای خاک‌های ماسه‌ای نشان داد که سطح معنی‌داری در این خاک‌ها از ۰/۲۵ درصد نانورس به بالا می‌باشد.

مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با پژوهش‌های پیشین نشان از تاثیر بسیار زیاد نانورس بر هدایت هیدرولیکی در مقایسه با دیگر مواد داشته است. به طور مثال Neff (1980) با استفاده از کربنات کلسیم پس از یک سال بین ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش نشت مشاهده کرد و یا Bahari et al. (2016) با استفاده از نانورس، سیمان و آهک به‌ترتیب ۵۸، ۵۱ و ۲۸ درصد کاهش نشت مشاهده کرد در حالی که در تحقیق حاضر این میزان به‌ترتیب در خاک‌های رسی و ماسه‌ای، ۹۸ و ۱۰۰ درصد بوده است. البته ذکر این نکته ضروریست که خاک‌های مورد استفاده در تحقیق‌های گوناگون با تحقیق حاضر متفاوت است و هم‌چنین شرایط گوناگونی به جز نوع ماده‌ی بهینه‌ساز نیز در کاهش هدایت هیدرولیکی موثر است.

از مهمترین مشکلات استفاده کاربردی از نانورس، هزینه بالای آن است. با این حال با توجه به افزایش میزان تولید آن، قیمت این ماده در حال کاهش است. به‌طوری که در سه سال گذشته قیمت آن حدود ۷۵ درصد کاهش پیدا کرده است. از دیگر سو با توجه به این‌که درصد بسیار پایینی از این مواد هدایت هیدرولیکی را به شکل چشم‌گیری کاهش می‌دهد و درصد رطوبت بهینه را نیز افزایش می‌دهد، کاربردی شدن این ماده با توجه به قابلیت‌های بالای آن در آینده‌ای نزدیک قابل پیش‌بینی خواهد بود.

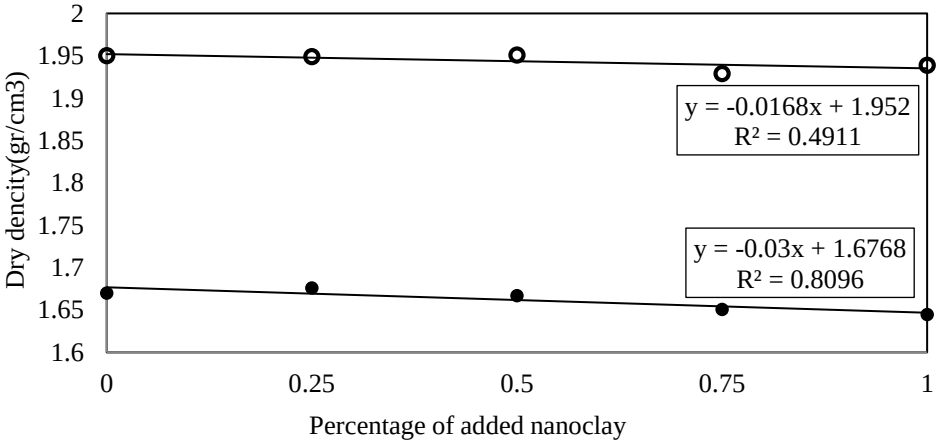


Fig. 4- Specific weight changes of clay and sandy soil samples due to the addition of different percentages of nanoclay

شکل ٤- تغییرات وزن مخصوص نمونه‌های خاک‌های رسی و ماسه‌ای در اثر افزودن درصدهای مختلف نانورس

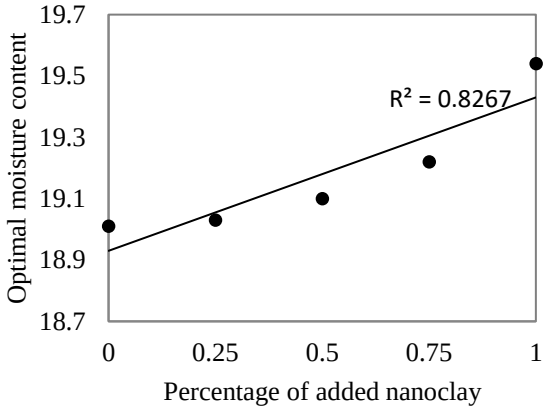


Fig. 5 - Optimal moisture content of clay samples

شکل ٥- درصد رطوبت بهینه‌ی نمونه‌های رسی

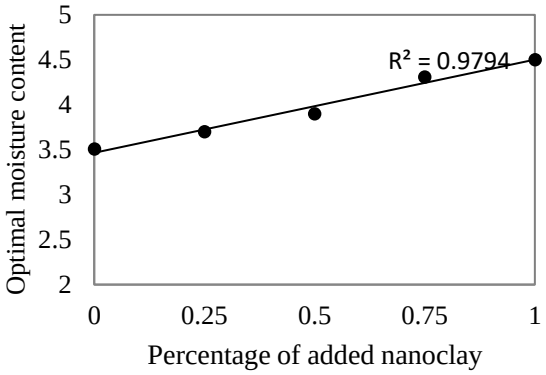


Fig. 6 - Optimal moisture content of clay samples
شکل ٦- درصد رطوبت بهینه‌ی نمونه‌های ماسه‌ای

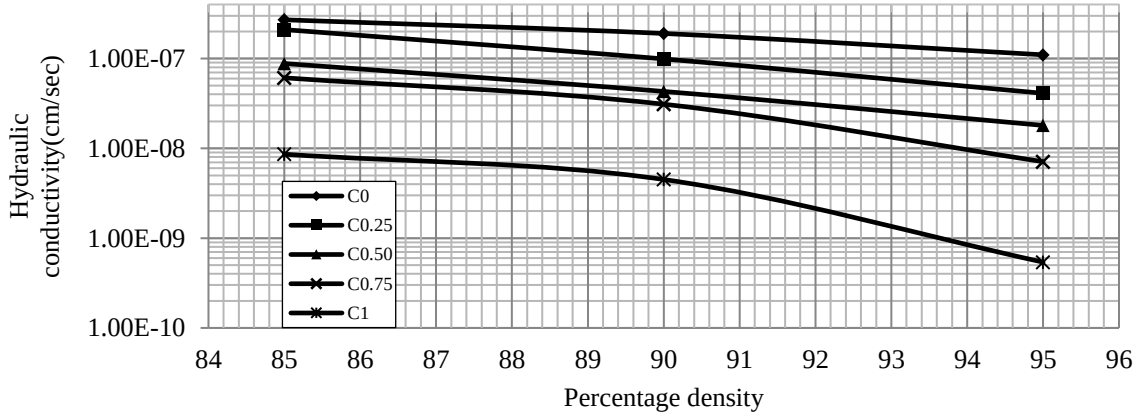


Fig. 7- Variations in hydraulic conductivity of clay at different densities and percentages of nanoclay in variable load test
شکل ۷- تغییرات میزان هدایت هیدرولیکی خاک رسی در تراکم‌ها و درصدهای مختلف نانورس تحت آزمایش بار متغیر

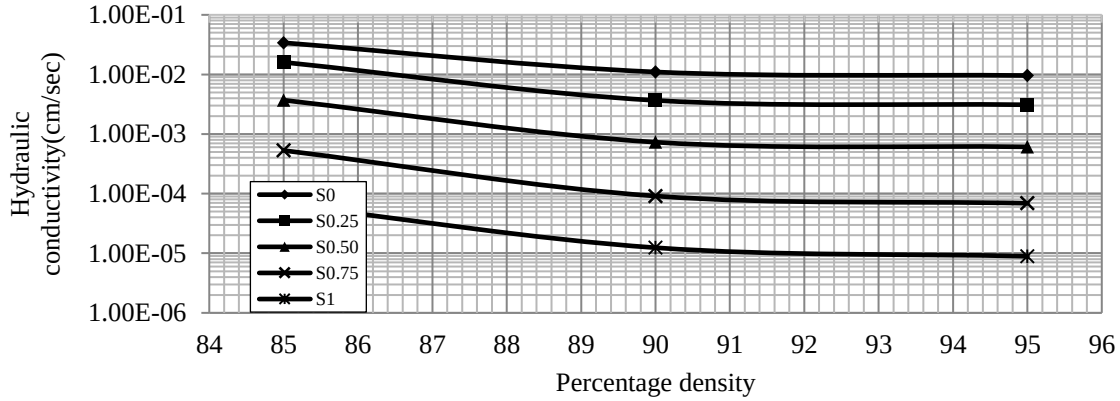


Fig. 8- Variations in hydraulic conductivity of sand at different densities and percentages of nanoclay in constant load test
شکل ۸- تغییرات میزان هدایت هیدرولیکی خاک ماسه‌ای در تراکم‌ها و درصدهای مختلف نانورس تحت آزمایش بار ثابت

 DOI: 10.22055/JISE.2018.24885.1738

جدول ٦ - تأثیر تراکم بر هدایت هیدرولیکی نمونه‌ها با درصدهای مختلف نانورس

Table 6- The effect of compaction on the hydraulic conductivity of samples with different percentages of nanoclay

Sand	Percentage reduction of hydraulic conductivity from 85% to 95%	Hydraulic conductivity at 90% density (cm / sec)	Clay	Percentage reduction of hydraulic conductivity from 85% to 95%	Hydraulic conductivity at 90% density (cm / sec)
S_0	72	$1.1*10^{-2}$	C_0	59	$1.9*10^{-7}$
$S_{0.25}$	81	$3.67*10^{-3}$	$C_{0.25}$	80	$9.9*10^{-8}$
$S_{0.50}$	84	$7.3*10^{-4}$	$C_{0.50}$	80	$4.3*10^{-8}$
$S_{0.75}$	87	$9.12*10^{-5}$	$C_{0.75}$	88	$3.1*10^{-8}$
S_1	87	$1.24*10^{-5}$	C_1	94	$4.5*10^{-9}$

جدول ۷- تحلیل واریانس مرتبه دوم (ANOVA)

Table 7- Second-order analysis of variance (ANOVA)

	Source of changes	Degrees of freedom	sum of squares	Mean sum of squares	f	P-value
Clay	Nano-clay	4	$6.68*10^{-14}$	$1.67*10^{-14}$	13.29	0.001
	Density	2	$2.15*10^{-14}$	$1.07*10^{-14}$	8.55	0.010
	Error	8	$1.01*10^{-14}$	$1.26*10^{-15}$	–	–
	sum	15	$1.91*10^{-13}$	–	–	
Sand	Nano-clay	4	$7.14*10^{-4}$	$1.78*10^{-4}$	5.18	0.023
	Density	2	$2.12*10^{-4}$	$1.06*10^{-4}$	3.07	0.102
	Error	8	$2.76*10^{-4}$	$3.4*10^{-5}$	–	–
	sum	15	$1.66*10^{-3}$	–	–	

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تأثیر نانورس مونتموریلونیت بر هدایت هیدرولیکی دو نوع خاک رسی و ماسه‌ای که به‌ترتیب از بدنه‌ی سد لفور و منابع خطیرکوه برداشت شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. پس از آزمایش‌های اولیه روی هر دو نوع خاک، آن‌ها را با ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و یک درصد وزنی نانورس مخلوط کرده و خصوصیات هیدرولیکی و درصد رطوبت بهینه آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

با افزایش درصد نانورس، وزن مخصوص خشک در هر دو خاک رسی و ماسه‌ای کاهش پیدا می‌کند. به گونه‌ای که با افزایش یک درصد نانورس به خاک‌های رسی و ماسه‌ای، وزن مخصوص به ترتیب ۱/۴۳ و ۰/۵۰ درصد کاهش یافت. این کاهش وزن مخصوص در شرایطی رخ می‌دهد که از سویی با توجه به ریزدانه بودن دانه‌های نانورس انتظار می‌رود نانورس در خلل و فرج خاک نفوذ کرده و وزن مخصوص نمونه را کاهش دهد. از سوی دیگر، با توجه به سطح مخصوص زیاد و وزن مخصوص کم دانه‌های نانورسی، کاهش وزن مخصوص قابل پیش‌بینی خواهد بود. همین امر سبب می‌شود تأثیر مقدار کمی نانورس (کمتر از ۱٪ وزنی) بر وزن مخصوص به‌شدت ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن باشد.

در هر دو نمونه رسی و ماسه‌ای، با افزایش میزان نانورس، درصد رطوبت بهینه افزایش پیدا می‌کند که میزان این افزایش در نمونه‌های ماسه‌ای بیشتر است. به‌طورمثال، در میزان نانورس یک درصد، میزان نسبی افزایش درصد رطوبت بهینه‌ی خاک ماسه‌ای ۲۵/۴ درصد بیشتر است. در ساخت سازه‌های خاکی در مناطق مرطوب نظیر شمال کشور، این افزایش رطوبت بهینه در عملیات اجرایی سهولت زیادی ایجاد می‌کند.

تحلیل‌های آماری نشان داد که میزان تراکم در هدایت هیدرولیکی نمونه‌های رسی تأثیر معنی‌داری در سطوح ۸۵ درصد و بیشتر داشته است. درحالی‌که در نمونه‌های ماسه‌ای، ضمن تأثیر بیشتر بر هدایت هیدرولیکی نمونه‌ها، این تأثیر معنی‌دار نبوده است.

در نهایت، تأثیر نانورس بر هدایت هیدرولیکی خاک‌ها بررسی شد که بر این اساس در خاک‌های رسی به طور میانگین (در سه سطح تراکم) با افزایش ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد نانورس به‌ترتیب ۴۴، ۷۶، ۸۵ و ۹۸ درصد کاهش هدایت هیدرولیکی مشاهده شد و در خاک‌های ماسه‌ای نیز با همان میزان افزایش نانورس، به ترتیب ۷۹، ۹۶، ۹۹/۳ و ۹۹/۹۲ درصد کاهش میزان هدایت هیدرولیکی مشاهده شد. نتایج، تأثیر زیاد کاهش هدایت هیدرولیکی بر هر دو نوع خاک را نشان داد به گونه‌ای که با افزودن مقدار کمی نانورس به خاک می‌توان میزان هدایت هیدرولیکی را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

نتایج تحلیل آماری نشان از تأثیر معنی‌دار افزودن نانورس بر هدایت هیدرولیکی خاک‌های رسی و ماسه‌ای داشته است. نتایج نشان داد که سطح معنی‌داری در نمونه‌های رسی تا ۰/۵درصد و در نمونه‌های ماسه‌ای تا ۰/۲۵درصد است.

نتایج حاضر نشان داد که تأثیر نانورس‌ها بر کاهش هدایت هیدرولیکی و خواص فیزیکی خاک‌های ماسه‌ای بررسی شده در این تحقیق، بیشتر از خاک‌های رسی می‌باشد و می‌توان در انواع سازه‌های خاکی ازجمله سدهای خاکی همگن و ناهمگن با هدف کاهش هدایت هیدرولیکی و پایداری بیشتر سازه‌ها از مواد نانورسی استفاده کرد.

در این تحقیق، دو نوع خاک و یک نوع نانورس خاص مورد بررسی قرار گرفته است که می‌توان در تحقیق‌های آتی تأثیرات نانورس را در خاک‌های با دانه‌بندی‌های متفاوت و یا تأثیر این مواد بر سازه‌های خاکی نظیر سد خاکی را مورد بررسی قرار دارد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه سمنان و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای همکاری در اجرای این طرح تقدیر و تشکر می گردد.

References

1- Abbasi, N., Farjad, A. and Sepehri, S., 2018. The use of nanoclay particles for stabilization of dispersive clayey soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, *36*(1), pp.327-335.

2- Bahari, M., Shahnazari, A., Emadi, A., 2016. Reducing of Water Seepage from Ab-Bandan by using Nonoclay, Cement and Lime. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *47(3)*, pp.625-635. (in persion)

3- Barzegar, A.R., Asoodar, M.A., Eftekhar, A.R. and Herbert, S.J., 2004. Tillage effects on soil physical properties and performance of irrigated wheat and clover in semi arid region. *Journal of Agronomy*., 3, pp. 237-242.

4- Haman, D.Z., Smajstrla, A.G., Zazueta, F.S. and Clark, G.A., 1990. Selecting a Method for Sealing Ponds in Florida. *Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Gainesville FL. Extension Circular*, *870*.

5- Jayanthi, M., Rekha, P.N., Muralidhar, M. and Gupta, B.P., 2004. Seepage reduction in brackishwater ponds with different materials. *Ecology, Environment and Conservation*, *10*(3), pp.257-260.

6- Kananizadeh, N., Ebadi, T., Khoshniat, S.A. and Mousavirizi, S.E., 2011. The positive effects of nanoclay on the hydraulic conductivity of compacted Kahrizak clay permeated with landfill leachate. *Clean–Soil, Air, Water*, *39*(7), pp.605-611.

7- Lentz, R.D., 2015. Polyacrylamide and biopolymer effects on flocculation, aggregate stability, and water seepage in a silt loam. *Geoderma*, *241*, pp.289-294.

8- Majeed, Z.H. and Taha, M.R., 2013. A review of stabilization of soils by using nanomaterials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *7*(2), pp.576-581.

DOI: 10.22055/JISE.2018.24885.1738

9- Mousavi, S.F., Moazzeni, M., Mostafazadeh-Fard, B. and Yazdani, M.R., 2012. Effects of rice straw incorporation on some physical characteristics of paddy soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *14*(5), pp.1173-1183.

10- Nakagawa, T. and Ishiguro, M., 1994. Hydraulic conductivity of an allophanic Andisol as affected by solution pH. *Journal of Environmental Quality*, *23*(1), pp.208-210.

11- Neethu, S.V. and Remya, S., 2013, December. Engineering behaviour of nanoclays stabilized soil. In *Proceedings of Indian Geotechnical Conference* pp. 22-24.

12- Neff, E.L., 1980. Using sodium carbonate to seal leaky stock ponds in eastern Montana. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, *33*(4), pp.292-295.

13- Salemi, N., Abtahi, S.M., Rowshanzamir, M. and Hejazi, S.M., 2016. A study on the hydraulic performance of sandwich geosynthetic clay liners reinforced with nano-clay particles. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, *18*(6), pp.693-711.

14- Taha, M.R. and Taha, O.M.E., 2012. Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. *Journal of Nanoparticle Research*, *14*(10), p.1190.