بررسی تاثیرنانو رس و خاک آلوده بر حدود اتربرگ خاک های رسی

زهرا ملکی*
دانش آموخته کارشناسی ارشد،گروه عمران، ،دانشگاه پارسیان، قزوین ،ایران
علیرضا اردکانی
دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

ارجاع به مقاله:
زهرا ملکی، علیرضا اردکانی، بررسی تاثیر نانو رس و خاک آلوده بر حدود اتربرگ خاک‌های رسی، *مهندسی و مدیریت ساخت*، ۱۴۰۲، ۸ (۲): ۷۶-۸۲.

چکیده

آلودگی نفتی خاک یکی از مسائل مهم زیست محیطی است که کشورهای مختلف جهان، ازجمله ایران، با آن مواجه‌اند. نشت و گسترش آلودگی‌های نفتی در بخش‌های مختلف صنعت نفت اعم از مناطق تولید نفت، پالایشگاه‌ها و خطوط حمل‌ونقل باعث آلوده شدن حجم عظیمی از خاک می‌شود. در اثر فرآیندهای فیزیکی- شیمیایی که بین آلاینده و خاک رخ می‌دهد، رفتار ژئوتکنیکی خاک تغییر می‌کند. نانو ذرات به دلیل ریز بودن و خاصیت پرکنندگی که دارند می‌توانند سبب بهبود تراکم و مقاومت خاک گردند.در این مقاله تأثیر نانو رس به‌عنوان یک افزودنی جدید، بر روی خاک‌های آلوده گازوئیل مورد بررسی قرارگرفته است با افزایش درصد آلودگی هر دو مقدار درصد رطوبت بهینه وزن مخصوص خشک حداکثر کاهش می‌یابد. . همچنین با افزایش درصد آلودگی کاهش حد خمیری خاک مشاهده می‌شود؛ با افزایش میزان گازوئیل، حدود اتر برگ کاهش میابد. بنابراین برای حصول مقاومت بیشتر خاک افزودن مقادیر مختلف نانو رس باعث افزایش حدود اتر برگ و سخت شدن خاک می¬شود.

کلمات کلیدی
آلودگی خاک، گازوئیل، رطوبت بهینه، وزن مخصوص خشک، اتر برگ، تراکم خاک.

Investigating the effect of nanoclay and contaminated soil on the Etterberg range of clay soils

Zahra Maleki *
MSc graduated, Department of Civil Engineering, University of Parsian, Qazvin, Iran
Alireza Ardakani
Associate Professor of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

***Corresponding author's email address:**
zahra.geotec@gmail.com

How to cite this article:
Zahra Maleki ,Alireza Ardakani, Investigating the effect of nanoclay and contaminated soil on the Etterberg range of clay soils, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2024, 8(2):76-82.

Abstract

Oil contamination of soil is a significant environmental issue that various countries, including Iran, have encountered. Leakage and the spread of oil contamination in different sectors of the oil industry, such as oil production areas, refineries, and transportation lines, lead to extensive soil contamination. The physicochemical processes occurring between the pollutant and the soil alter the geotechnical behavior of soil. Nanoparticles, due to their small size and filling properties, can enhance soil density and resistance. This article investigates the impact of nano-clay as a novel additive on gasoline-contaminated soils, revealing that with increasing contamination levels, both optimum moisture content and maximum dry density decrease. Moreover, higher contamination percentages result in reduced soil plasticity limits; as gasoline content increases, the Atterberg limits decrease. Hence, the addition of nano-clay enhances the Atterberg limits and strength of soil.

Keywords
Soil contamination, diesel fuel, optimal moisture content, dry unit weight, Atterberg limits, soil compaction

JECM
8 (2) , 2024
دوره ۸، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۲
دوفصلنامه پژوهشی

۱- مقدمه

استفاده از افزودنی‌های مختلف به منظور بهبود خواص خاک‌ها از سالیان گذشته توسط محققین مختلف مورد بررسی قرارگرفته است. ازجمله این افزودنی‌های می‌توان استفاده از آهک و سیمان و خاکستر بادی و الیاف را در ترکیب خاک نام برد[۷-۱]. آهک یکی از قدیمی‌ترین افزودنی‌هایی است که از آن در خاک استفاده می‌شود [۸]. آهک تأثیر مثبتی بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک‌ها دارد و باعث تغییر بعضی از خواص خاک می‌گردد.افزودن آهک باعث کاهش دامنه خمیری خاک، افزایش کارایی، مقاومت و حد انقباض خاک می‌گردد[۹]. تحقیقات گسترده در زمینه پایداری خاک رس با استفاده از آهک [۱۴-۱۱]. نشان می‌دهد که درصد بهینه استفاده از آهک در اصلاح رفتار خاک بین ۳تا ۱درصد وزنی خاک می‌باشد ولی بعضی از محققین تا درصد وزنی آهک را مؤثر تثبیت خاک می‌دانند[۱۵].

با حضور آهک در خاک رس تعدادی واکنش رخ می‌دهد که این واکنش‌ها می‌توانند در جهت بهبود خواص خاک باشند.واکنش‌هایی مانند تبادل کاتیونی (cation exchange) مجتمع شدن(flocculation) ،)کربناسریون(carbonation) و واکنش‌های پوزولانی. تبادل کاتیونی بین کاتیون‌های سطح ذرات رس و

کاتیون‌های کلسیم موجود در آهک رخ می‌دهد. تبادل کاتیونی سبب نزدیک شدن ذرات رس به یکدیگر و ایجاد ساختار مجتمع در خاک رس می‌گردد و این تغییرات باعث اصلاح خواص مهندسی خاک رس می‌شود[۱۴]. در سال‌های اخیر استفاده از نانو ذرات در تحقیقات مهندسین عمران مورد توجه قرار گرفته است[۱۸-۱۶].

در تحقیقات صورت گرفته نشان داده شده است که استفاده از نانو مواد هیداتاسیون سیمان را به دلیل انرژی سطحی بالا افزایش می‌دهد همچنین باعث بهبود دانسیته به دلیل پر شدن بین ذرات می‌گردد [۱۸،۱۹]. تحقیقات نشان داده است که استفاده از نانو رس مونت مورینولیت سبب مهار تورم در خاک‌ها و همچنین کاهش پتانسیل خرابی در خاک‌ها می‌گردد[۲۰]. تعدادی از محققین استفاده از نانو ذرات را سبب هدایت هیدرولیکی در خاک‌ها بیان کردند[۲۱،۲۲].

یکی از روش‌های بهبود خصوصیات خاک اصلاح آن با استفاده از مواد افزودنی است. درگذشته افزودنی‌های متداول همچون سیمان،خاکستر بادی ، قیر، آهک، مواد پلیمری و... در مطالعات سایر پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته است [۴-۱]. در کنار این مواد، نانو ذرات که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند، در مهندسی ژئوتکنیک کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نانو ذره به ذره‌ای اطلاق می‌شود که حداقل یک بعد در مقیاس نانو داشته باشد. ذرات با اندازه نانومتر در مقایسه با ذرات با اندازه بزرگ‌تر،رفتارهای بسیار متفاوت با خصوصیات ارتقاءیافته از خود نانو نشان می‌دهند. ذرات به دلیل داشتن خصوصیاتی همچون مساحت سطح ویژه بالا، بارهای سطحی و نانو تخلخل در صورتی که به مقدار بسیار کمی هم در خاک حضور داشته باشند ، می‌توانند خصوصیات مهندسی و رفتار فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهند [۵]. خاک‌های حاوی نانو ذرات با تخلخل‌های درون‌ذره‌ای به طور معمول حدود خمیری و روانی بیشتری از خود نشان می‌دهند [۶]. وجود نانو ذرات باعث افزایش خاصیت تیکسوتروپیک ۱خاک می‌شود که این مساله افزایش مقاومت برشی خاک را در پی دارد [۵].

در این مقاله سعی بر آن است تا تأثیر آلودگی خاک و نانو رس بر ماکزیمم وزن مخصوص خشک خاک، درصد رطوبت بهینه و حدود اتر برگ خاک مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور یک نمونه خاک رس با ۳۵،۷ درصد ریزتر از الک ۲۰۰ را در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مطالعات آزمایشگاهی

در این مقاله سعی بر آن است تا تأثیر هم‌زمان آلودگی و نانو رس بر مقاومت خاک مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گیرد برای این منظور نمونه خاک رسی(CL) مورد استفاده قرار گرفته است در جدول ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر نشان داده شده است.

جدول ۱ مشخصات ژئوتکنیکی خاک موردمطالعه

PI	C۱۸،۰۲
PL	۱۸،۰۷
LL	۳۶،۰۹
Gs	۲،۶۵
W_{opt}	۱۶،۸
γ	۲،۰۸
درصد عبوری از الک ۲۰۰	۳۵،۷
C	۰،۴
φ	۲۰
چگالی ویژه	۲،۶۵

نانو رس‌ها گروهی از نانو مواد هستند که به عنوان مواد افزودنی برای ساخت نانو کامپوزیت‌ها و بهبود خواص مصالح به کار می‌روند. نانو رس‌ها سطح ویژه‌ای در حدود ۷۵۰مترمربع بر گرم دارند خالص بودن و ظرفیت تبادل کاتیونی، دو خصوصیت مهم برای نانو رس‌ها به شمار می‌رود. از جمله این نانو رس‌ها می‌توان به نانو رس کلوزیت اشاره کرد. در جدول ۲ مشخصات فیزیکی نانو رس مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۲ مشخصات فیزیکی نانو رس موردمطالعه

ترکیبات	کلوزیت ۲۰	کلوزیت ۵
رطوبت	۳٪ >	٪ ۳ >
اندازه ذرات	< ۱۰μm($d_{۵۰}$)	< ۱۰μm($d_{۵۰}$)
رنگ	سفید	سفید
چگالی بالک	۱۷۵ g/l	۴۸۰ g/l
چگالی	۱،۷۷ g/cm³	۱،۷۷ g/cm³
Xآزمایش اشعه	$D_{۰۰۱}$=۳،۱۶nm	$D_{۰۰۱}$=۳،۲۷nm

گازوئیل مورد استفاده دامنه تقطیری از ۱۵۰ تا ۳۸۵ درجه سلسیوس را دربر می‌گیرد. رنگ طبیعی این فرآورده زرد کهربایی است و هیدروکربن اشباع و آروماتیک کمتری دارد و بیشتر از ترکیبات قطبی، رزین و آسفالتن تشکیل‌شده است. در جدول ۳ خصوصیات فرآورده گازوئیل مورد نظر نشان داده شده است.

جدول ۳ خصوصیات فرآورده گازوئیل (ASTM-D-975)

پارامتر	واحد	مقدار یا محدوده
Density @ 150ºC	Kg/L	0.820-0.860
Color (max)	-	3
Flash point (min)	ºC	54
Sulphur Total (max)	Mass%	1.0
Viscosity kinematic @ 37.8 ºC	mm²/s	2.0-5.5
Cloud point (max)	ºC	1.5
Pour point (max)	ºC	-4
Carbon residue (max)	Mass%	0.10
Ash (max)	Mass%	0.01
Water & sediment	%vol	0.05
Cetan index (min)	-	50

JECM
8 (2) , 2024
دوره ۸، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۲
دوفصلنامه پژوهشی

۳- روش آزمایش

در این تحقیق به منظور تعیین رطوبت بهینه و وزن مخصوص ماکزیمم از آزمایش پروکتور استاندارد(ASTM D۶۹۸) استفاده شده است [۲۳]. در این آزمایش درصدهای افزودنی به صورت خشک با خاک مخلوط می‌گردد و سپس درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص ماکزیمم خاک با درصدهای مختلف افزودنی تعیین می‌گردد.حدود اتر برگ خاک بر اساس استاندارد (ASTM D۴۳۱۸) تعیین گردیده است[۲۴]. حدود اتر برگ برای خاک بدون افزودنی و همراه با درصدهای مختلف افزودنی مورد آزمایش قرار گرفته است.

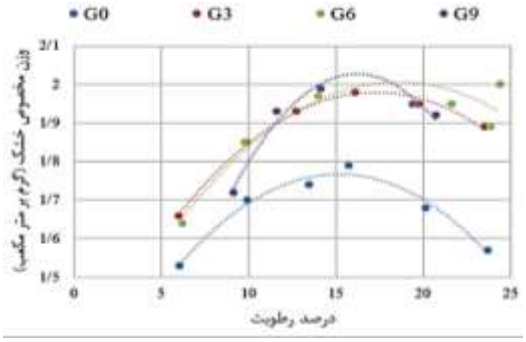
۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این قسمت نتایج آزمایش‌های انجام شده روی خاک مورد نظر آورده شده و در مورد آن‌ها بحث می‌گردد. در این تحقیق درصد گازوئیل ۰،۳،۶ و۹ درصد و درصد نانو مواد ۰،۰،۲۵،۰،۵و ۱درصد تغییر می‌کند و تأثیر درصدهای مختلف افزودنی را بر خصوصیات خاک مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

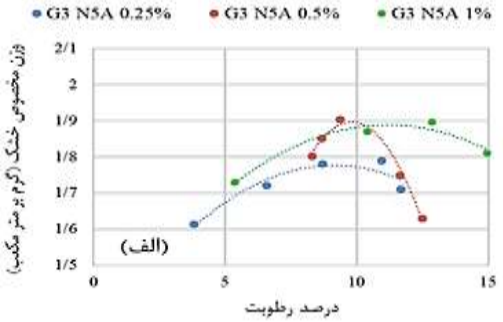
۴-۱-تأثیر گازوئیل و نانو رس بر رطوبت بهینه و وزن مخصوص ماکزیمم

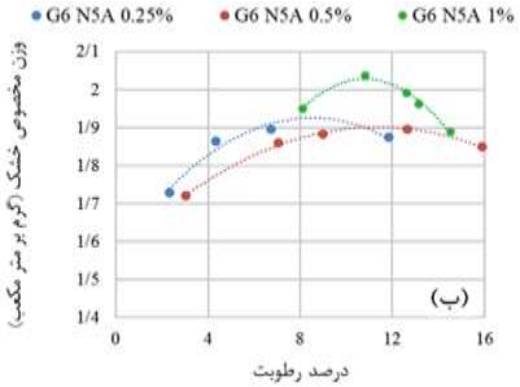
تأثیر درصدهای مختلف گازوئیل بر ماکزیمم وزن مخصوص خشک خاک و رطوبت خاک در شکل۱ نشان داده شده است.

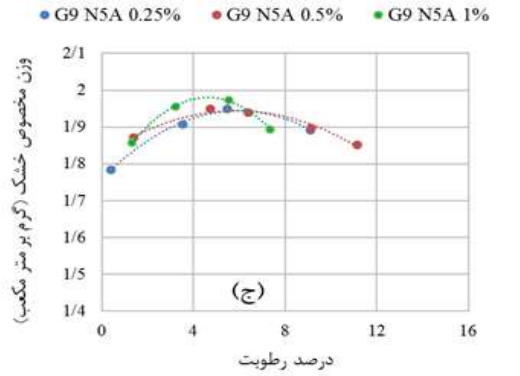
با افزایش درصد آلودگی هر دو مقدار درصد رطوبت بهینه وزن مخصوص خشک حداکثر کاهش می‌یابد. به دلیل ریزدانه بودن خاک، آلودگی درون خاک نقشی متمایز از آب دارد و باعث مستهلک شدن نیروی اعمال شده توسط چکش شده و منجر به کمتر شدن وزن مخصوص خشک حداکثر می‌شود. افزایش درصد آلودگی باعث کاهش حد خمیری خاک می‌شود؛ در نتیجه نمونه فاقد آلودگی به آب بیشتری احتیاج داشته و درصد رطوبت بهینه آن بیشتر از نمونه‌های آلوده به نفت است. شکل۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ و ۴ با افزودن مقادیر ۰،۰،۲۵٪، ۰،۵٪ و ۱ درصد نانو رس از دو نوع 5A , 20A به بررسی میزان تراکم خاک‌آلوده پرداخته‌شده است. همان‌طور که در شکل۴ مشخص است، در نمونه‌های با نانو رس از نوع 5A ، بیشترین وزن مخصوص در هر میزان آلودگی مربوط به مقدار ۱٪ نانو رس می‌باشد درحالی‌که در نمونه‌های با نانو رس از نوع 20A، بیشترین وزن مخصوص مربوط به مقدار ۰،۵٪ نانو رس است.



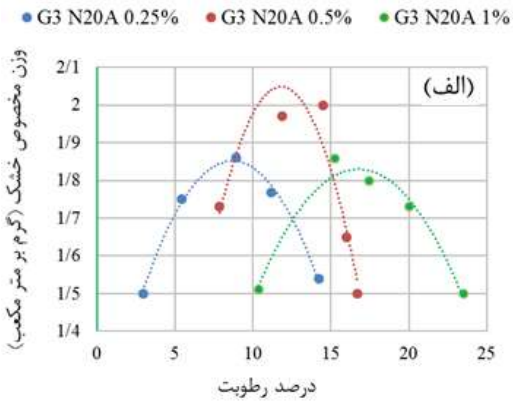
شکل ۱: نتایج آزمایش تراکم خاک (CL) با مقدار گازوئیل ۳٪، ۶٪ و ۹٪



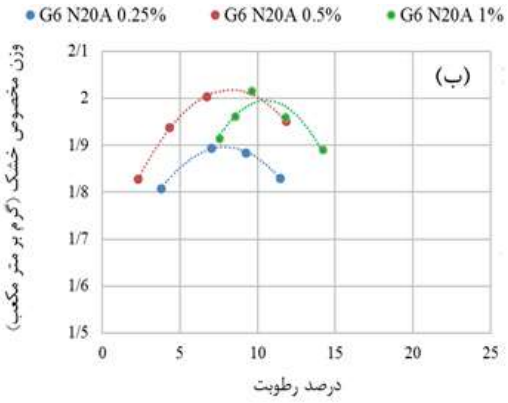


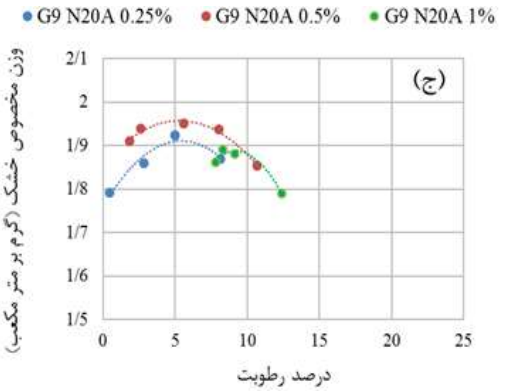


شکل۲: نتایج آزمایش تراکم خاک ماسه رس دار از نوع A5 با مقدار گازوئیل الف) ۳٪ ب) ۶٪ ج) ۹٪

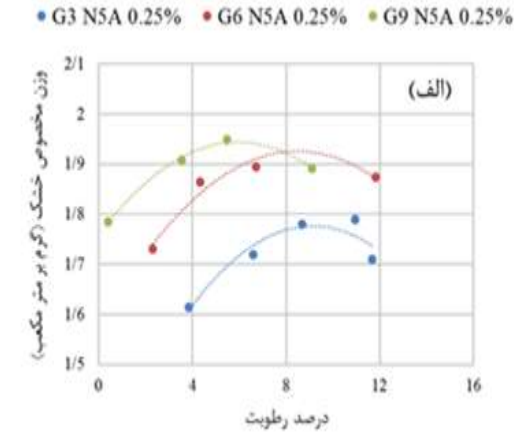


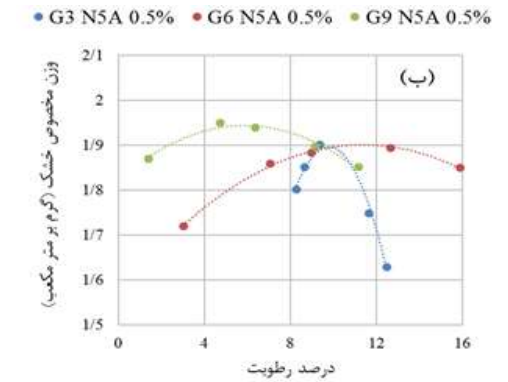
JECM
8 (2) , 2024
دوره ۸، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۲
دوفصلنامه پژوهشی

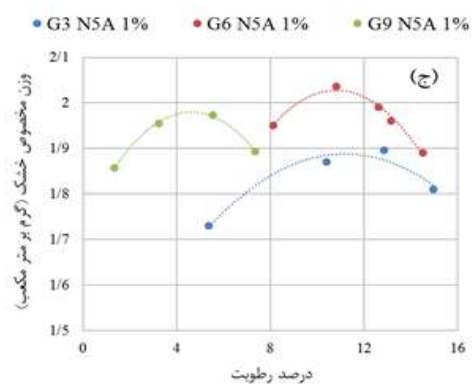




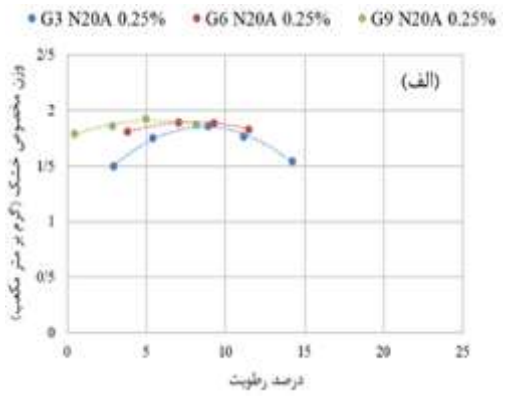
شکل ۳ نتایج آزمایش تراکم خاک ماسه رس دار از نوع A20 با مقدار گازوئیل الف) ۳٪ ب) ۶٪ ج) ۹٪

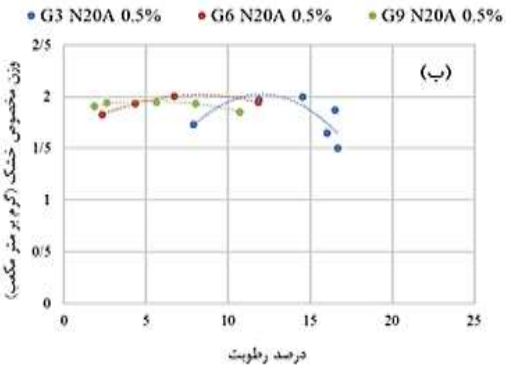


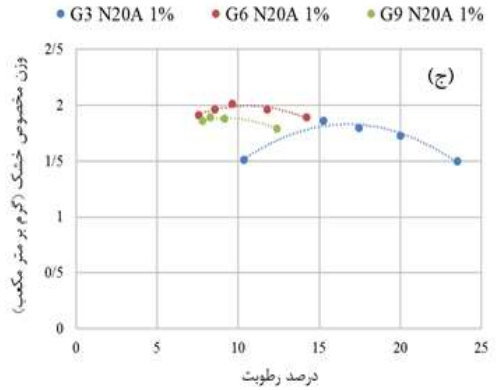




شکل۴ نتایج آزمایش تراکم خاک حاوی مقادیر مختلف گازوئیل و رس از نوع A5 با مقدار الف) ۰٫۲۵٪ ب) ۰٫۵٪ ج) ۱٪







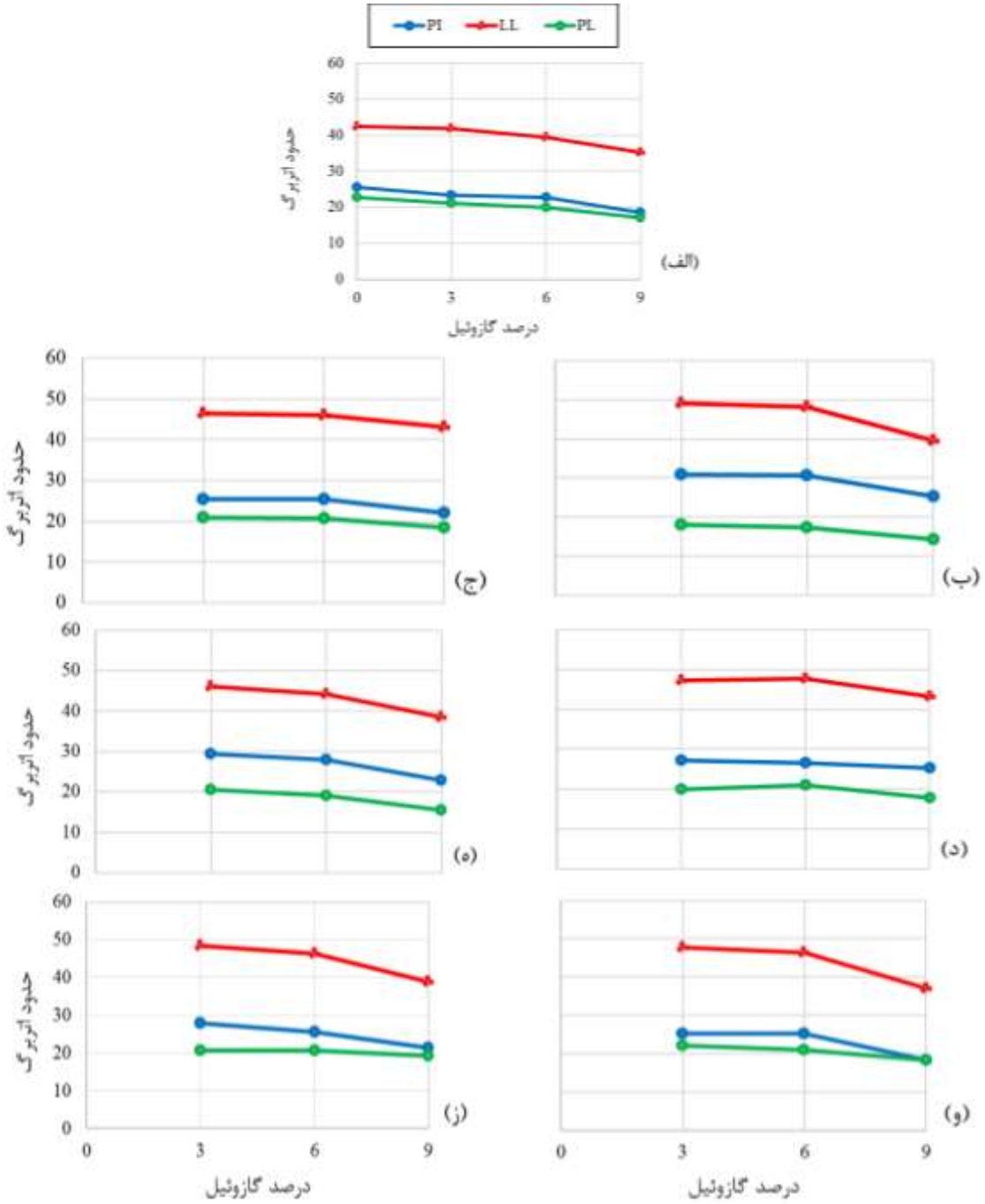
شکل ۵ نتایج آزمایش تراکم خاک حاوی مقادیر مختلف گازوئیل و رس از نوع A20 با مقدار الف) ۰٫۲۵٪ ب) ۰٫۵٪ ج) ۱٪

JECM
8 (2) , 2024
دوره ۸، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۲
دوفصلنامه پژوهشی

همچنین با بررسی نمودارها می‌توان دریافت بیشترین مقدار وزن مخصوص در میزان آلودگی ۶٪ ، با افزودن ۱٪ نانو رس 5A، حاصل می‌شود. بیشترین مقدار وزن مخصوص در میزان آلودگی ۳٪ ، با افزودن ۰٫۵٪ نانو رس 20A ، حاصل می‌شود. بیشترین مقدار وزن مخصوص در میزان آلودگی ۹٪ ، با افزودن ۱٪ نانو رس 5A ، حاصل می‌شود.

۴-۲- تأثیر گازوئیل و نانو رس بر حدود اتر برگ

اثر گازوئیل بر حد روانی (LL) ، حد خمیری(PL) و نشانه خمیری (PI)خاک در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ با افزایش میزان گازوئیل، حدود اتر برگ کاهش میابد. زیرا خاک نرم‌تر می‌شود و بنابراین برای حصول مقاومت بیشتر خاک افزودن مقادیر مختلف نانو رس باعث افزایش حدود اتر برگ و سخت شدن خاک می‌شود.



شکل ۶: تأثیر گازوئیل بر حدود اتر برگ خاک ماسه رس دار دارای نانو رس

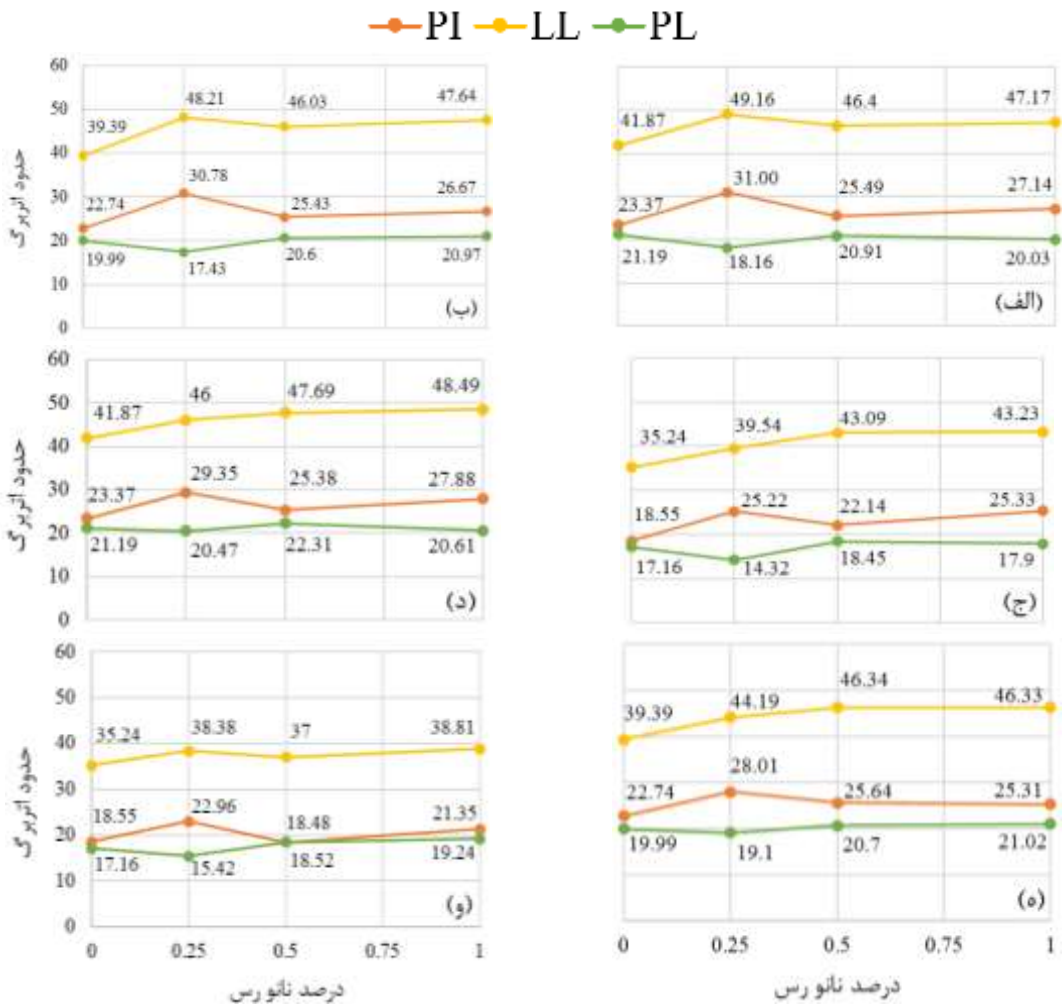
(الف) صفر درصد بدون نانو (ج) ۱٪ از نوع A ۵ (ه) ۰٫۲۵٪ از نوع A ۲۰ (ز) ۱٪ از نوع ۲۰A

JECM
8 (2) , 2024
دوره ۸، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۲
دوفصلنامه پژوهشی

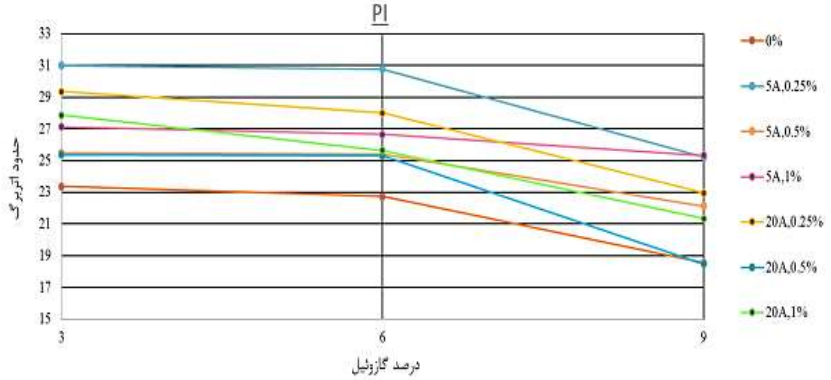
۴-۳- بررسی اثر نانو رس بر آزمایش حدود اتر برگ

اثر نانو رس بر حد روانی (LL) ، حد خمیری(PL) و نشانه خمیری (PI)خاک در شکل ۷ نشان داده شده است همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش میزان آلودگی به دلیل سبک‌تر بودن گازوئیل و تغییرات جزئی نانو، حد پلاستیک ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد اما حد روانی ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می-کند. شاخص خمیری نیز رفتاری مشابه حد روانی دارد.

در نانو رس از نوع 5A ، با افزایش میزان نانو به خاک‌آلوده، حدود اتر برگ ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.در نانو رس از نوع 20A نیز همین روند مشاهده می‌شود. بهینه‌ترین حالت در بین تمام مقادیر نانو رس مربوط به افزودن مقدار ۰٫۲۵٪ نانو است.



شکل ۷ حدود اتر برگ در درصدهای مختلف نانو رس و گازوئیل الف) نانو رس۵A و۳٪ گازوئیل، ب) نانو رس۵A و۶٪ گازوئیل، ج) نانو رس۵A و۹٪ گازوئیل، د) نانو رس۲۰A و۳٪ گازوئیل، ه) نانو رس۲۰A و۶٪ گازوئیل، و) نانو رس۲۰A و۹٪ گازوئیل



شکل ۸ مقایسه شاخص خمیری در مقادیر مختلف نانو رس

JECM
8 (2) , 2024
دوره ۸، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۲
دوفصلنامه پژوهشی

۵- نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به منحنی توزیع اندازه ذرات و مدول درجه بندی نمونه‌های آلوده به گازوئیل در مقادیر ۳، ۶ و ۹ درصد از وزن خشک خاک حاکی از تغییر در نوع دانه بندی خاک در اثر آلودگی بود. همچنین با افزایش درصد آلودگی به دلیل چسبیدن ذرات به یکدیگر و افزایش بخش درشت دانه نسبت به بخش ریزدانه افزایش مدول درجه بندی نمونه‌ها گزارش شد است.

افزایش درصد آلودگی سبب افزایش میزان تراکم‌پذیری خاک می-گردد. درواقع گازوئیل به خاطر داشتن خاصیت روان کاری، موجب می‌گردد تا ذرات خاک بهتر و راحت‌تر بر روی یکدیگر بلغزند و میزان تراکم‌پذیری خاک را افزایش دهند. که سبب می‌گردد در حین تراکم، ذرات خاک راحت‌تر بر روی یکدیگر بلغزند و حفرات خالی خاک را پر نمایند.

همچنین درصد رطوبت بهینه خاک با افزایش درصد آلودگی کاهش یافته است که این موضوع را می‌توان به پوشیده شدن ذرات خاک با گازوئیل نسبت داد، زیرا مواد غیر قطبی سبب ایجاد خاصیت دافعه شده و موجب می‌گردد خاک برای رسیدن به وزن مخصوص خشک حداکثر رطوبت کمتری را جذب نمایند. در نتیجه با افزودن نانو رس تراکم پذیری خاک بهبود یافته است.

.نتایج حاکی از کاهش مقادیر حد روانی و حد خمیری بود که مطابق به‌طورکلی بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده افزودن نانو ذرات رس مشاهده می‌شود با افزایش میزان آلودگی، حد پلاستیک ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد اما حد روانی ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند. شاخص خمیری نیز رفتاری مشابه حد روانی دارد.

۶- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی ندارند.

۷- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۸- مراجع

[1] Nguyen, L.D., Fatahi, B. & Khabbaz, H. 2014, 'A constitutive model for cemented clays capturing cementation degradation', International Journal of Plasticity, vol.56, pp. 1-18.

[2] Dang, L., Hasan, H., Fatahi, B. & Khabbaz, H. (2015). Influence of bagasse ash and hydrated lime on strength and mechanical behaviour of stabilised expansive soil. GEOQuébec 2015, eds J. Côté & M. Allard, Québec City, Canada, pp. 1-8.

[3] Dang, L., Hasan, H., Fatahi, B., Jones, R. & Khabbaz, H. (2016). Enhancing the engineering properties of expansive soil using bagasse ash and hydrated lime. International journal of GEOMATE, vol. 11, no. 11, pp. 2447-54.

[4] Sharma, R., Phanikumar, B. & Rao, B. (2018). Engineering behavior of a remolded expansive clay blended with lime, calcium chloride, and rice-husk ash. Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 21, no. 8, pp. 119-11.

[5] Jayasree, P., Balan, K., Peter, L. & Nisha, K. (2015). Volume change behavior of expansive soil stabilized with coir waste. Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 27, no. 6, p. 0401195

[6] Bilba, K., Arsene, M. A. & Ouensanga, A. (2003). Sugar cane bagasse fibre reinforce cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite. Cement and Concrete Composites, vol. 25, no. 1, pp. 91-6.

[7] Cao, Y., Shibata, S. & Fukumoto, I. (2006). Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 37, no. 3, pp. 423-9.

[8] Mallela J, Harold Von Quintus P, Smith KL. Consideration of lime-stabilized layers in mechanistic-empirical pavement design. Arlington, Virginia, USA: The National Lime Association; 2004.

[9] Rogers C, Glendinning S. Modification of clay soils using lime. Ground Engineering.London, UK: Thomas Telford Limited; 1996. p. 99e114.

[10] Sakr MA, Shahin MA, Metwally YM. Utilization of lime for stabilization soft clay soilof high organic content. Geotechnical and Geological Engineering 2009;27: 105e13.

[11] Bell FG. Lime stabilization of clay minerals and soils. Engineering Geology 1996;42(4):223e37.

[12] Kassim KA, Chern KK. Lime stabilized Malaysian cohesive soils. Journal Kejuruteraan Awan 2004;16(1):13e23

[13] Rao SM, Shivananda P. Compressibility behavior of lime-stabilized clay. Geotechnical and Geological Engineering 2005;23:309e19.

[14] Ghobadi MH, Abdilor Y, Babazadeh R. Stabilization of clay soils using lime and effect of pH variations on shear strength parameters. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 2014;73(2):611e9.

[15] Basma AA, Tuncer ER. Effect of lime on volume change and compressibility ofexpansive clays. Transportation Research Record 1991;1296:54e61.

[16] Kuo W, Lin K, Chang W, Luo H. Effects of nano-materials on properties of waterworks sludge ash cementpaste. J Indust EngChem–Seoul2006;12(5):702

[17] Senff L, Labrincha JA, Ferreira VM, Hotza D, Repette WL. Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars. Constr Build Mater 2009;23(7):2487–91.

[18] Farzadnia N, Ali AAA, Demirboga R. Development of nanotechnology in high performance concrete. Adv Mater Res 2012;364:115–8.

[19] Sobolev K, Flores I, Torres-Martinez L, Valdez P, Zarazua E, Cuellar E. Engineering of SiO2 nanoparticles for optimal performance in nanocementbased materials. Nanotechnol Constr 2119;33139–18. Springer.

[20] Iranpour, B., Haddad, A., 2016. The influence of nanomaterials on collapsible soil treatment.Eng. Geol. 205, 40–53.

[21] [21] Kananizadeh, N., Ebadi, T., Khoshniat, S.A., 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), 605–611.

[22] Taha, O.M.E., Taha,M.R., 2016. Soil-water characteristic curves and hydraulic conductivityof nanomaterial-soil-bentonite-mixtures. Arab. J. Geosci. 9, 12

[23] Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil UsingStandard Effort - ASTM D198.

[24] Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils- ASTM D1318

[25] Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil Lime Mixtures- ASTM D5102 – 09

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. 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) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)