

بررسی پتانسیل روانگرایی ماسه تثبیت شده با افزودنی سیمان

مقاله علمی - پژوهشی

حمزه حیات پور، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران
احمدرضا مظاهری^{*}، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، ایران
مجتبی حسینی، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.mazaheri@abru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۲ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵

صفحه ۲۶۶-۲۵۷

چکیده

وقوع زلزله یا اعمال سایر بارهای تناوبی در مناطقی که سطح آب زیر زمینی بالا باشد سبب کاهش سختی و مقاومت خاک ماسه‌ای می‌گردد این کاهش مقاومت خاک ماسه‌ای اصطلاحاً روانگرایی نامیده می‌شود و در صورت وجود ساختمان و تاسیسات سبب آسیب جدی به آنها می‌گردد. در این پژوهش به بررسی پتانسیل روانگرایی ماسه شهرستان دورود طی زلزله سال ۱۳۸۵ پرداخته می‌شود. برای این منظور ابتدا نمونه‌های ماسه‌ای با سابقه‌ی روانگرایی از عمق‌های ۲/۷-۱/۸ و ۳/۵-۲/۷ متری از منطقه مسکونی که دچار روانگرایی شده است برداشت شده و جهت انجام تست‌های مورد نیاز به آزمایشگاه منتقل شده است و پارامترهای وزن مخصوص بیشینه، رطوبت بهینه، تخلخل بیشینه و کمینه، زاویه اصطکاک و چسبندگی آن تعیین گردید. سپس با تعیین سر بارهای مختلف و در CSR ۰/۲ رفتار دینامیکی ماسه در دستگاه برش ساده سیکی سیکی مورد بررسی قرار گرفته است. سپس تاثیر درصد‌های مختلف سیمان به عنوان یک افزودنی مورد بررسی واقع شده است. نتایج نشان می‌دهد افزودن ۲ درصد سیمان سبب افزایش پارامترهای مقاومتی ماسه می‌گردد به طوری که زاویه اصطکاک از ۲۴ درجه به ۲۹ درجه افزایش می‌یابد و چسبندگی نیز به از مقدار اولیه ۱ کیلوپاسکال به ۱۳ کیلوپاسکال می‌رسد. این افزایش مقاومت در رفتار دینامیکی هم کاملاً قابل مشاهده است به طوری در تراکم ۸۰ درصد نمونه و زمانی که تنش دورگیر ۱۰۰ کیلوپاسکال است نمونه بعد از ۷۴ سیکل دچار روانگرایی می‌گردد ولی افزایش ۲ درصد سیمان این باعث افزایش مقاومت نمونه در برابر روانگرایی شده به طوری که تعداد سیکل‌های روانگرایی به ۷۴۰ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: روانگرایی، ماسه دورود، سیمان، CSR

۱-مقدمه

روانگرایی زمانی رخ می‌دهد که ماسه اشباع تحت تاثیر بارهای متناوب قرار گیرد. این بار اعمال بار متوالی می‌تواند ناشی از نیروی زلزله باشد. محققین زیادی تلاش نموده‌اند تا پدیده روانگرایی را به صورت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار دهند. [Lentini and Castelli., 2019]. به طور کلی رفتارهای روانگرایی خاک می‌توانند به دو نوع تقسیم شوند که شامل تحرک سیکی و روانگرایی جریانی هستند. تحرک سیکی غالباً در ماسه با چگالی متوسط رخ می‌دهد که در نتیجه‌ی افزایش در فشار آب حفره‌ای می‌باشد و به پاسخ‌های انقباضی و مکرر هنگامی که تنش موثر به صفر نزدیک است، مرتبط می‌شود. روانگرایی جریانی اغلب در ماسه‌ی سست اشباع رخ می‌دهد که دلیل آن کاهش سریع مقاومت برشی

است. روانگرایی جریانی شامل فرآیند انتقال فاز از حالت جامد به حالت سیال می‌باشد. در خاک‌های ریز دانه‌ی ماسه‌ای، قبل از اعمال زلزله و نیروهای ناشی از آن، بین ذرات خاک تماس پایدار وجود دارد. این مساله موجب می‌گردد که پایداری سازه‌ای که بر روی خاک قرار دارد به دلیل مقاومت برشی خاک به خوبی تامین گردد. هنگامی که خاک در اثر تنش‌های ناشی از بار دینامیکی تغییر شکل می‌دهد، تماس بین ذرات از بین می‌رود. در نتیجه نیروهایی که در گذشته به دلیل تماس پایدار بین ذرات خاک تحمل می‌شدند، به آب منفذی منتقل خواهند شد. در این حالت مقاومت برشی خاک به صفر رسیده و خاک رفتاری مشابه سیال ویسکوز را از خود نشان می‌دهد [Kramer., 1996].

به دلیل خاصیت زهکشی که دارند، یکی دیگر از راهکارهای مفید برای کاهش پتانسیل روانگرایی بسترهای ماسه‌ای محسوب می‌شوند [Banerjee et al., 2017]. نشست و گسترش جانبی برای ماسه‌های روانگرا به ترتیب در حدود ۲/۶ و ۲/۵ برابر ماسه‌های خشک است و کرنش حجمی این ماسه‌ها نیز به صورت چشمگیری بالاتر از ماسه‌های خشک می‌باشد [Tang et al., 2016]. ونگ و همکاران [Bahadori and Farzalizadeh., 2018] نشان دادند که مقاومت روانگرایی برای نمونه‌های دست‌نخورده در شاخص پلاستیسیته‌ی پایین کاهش می‌یابد و با افزایش این شاخص، مقاومت روانگرایی هم افزایش خواهد یافت. مہشواری و پتل [Wang et al., 2016] دریافتند که میزان سیلت بحرانی برای تولید بیشینه فشار آب حفره‌ای در شرایط روانگرایی برای شتاب‌های مختلف، متفاوت است. همچنین اثر میزان سیلت شدیداً به تراکم نسبی توده‌ی خاک وابسته است. نتایج آزمایش‌های متعدد سه محوری زهکشی شده و نشده نشان داد که ماسه‌ی بابلسر دارای پتانسیل بالای روانگرایی است [Maheshwari and Patel., 2010]. پژوهش‌های کاوند و صادقی میبدی [۱۷] بر روی پاسخ گروه شمع در برابر گسترش جانبی ناشی از روانگرایی مشخص کرد که بیشترین مقدار جابجایی جانبی خاک حین گسترش جانبی، در فواصل دور از شمع‌ها رخ می‌دهد و جابجایی خاک در مجاورت شمع‌ها کاهش می‌یابد.

نتایج آزمایش‌های سه‌محوری سیکلی انجام شده در شرایط بارگذاری نامنظم، وابستگی اضافه فشار آب حفره‌ای و مقاومت روانگرایی را به تراکم نسبی نمونه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد [Al Mahmoud and Degen., 2006]. هر چند از آهک در تثبیت خاک‌های ماسه‌ای به منظور افزایش مقاومت استفاده نمی‌شود، اما پژوهش‌هایی در زمینه‌ی استفاده از کلسیم کربنات در خاک‌های ماسه‌ای گزارش شده است [Mazaheri et al., 2021-Asadi et al., 2017]. در این مطالعه به بررسی رفتار استاتیکی و دینامیکی ماسه دورود پرداخت می‌شود. در منطقه دشت سیلاخور لرستان سطح آب بالای منطقه و نیز وجود گسل‌های متعدد منطقه را مستعد روانگرایی نموده است. طی تحقیق انجام گرفته و بررسی گزارش‌های زوین شناسی منطقه لنز ماسه‌ای در منطقه دورود مشاهده گردید که نشان از پتانسیل روانگرایی در آن حوزه می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق موضوع مورد ارزیابی قرار گرفته است.

تاکنون مطالعات موردی متعددی در رابطه با شرایط روانگرایی در بسترهای ژئوتکنیکی انجام شده است [Yilmaz et al., 2008-Sharma and Hazarika., 2013]. امینی و کوای به بررسی و مقایسه رفتار خاک سیلتی همگن و غیر همگن با در شرایط مختلف بارهای دینامیکی پرداختند. در این تحقیق تنش دورگیر بین ۵۰ تا ۲۵۰ کیلوپاسکال متغیر بوده است [Ishihara and Koseki., 1989]. کیوستر در سال ۱۹۹۴ نیز شواهدی ارائه داد که حالت خمیری خاک عامل کنترل کننده‌ای در پتانسیل روانگرایی خاک‌ها با ریزدانه‌ی خمیری نیست، به طوری که اگر نسبت تخلخل ثابت باشد نوع ریزدانه و حالت خمیری کمترین نقش را در پتانسیل روانگرایی ایفا می‌کند [Koester., 1994]. تیانگیان و پراکاش در سال ۱۹۹۹ در رابطه با اثر رس بر خصوصیات مقاومت سیکلی و فشار آب حفره‌ای لای‌ها بیان کردند که طبیعت تولید فشار حفره‌ای در لای‌های غیر خمیری تقریباً مشابه ماسه است [Tianqian and Prakash., 1999]. تحقیق پولیتو و مارتین در ۲۰۰۱ حاکی از کاهش مقاومت روانگرایی تا درصد مشخصی از ریزدانه و افزایش مقاومت روانگرایی با افزایش بیشتر ریزدانه است [Polito and Martin 2001].

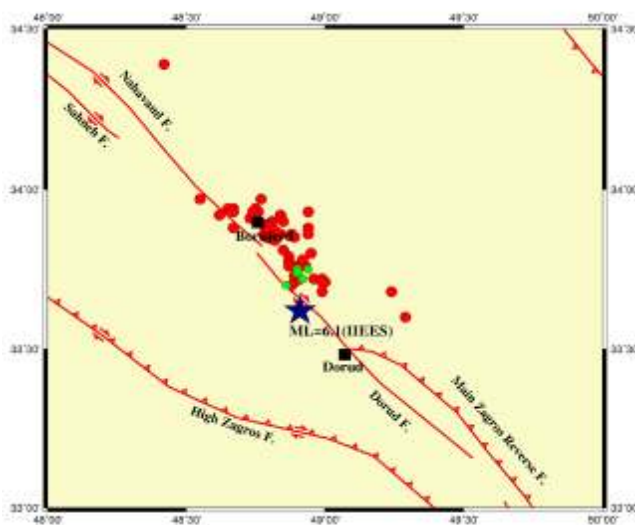
نتایج پژوهش‌های لتینی و کستلی نشان داد که مقاومت سیکلی با کاهش تنش محصور کننده‌ی اولیه افزایش می‌یابد، در حالی که این مقاومت با افزایش میزان سیلت کاهش خواهد یافت. آنان همچنین نشان دادند که مصالح درشت تمایل کمتری به روانگرا شدن دارند. این پژوهشگران نشان دادند که در یک تراکم نسبی یکسان، مقاومت روانگرایی ماسه‌های ریز با افزودن ریزدانه‌های غیر پلاستیک به میزان ۴۰٪، کاهش می‌یابد. مقاومت روانگرایی ماسه‌ها با افزایش سیکل‌های پیش بارگذاری و فشار پیش تحکیمی افزایش می‌یابد [Arabani and Pirouz., 2019]. نتایج اختلاط خرد لاسستیک با ماسه نشان داد که انرژی لازم برای وقوع روانگرایی با افزایش درصد لاسستیک در نمونه، کاهش می‌یابد. به طوری که کمینه مقدار انرژی لازم، برای نمونه‌های با ۱۰٪ خرد لاسستیک به دست آمده است. بدین معنی که افزایش درصد خرد لاسستیک منجر به کاهش مقاومت روانگرایی خاک خواهد شد. اما نکته‌ی جالب توجه آن است که با افزایش میزان خرد لاسستیک از ۱۰٪ به ۲۵٪ شاهد بهبود مقاومت روانگرایی خواهیم بود [Akhila et al., 2018]. در پژوهشی دیگر مشخص شد که افزودن پودر لاسستیک به ماسه سبب کاهش تغییر شکل‌های ناشی از روانگرایی می‌شود [Shariatmadari et al., 2019]. ستون‌های سنگی

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

واقع شده است. مناطق شرقی‌تر به تدریج به زون سنندج-سیرجان می‌رسد. یکی از عمده‌ترین دلایل اهمیت این منطقه، قرار گرفتن در مرز سه زون ساختاری بسیار مهم سنندج-سیرجان و کمربندهای چین خورده و رانده‌ی زاگرس می‌باشد. در شکل ۱ محل وقوع زلزله نشان داده شده است.

در سال ۱۳۸۵ زلزله ای به بزرگای ۶٫۲ رخ داد که خسارات زیادی به شهرستان دورود و بروجرد وارد نمود. منطقه‌ی مورد بحث از نظر زمین‌شناسی دارای تنوع بسیاری است. از جهت تقسیمات ساختاری بخش‌های غربی و جنوبی در محدوده‌ی چین خورده‌ی زاگرس و بخش میانی که از وسعت بیشتری برخوردار است، در زون زاگرس مرتفع



شکل ۱. نقشه پهنه و مرکز لرزه ای زلزله فرودین ۱۳۸۵

۲-۲- مشخصات خاک ماسه‌ای منطقه

بلی پروپیلن به کار رفته به عنوان افزودنی آورده شده است. همچنین قابل ذکر است که آهک مورد استفاده در این پژوهش از نوع هیدراته بوده است. قابل توجه می‌باشد که ساخت نمونه‌های آزمایش برش مستقیم در وزن مخصوص معادل ۹۰٪ درصد تراکم انجام شده و در این شرایط مورد آزمایش قرار گرفتند.

آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی خاک محل عبارتند از: آزمایش دانه‌بندی (ASTM D6913M-17)، هیدرومتری (ASTM D442-63)، تعیین حدود اتربرگ (ASTM D4318-17) و آزمایش برش مستقیم (ASTM D3080M-11). در جدول ۱ مشخصات ماسه‌ی منطقه مورد نظر نشان داده شده است. در جدول ۲ مشخصات ییاف

جدول ۱. مشخصات ماسه روانگرای دورود

طبقه بندی خاک به روش متحد	G_s	e_{max}	e_{min}	γ (gr/cm^3)	γ_d (gr/cm^3)	C (kg/cm^2)	ϕ ($^\circ$)
SM	۲/۶۶	۰/۹	۰/۳	۱/۸۴	۱/۷۵	۰	۳۲

با یا بدون مقدار کمی از رس یا لای، به اندازه ۵٪ وزنی سیمان یا کمتر نیاز خواهد داشت. ماسه بد دانه‌بندی شده با حداقل مقدار لای میزان ۳٪ وزنی سیمان لازم خواهد داشت. نشریه ۲۶۸ سازمان برنامه و بودجه با عنوان دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها در جدولی مطابق جدول ۲ درصد‌های وزنی مناسب سیمان برای تثبیت انواع خاک‌ها را ارائه نموده است.

خاک‌های ماسه‌ای از جمله ماسه بادی به سهولت قابل تثبیت با سیمان هستند. مقدار سیمان لازم برای تثبیت این گونه خاک‌ها، در درجه‌ی اول بستگی به درجه تخلخل خاک تثبیت شده دارد. عوامل دیگری که در میزان سیمان لازم موثر هستند عبارتند از: درصد شن و درصد مواد ریزدانه. مقدار سیمان مورد نیاز بستگی به طبقه بندی خاک دارد. یک خاک خوب دانه بندی شده شامل شن، ماسه درشت و ماسه ریز

جدول ۲. درصد‌های وزنی مناسب سیمان برای تثبیت انواع خاک‌ها

گروه یونیفاید	حدود درصد وزنی سیمان
GW,GP,GM,SW,SP,SM	۵
GP,GM,SP,SM	۶
GM,GC,SM,SC	۷
SP	۹
ML,CL	۱۰
ML,MH,CH	۱۰
CL,CH	۱۲
ML,CH	۱۳

۳-۲- برنامه آزمایش‌ها

زاویه‌ی اصطکاک و چسبندگی نمونه‌ها به دست آمد. نمونه‌های تهیه شده عبارت بودند از: ماسه‌ی بدون افزودنی و ماسه‌های حاوی ۱، ۲، ۴ و ۸ درصد سیمان که در جدول ۲ برنامه آزمایش‌ها نشان داده شده است.

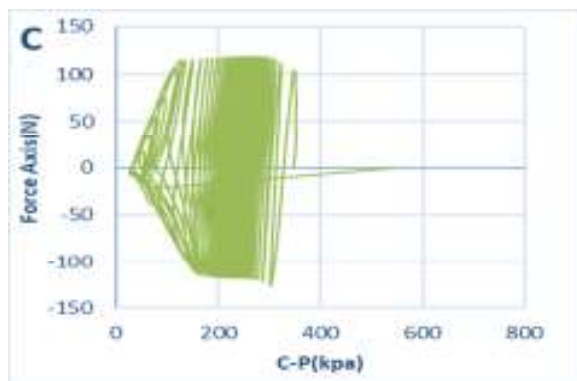
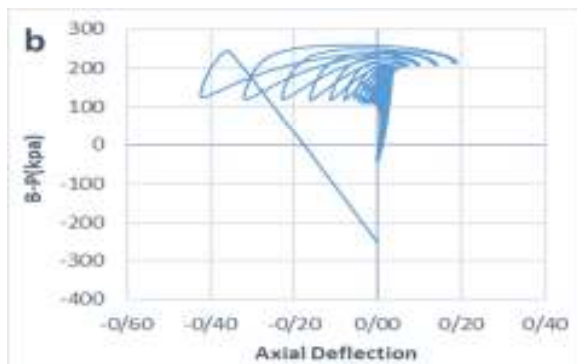
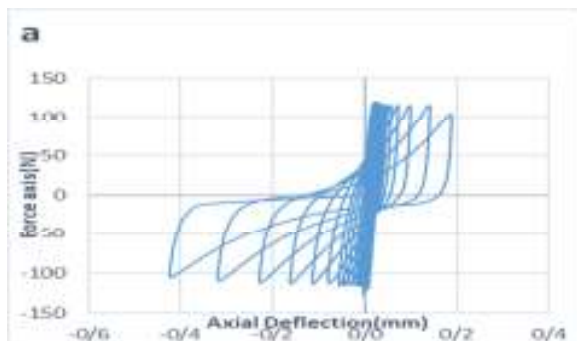
به منظور بررسی اثر افزودن اثر سیمان بر رفتار ماسه و همچنین تاثیر آن بر روی پتانسیل روانگرایی، ماسه را با درصد‌های مختلف سیمان مخلوط کرده و با انجام آزمایش برش مستقیم در شرایط اشباع، دانسیته، درصد رطوبت بهینه،

جدول ۳. مشخصات نمونه‌ها و نتایج آزمایش در شرایط اشباع سیمان

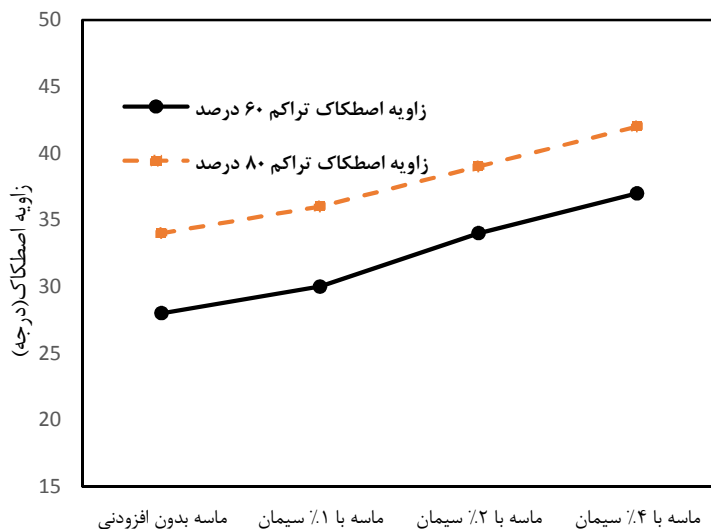
تنش دورگیر (کیلوپاسکال)	CSR	مصالح
۱۰۰	۰/۱	ماسه بدون افزودنی
۱۰۰	۰/۱	ماسه با ۱٪ سیمان
۱۰۰	۰/۱	ماسه با ۲٪ سیمان
۱۰۰	۰/۱	ماسه با ۴٪ سیمان
۲۰۰	۰/۱	ماسه بدون افزودنی
۲۰۰	۰/۱	ماسه با ۱٪ سیمان
۲۰۰	۰/۱	ماسه با ۲٪ سیمان
۲۰۰	۰/۱	ماسه با ۴٪ سیمان
۳۰۰	۰/۱	ماسه بدون افزودنی
۳۰۰	۰/۱	ماسه با ۱٪ سیمان
۳۰۰	۰/۱	ماسه با ۲٪ سیمان
۳۰۰	۰/۱	ماسه با ۴٪ سیمان

۲-۴- پارامترهای دینامیکی ماسه

به منظور بررسی رفتار دینامیکی ماسه مورد نظر از آزمایش سه محوری سیکلی استفاده شده است. در این آزمایش شرایط محیط برای ماسه مدل سازی شده است و میزان تنش دورگیر اعمالی معادل مقدار تنش است که در عمق ۸ متری بر خاک اعمال می‌گردد.



شکل ۲. نمودار نیرو- تغییر مکان، فشار آب حفره‌ای به تغییر مکان و نیرو به فشار آب سلول برای ماسه ریز دانه بدون هیچ‌گونه افزودنی، با بارگذاری سیکلیک و فرکانس ۱ هرتز

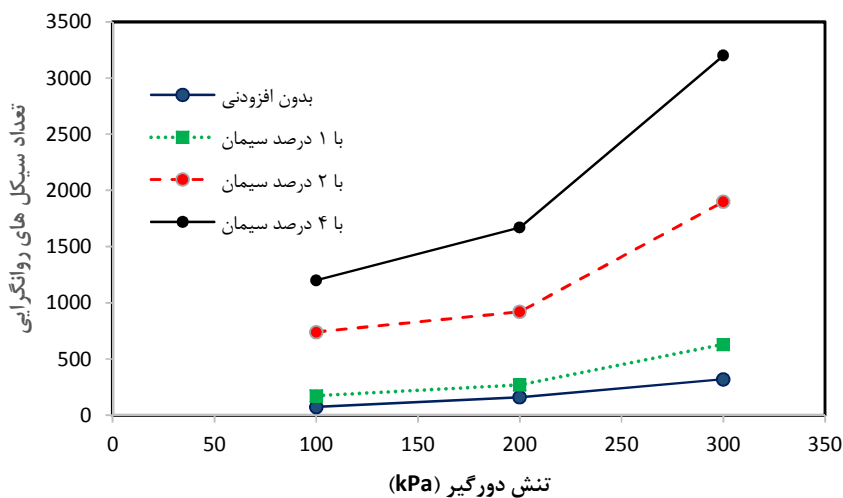


شکل ۷. بررسی تاثیر افزودنی سیمان بر زاویه اصطکاک ماسه با درصد های مختلف افزودنی سیمان

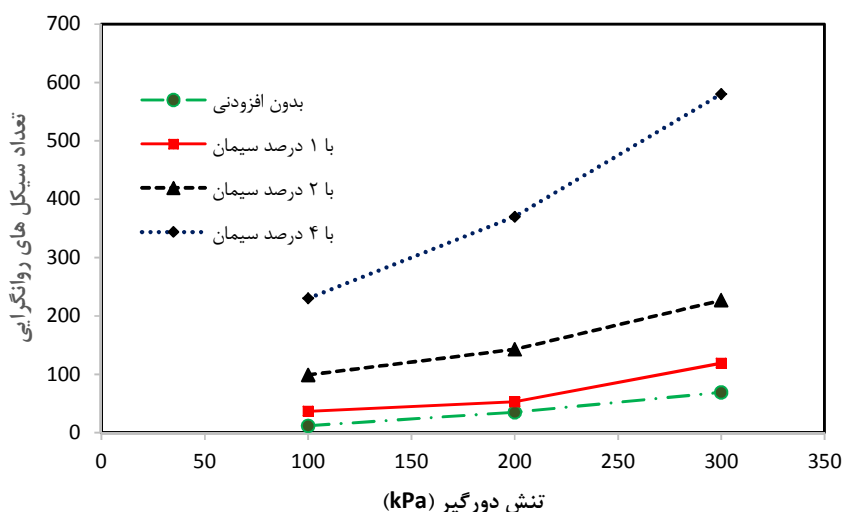
۳-۳- تاثیر افزودنی بر رفتار دینامیکی

دهم تا ده هرتز را اعمال کند. نتایج بررسی های انجام گرفته بر روی ماسه مذکور در فرکانس یک هرتز در شرایط خشک با $CSR=0/2$ به انجام رسیده است. نتایج بررسی تحلیل های دینامیکی در شکل ۸ و ۹ نشان داده شده است.

به منظور بررسی رفتار دینامیکی ماسه مورد مطالعه از دستگاه برش ساده سیکلی دوجته استفاده شده است. این دستگاه توانایی آن را دارد که نیروی دینامیکی را در جهت افقی و قائم به نمونه ها وارد نماید و فرکانسی در بازه یک



شکل ۸. تعداد سیکل های ایجاد روانگرایی در تنش های دورگیر متفاوت و تراکم ۸۰ درصد



شکل ۹. تعداد سیکل های ایجاد روانگرایی در تنش های دورگیر متفاوت و تراکم ۶۰ درصد

افزایش مقاومتی ماسه نیز می گردد به طوری که نمونه در تراکم ۶۰ درصد و بدون حضور افزودنی داری زاویه اصطکاک ۲۸ و چسبندگی صفر می باشد. ولی با اضافه نمودن ۴ درصد سیمان زاویه اصطکاک به ۳۷ درجه و چسبندگی به ۱۳ کیلوپاسکال افزایش می یابد.

۶- مراجع

- Akhila M, Rangaswamy K, and Sankar N, (2018), "Undrained Response and Liquefaction Resistance of Sand-Silt Mixtures Geotechnical and Geological Engineering", 37, pp.2729- 2745.
- Al Mahmoud A. and Degen, WS., (2006), "Marine stone columns to prevent earthquake induced soil liquefaction Geotechnical and Geological Engineering", 24, pp.775-790.
- Arabani M, and Pirouz M., (2019), "Liquefaction prediction using rough set theory Scientia Iranica", 26(2), pp.779-788.
- Asadi A, Sharifipour M, and Ghorbani k, (2017), "Numerical Simulation of Piles Subjected to Lateral Spreading and Comparison with Shaking Table Results Civil Engineering Infrastructures Journal", 50(2), pp.277-292.

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است. در تراکم ۸۰ درصد وجود افزودنی سیمان سبب افزایش مقاومت نمونه ها در برابر روانگرایی شده است. در تنش دور گیر ۲۰۰ کیلو پاسکال در شرایط نمونه بدون افزودنی در ۱۶۰ سیکل روانگرایی رخ می دهد ولی با حضور یک درصد سیمان در نمونه ها تعداد سیکل های روانگرایی به ۲۷۰ سیکل افزایش می یابد. در شکل ۹ وجود افزودنی سیمان در تراکم ۶۰ درصد نمونه با حضور درصدهای مختلف سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی ها نشان می دهد نمونه در تنش دور گیر ۳۰۰ کیلو پاسکال و تراکم ۶۰ درصد بدون افزودنی در سیکل ۶۹ روانگرا می گردد. ولی وقتی که ۲ درصد سیمان به نمونه ها افزوده می شود در تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال در سیکل ۲۲۷ روانگرایی رخ می دهد.

۵- نتیجه گیری

بررسی های انجام گرفته در این مقاله نشان می دهد افزودن سیمان به ماسه سبب افزایش مقاومت استاتیکی و دینامیکی آن می گردد. افزودن سیمان درصد رطوبت بهینه را نیز افزایش می دهد به طوری که نمونه بدون افزودنی رطوبت بهینه ۵/۵ درصد دارد ولی افزودن ۴ درصد سیمان درصد رطوبت بهینه به ۷ درصد افزایش می یابد. دلیل این امر را می تواند به ریز بودن ذرات سیمان و بالا بودن حجم ویژه آنها نسبت داد.

- Mazaheri A, and Nasiri M., (2021), "Liquefaction Behavior of Stabilized Sand using Clay - A Case Study: Dorood Liquefied Sand Investigation", *Journal of Hydraulic Structures*, 6(4), pp.33-46.
- Polito CP, and Martin JR., (2001), "Effects of non-plastic fines on the liquefaction resistance of sands *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*", ASCE, 127(5), pp.408- 415.
- Shariatmadari N., Karimpour Fard M., and Shargh A., (2019), "Evaluation of Liquefaction Potential in Sand-Tire Crumb Mixtures Using the Energy Approach *International Journal of Civil Engineering*", 17, pp.181-191.
- Sharma B, and Hazarika PJ., (2013), "Assessment of Liquefaction Potential of Guwahati City: A Case Study *Geotechnical and Geological Engineering*", 31, pp.1437-1452.
- Tang L, Zhang X, and Ling X., (2016), "Numerical Simulation of Centrifuge Experiments on Liquefaction Mitigation of Silty Soils using Stone Columns *KSCE Journal of Civil Engineering*", 20, pp.631-638.
- Tianqiang G., and Prakash S., (1999), "Liquefaction of silts and silt-clay mixtures *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, 125(8), pp.706-710.
- Wang S, Luna R, and Yang J., (2016), "Reexamination of effect of plasticity on liquefaction resistance of low-plasticity fine-grained soils and its potential application *Acta Geotechnica*, pp.1209-1216.
- Yilmaz D., Babuccu F, Batmaz S., and Kavruk F., (2008), "Liquefaction analysis and soil improvement in Beydag dam *Geotechnical and Geological Engineering*", 26, pp.211-224.
- Bahadori H, and Farzalizadeh R., (2018), "Dynamic Properties of Saturated Sands Mixed with Tyre Powders and Tyre Shreds *International Journal of Civil Engineering*, 16, pp.395-408.
- Banerjee R, Konai S, Sengupta A, and Deb K., (2017), "Shake Table Tests and Numerical Modeling of Liquefaction of Kasai River Sand *Geotechnical and Geological Engineering*", 35, pp.1327-1340.
- Ishihara K, and Koseki J., (1989), "Discussion on the cyclic shear strength of fines--containing sands *Earthquakes Geotechnical Engineering, Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio De Janiero, Brazil*, pp.101- 106.
- Koester JP., (1994), "The influence of fine type and content on cyclic strength *Ground Failures under Seismic Conditions*", *Conditions, Geotechnical Special Publication*, ASCE, 44, pp.330- 345.
- Kumar S., (2001), "Reducing liquefaction potential using dynamic compaction and construction of stone column *Geotechnical and Geological Engineering*", 19, pp.169-182.
- Kumar S., (2001), "Reducing liquefaction potential using dynamic compaction and construction of stone column *Geotechnical and Geological Engineering*", 19, pp.169-182.
- Lentini V., and Castelli F., (2019), "Liquefaction Resistance of Sandy Soils from Undrained Cyclic Triaxial Tests *Geotechnical and Geological Engineering*, 37, pp.201-216.
- Maheshwari BK., and Patel AK., (2010), "Effects of Non-Plastic Silts on Liquefaction Potential of Solani Sand *Geotechnical and Geological Engineering*", 28, pp.559-566.

Investigation of Liquefaction Potential of Sand Stabilized with Additive

*Hamzeh Hayatpour, Ph.D., Student, Department of Engineering Faculty,
Islamic Azad University Arak Branch, Arak, Iran.*

*Ahmadreza Mazaheri, Assistant Professor, Department of Engineering Faculty Ayatollah
Borujerdi University, Borujerd, Iran.*

*Mojtaba Hosseini, Associate Professor, Department of Technical and Engineering,
University of Lorestan, Lorestan, Iran.*

E-mail: a.mazaheri@abru.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

The occurrence of an earthquake or the other periodic loads in areas where the underground water level is high causes the reduced resistance of sandy soil. This decrease in the resistance of sandy soil is called liquefaction and if there are buildings and facilities, it causes serious damage to them. In this research, the potential of liquefaction of sand in Dorood city during the earthquake of 2015 is investigated. For this purpose, at first, sand samples with a history of liquefaction were taken from the depths of 1.2-8.7 and 2.3-5.5 meters from the liquefied residential area and were taken to the laboratory to perform the required tests. The results show that the addition of 2% cement causes an increase in the resistance parameters of sand, so that the friction angle increases from 24 degrees to 29 degrees and the cohesion also increases from 1 kPa to 13 kPa.

Keywords: Liquefaction, Case Study, Dorood Sand, Clay