

بررسی اثر لایه گذاری ناهمگن بر مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط های شن - ماسه

یاسر جعفریان^{۱*}، قربانعلی زروکی^۲

۱- عضو هیئت علمی پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، مؤسسه آموزش عالی علوم و فناوری آریان

yjafarianm@iiees.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۳/۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۰/۳]

چکیده- مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌های دانه‌ای یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در بررسی ظرفیت باربری پی‌ها و دیوارهای حائل است. با توجه به وجود مخلوط‌های شن و ماسه به صورت همگن و ناهمگن در سواحل دریای مازندران، شناخت پارامترهای مقاومتی این نوع مخلوط‌ها ضروری به نظر می‌رسد. این در حالیست که عمده‌ی مطالعات انجام‌شده روی خاک‌های مخلوط همگن تمرکز داشته‌اند. در این پژوهش با استفاده از آزمایش‌های سه محوری استاتیکی زهکشی نشده به بررسی تفاوت رفتار مخلوط‌های همگن با ناهمگن تحت شرایط گوناگون از قبیل تنش‌های همه جانبه، تراکم‌های نسبی و درصد‌های ناهمگنی مختلف پرداخته شده است. آزمایش‌های صورت گرفته برای بررسی تأثیر افزایش درصد ناهمگنی مخلوط‌ها، نتایج قابل توجهی را ارائه می‌دهد. با افزایش درصد ناهمگنی در مخلوط‌های شن - ماسه در حالیکه درصد شن ثابت نگه داشته شده است، مقاومت برشی زهکشی نشده افزایش می‌یابد. همچنین افزایش درصد ناهمگنی مخلوط، تأثیر قابل توجهی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای دارد. نتایج در قالب نمودارهای تنش انحرافی، فشار آب حفره‌ای اضافی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی در برابر کرنش محوری به ازای تنش‌های همه جانبه، تراکم نسبی و درصد‌های ناهمگنی مختلف ارائه می‌شوند.

واژگان کلیدی: مقاومت برشی زهکشی نشده، مخلوط شن و ماسه، آزمایش‌های سه محوری استاتیکی، روانگرایی جریانی.

۱- مقدمه

در بیان رفتار خاک‌های مخلوط شن و ماسه پژوهشگران زیادی به مطالعات آزمایشگاهی پرداختند. مطابق پژوهش‌های ایوانز^۱ و ژو^۲ [۱] و کوکاشو^۳ و همکاران [۲]، مقاومت سه محوری تناوبی مخلوط با افزایش مقدار شن افزایش می‌یابد.

ترکیب ناهمسان خاک‌ها که به شکل گسترده در رودخانه‌ها، سواحل ماسه‌ای و تپه‌های شنی مشاهده می‌شود، در زمین می‌تواند سبب پاسخ‌های متفاوتی در مقابل هر دو نوع

بارگذاری استاتیکی و دینامیکی شود. ژنگ^۴ و همکاران [۳] که یک سری آزمایش‌های سانتریفیوژ برای بررسی پاسخ لرزه‌ای خاک دپو شده در زوایای مختلف در مدل‌های سطح زمین انجام دادند، دریافتند که مدل‌های با زاویه رسوب‌گذاری ۹۰ درجه (نسبت به افق) به روانگرایی حساس‌تر بودند. همچنین مدت زمان روانگرایی نیز در این حالت طولانی‌تر بود.

جعفریان^۵ و همکاران [۴] مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط شن و ماسه همگن را با استفاده از یک سری آزمایش‌های سه محوری از نوع تحکیم یافته زهکشی نشده

4 Zeng
5 Jafarian

1 Evans
2 Zhou
3 Kokusho

شد.

گفتن این نکته اهمیت دارد که رسوب گذاری زمانی اتفاق می افتد که مواد به طور طبیعی در فرایندهایی دچار هوازدگی شده و تحت فرسایش شکسته شوند، سپس به وسیله عواملی مثل باد، آب، یخ، یا نیروهای گرانشی منتقل شود. شن و ماسه سواحل و رودخانه ها نمونه هایی از حمل و نقل مواد به وسیله رودخانه هاست. موادی که به وسیله رودخانه ها حمل می شوند، خواه و ناخواه پس از مدتی، در اثر کاهش قدرت حمل و نقل رودخانه رسوب می کنند. همین امر سبب لایه بندی شدن زمین به وسیله شن و ماسه و سایر خاک ها به صورت ترکیبات ناهمسان خواهد شد. ترکیب ناهمسان به شکل گسترده در رودخانه ها، سواحل ماسه ای و تپه های شنی مشاهده شده است. شکل (۲) نمونه ای از رسوب گذاری ناهمگن را نشان می دهد.

شکل (۲) نمونه ای از رسوب گذاری ناهمگن

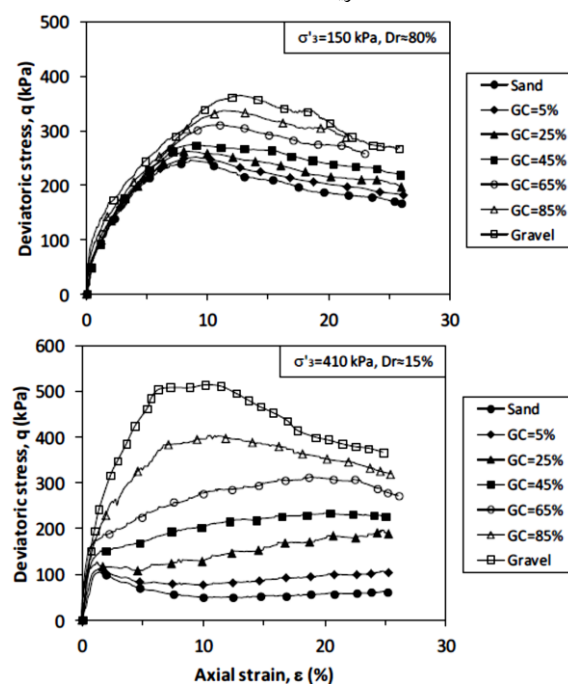


شکل (۲) نمونه ای از رسوب گذاری ناهمگن

با توجه به مطالعات، پژوهش ها و آزمایش های صورت گرفته در خصوص ارزیابی مقاومت برشی مخلوط های شن و ماسه، این گونه به نظر می رسد که بیشتر مدل سازی ها و آزمایش ها بر خاک های مخلوط بر نمونه های همگن و کاملاً یکنواخت تمرکز داشته اند که این عمل می تواند با آنچه که در واقعیت رخ می دهد، یعنی مخلوط های ناهمگن متفاوت باشد. بنابراین همان گونه که در طبیعت مشاهده می شود، نمونه هایی با رسوب گذاری ناهمگن باید مورد توجه قرار گیرند. در این مقاله، آثار لایه بندی در رسوب گذاری به صورت نمونه های همگن و ناهمگن بر مقاومت برشی زهکشی نشده و پتانسیل فشار آب حفره ای خاک های مخلوط شن و ماسه بررسی می شود. نتایج آزمایش های سه

در حالت کرنش - کنترل در شرایط مختلف بررسی کردند. نمودار تنش - کرنش ماسه بابلسر و شن رودخانه ای با تراکم نسبی های ۱۵٪ و ۸۰٪ در دو فشار مؤثر همه جانبه ۱۵۰ و ۴۱۰ کیلوپاسکال در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به این شکل مشخص می شود که با افزایش تراکم نسبی بر مقاومت مخلوط افزوده می شود. در واقع با ازدیاد تراکم نسبی مخلوط، درگیری دانه ها و قفل و بست بین آن ها افزایش یافته و اتساع خاک بیشتر می شود و در نتیجه مقاومت برشی مخلوط افزایش می یابد.

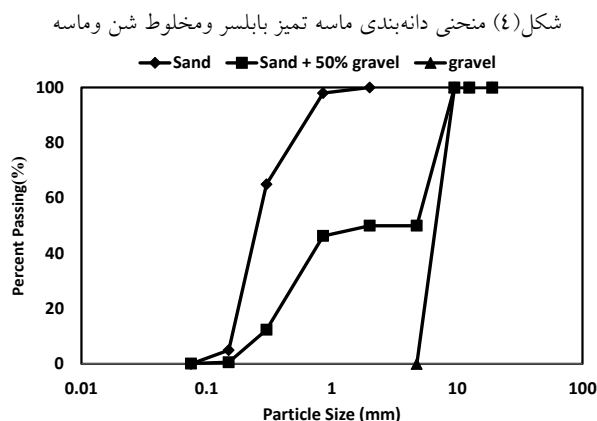
شکل (۱) نمودارهای مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط های شن و ماسه (جعفریان و همکاران ۲۰۱۳)



شکل (۱) نمودارهای مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط های شن و ماسه (جعفریان و همکاران ۲۰۱۳)

امینی^۱ و همکاران [۵] برنامه جامعی از آزمایش های سه محوری زهکشی نشده سیکلی برای مقایسه رفتار ماسه سیلت های لایه بندی شده و همگن در شرایط روانگرایی لرزه ای، برای محتویات سیلت های مختلف و فشار محصور کننده متفاوت ارائه دادند. دو روش آماده سازی نمونه برای هر دو نوع خاک را استفاده کردند و نتایج با یکدیگر مقایسه

استاندارد (ASTM (D20-40 به دست آمدند و شامل چگالی ویژه دانه‌ها، درجه تخلخل کمینه و درجه تخلخل بیشینه است، در جدول (۱) آمده است [۶ و ۷].



شکل (۴) منحنی دانه‌بندی ماسه تمیز بابلسر و مخلوط شن و ماسه

جدول (۱) مشخصات اندیسی مصالح مورد استفاده در آزمایش سه محوری

نوع مصالح	G_s	e_{max}	e_{min}	C_c	C_u	طبقه بندی
ماسه تمیز	۲/۷۸	۰/۸۱	۰/۵۶	۱/۰۹	۱/۸۵	SP
ماسه ی شن دار	۲/۷۸	۰/۵۵	۰/۴	۰/۱۴	۲۰/۳	SP

۲-۳- وسایل آزمایش

وسایل مورد نیاز برای انجام آزمایش سه محوری به شرح زیر است:

محفظه‌ی فشار، وسیله‌ی اعمال بارگذاری قائم به صورت کنترل کرنش، منبع ایجاد خلاء، گرمکن، کولیس، غشای لاستیکی، قالب استوانه‌ای برای نمونه سازی، ۲ عدد سنگ تخلخل، ورقه‌های کاغذ صافی در زیر و روی نمونه (بین نمونه‌های خاک و سنگ‌های متخلخل) برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون سنگ متخلخل، بورت برای اندازه گیری تغییر حجم، ۴ حلقه‌ی لاستیکی (اورینگ) برای جلوگیری از نفوذ آب به درون نمونه، دستگاه کمپرسور مربوط به فشار هیدرواستاتیکی جانبی، ترازو با دقت اندازه گیری ۰/۱ گرم، وسیله‌ی اعمال فشار با کنترل کرنش (پرس). این وسیله که در قسمت پایین آن، موتوری قرار دارد که سرعت آن قابل کنترل

محوری از نوع تحکیم یافته زهکشی نشده در حالت کرنش- کنترل برای این نوع مخلوط‌ها در شرایط مختلف (شامل تغییر در تنش مؤثر همه جانبه و تراکم نسبی) بررسی خواهند شد.

۲- مطالعات آزمایشگاهی انجام شده

۲-۱- مصالح آزمایش شده

نمونه‌گیری از ماسه به صورت دست خورده از اعماق سطحی ساحل اطراف شهر بابلسر و از قسمت پارک ساحلی شماره ۳، که حدود ۲۰ متر با دریا فاصله داشت انجام شد. لازم به گفتن است با توجه به مصالح مطالعه شده که مخلوط شن و ماسه است، شن مورد نیاز از بستر رودخانه هراز واقع در شهرستان آمل تهیه شده است. شکل (۳) شن و ماسه مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل (۳) مصالح استفاده شده در این پژوهش



شکل (۳) مصالح استفاده شده در این پژوهش

۲-۲- آزمایش دانه‌بندی

آزمایش دانه‌بندی برای ماسه و مخلوط شن و ماسه به صورت خشک انجام شد. با لرزش ماسه‌ی خشک به مدت حدود ۱۰ دقیقه، درصد وزنی مقادیر باقی مانده روی هر الک مشخص و منحنی دانه‌بندی برای درصد عبوری روی یک نمودار نیمه لگاریتمی رسم شده است. از طرفی مصالح شن، شامل شن گردگوشه با دانه‌بندی یکنواخت است. برای تهیه شن در اندازه استاندارد با قطر نمونه، دانه‌های عبوری از الک شماره (۳/۸) و مانده روی الک شماره (۴) جمع‌آوری شده است. منحنی دانه‌بندی ماسه و مخلوط شن و ماسه در شکل (۴) آمده است. همچنین مشخصات اندیسی آن‌ها که از طریق آزمایش‌های

است؛ به طرف بالا یا پایین می‌رود.

شکل (۸) کاربر در حال کوبیدن نمونه برای رسیدن به تراکم مورد نظر



شکل (۸) کاربر در حال کوبیدن نمونه برای رسیدن به تراکم مورد نظر

شکل (۵) کاربر در حال مرطوب سازی نمونه



شکل (۵) کاربر در حال مرطوب سازی نمونه

شکل (۹) چگونگی قالب‌برداری از نمونه به وسیله‌ی کاربر



شکل (۹) چگونگی قالب‌برداری از نمونه به وسیله‌ی کاربر

شکل (۶) نمایی از محفظه فلزی و غشاء مورد استفاده



شکل (۶) نمایی از محفظه فلزی و غشاء مورد استفاده

شکل (۷) کاربر در حال ریختن نمونه به داخل قالب



شکل (۷) کاربر در حال ریختن نمونه به داخل قالب

۲-۴- نمونه‌سازی و روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها روی نمونه‌هایی از ماسه تمیز بابل‌س و مخلوط شن و ماسه انجام شدند که برنامه آزمایشگاهی شامل آزمایش‌های زهکشی نشده با تنش‌های مؤثر متوسط اولیه و با تراکم‌های نسبی متفاوت است. تمامی نمونه‌ها به روش ریزش مرطوب و به میزان رطوبت ۱۰ درصد و با تراکم‌های نسبی اولیه متفاوت نمونه‌سازی شدند. نمونه‌ها با ریختن ماسه و یا مخلوط شن و ماسه در داخل غشاء و اعمال مکش با فشار کم، برای نگه داشتن غشاء لاستیکی به قالب صورت پذیرفته است. ماسه در ۵ لایه به صورت مرطوب در داخل غشاء برای به دست آوردن تراکم مورد نظر به شکل یکنواخت ریخته شدند (برای مخلوط شن و ماسه با درصدهای ناهمگنی متفاوت تعداد لایه‌ها و

برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شده است. بر این اساس آزمایش‌ها به شش سری مختلف A, B, C, D, E و F قابل تفکیک است.

سری A: شامل شش آزمایش برای ماسه تمیز تحت شرایط زهکشی نشده تحکیم یافته همسان است. در این سری آزمایش‌ها دارای سه تنش همه جانبه مؤثر اولیه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و تراکم‌های نسبی اولیه متفاوت و تراکم پس از تحکیم ۵ و ۵۰ درصد است. شکل (۱۰) نمونه گسیخته شده ماسه تمیز را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰) نمونه گسیخته شده ماسه تمیز



شکل (۱۰) نمونه گسیخته شده ماسه تمیز

سری B: شامل شش آزمایش برای مخلوط همگن شن و ماسه تحت شرایط زهکشی نشده تحکیم یافته همسان است. در این سری آزمایش‌ها دارای سه تنش همه جانبه مؤثر اولیه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و تراکم‌های نسبی اولیه متفاوت و تراکم پس از تحکیم ۵ و ۵۰ درصد است.

سری C: شامل شش آزمایش برای مخلوط ناهمگن شن و ماسه با درجه ناهمگنی ۲۵ درصد تحت شرایط زهکشی نشده تحکیم یافته همسان است. در این سری آزمایش‌ها دارای سه تنش همه جانبه مؤثر اولیه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و تراکم‌های نسبی اولیه متفاوت و تراکم پس از تحکیم ۵ و ۵۰ درصد است.

سری D: شامل شش آزمایش برای مخلوط ناهمگن شن و ماسه با درجه ناهمگنی ۵۰ درصد تحت شرایط زهکشی نشده تحکیم یافته همسان است. این سری از آزمایش‌ها دارای سه

تراکم متفاوت است). سپس فشار مکشی معادل ۱۰ الی ۱۵ کیلو پاسکال از طریق لوله زهکش به نمونه اعمال شده تا نمونه را در همان وضعیت نگه دارد. این فرآیند تا برداشتن کامل قالب از روی نمونه ادامه می‌یافت. اندازه نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM (D4767-88) با طول تقریبی ۷۶ میلی‌متر و قطر ۳۸ میلی‌متر و یا به عبارتی ضریب طول به عرض ۲ ساخته شدند [۸].

بعد از پر شدن محفظه سه محوری از آب، با اعمال فشار همه جانبه معادل ۱۰ الی ۱۵ کیلوپاسکال برای حذف فشار مکش اعمال شد. تمامی نمونه‌ها قبل از اینکه به مقدار اشباع کمینه ۹۵ درصد برسند، ابتدا به وسیله دی اکسید کربن و سپس به وسیله آب مقطر با استفاده از سیستم پس فشار و پمپ خلاء اشباع شدند. پس از اشباع سازی، نمونه‌ها برای رسیدن به تنش مؤثر متوسط اولیه مورد نظر، به صورت همسان تحکیم شدند. پس از مرحله تحکیم، که با عدم تغییر در بورت نشان دهنده تغییر حجم مشاهده می‌شود، فاز بارگذاری آغاز می‌شود. آزمایش‌ها به وسیله دستگاه سه محوری مونوتونیک از نوع کنترل تغییر مکان (Displacement-control) انجام شدند که در آن نرخ تغییرات تغییر مکان در حدود ۱ میلی‌متر بر دقیقه ادامه می‌یابد تا به گسیختگی در ساختار نمونه برسد. شکل‌های (۵) الی (۹) به ترتیب، مراحل نمونه‌سازی را نشان می‌دهد [۹].

۳- انجام آزمایش

۳-۱- تشریح شرایط انجام آزمایش‌ها در شرایط زهکشی نشده همسان

برای انجام این پژوهش از ۳۶ آزمایش سه محوری در شرایط مختلف استفاده شده است. همه‌ی آزمایش‌ها در شرایط زهکشی نشده و تحکیم یافته همسان انجام پذیرفته است. لازم به گفتن است برای اینکه تأثیر درصد ناهمگنی در تعیین پارامترهای ذکر شده مشخص شود، سعی شد که نمونه‌ها به تراکم یکسان پس از تحکیم برای فشار همه جانبه مشخص برسند. به همین دلیل با انجام سعی و خطا و آزمایش‌های زیادی نمونه‌ها به تراکم یکسان پس از تحکیم رسیده‌اند. همچنین سه تنش مؤثر همه جانبه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال

تنش همه جانبه مؤثر اولیه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و تراکم های نسبی اولیه متفاوت و تراکم پس از تحکیم ۵ و ۵۰ درصد می باشند. شکل (۱۱) نمونه گسیخته شده مخلوط ۵۰ درصد ناهمگن را نشان می دهد.

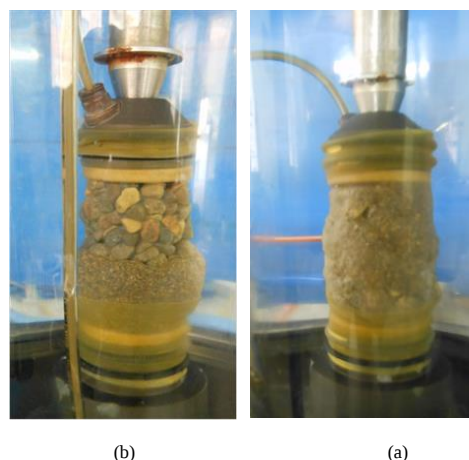
شکل (۱۱) نمونه گسیخته شده مخلوط ۵۰ درصد ناهمگن



شکل (۱۱) نمونه گسیخته شده مخلوط ۵۰ درصد ناهمگن

سری E: شامل شش آزمایش برای مخلوط ناهمگن شن و ماسه با درجه ناهمگنی ۷۵ درصد تحت شرایط زهکشی نشده تحکیم یافته همسان است. این سری از آزمایش ها دارای سه تنش همه جانبه مؤثر اولیه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و تراکم های نسبی اولیه متفاوت و تراکم پس از تحکیم ۵ و ۵۰ درصد است.

شکل (۱۲) - نمونه بعد از گسیختگی (a) مخلوط همگن (b) مخلوط ۱۰۰ درصد ناهمگن



شکل (۱۲) - نمونه بعد از گسیختگی (a) مخلوط همگن (b) مخلوط ۱۰۰ درصد ناهمگن

سری F: شامل شش آزمایش برای مخلوط ناهمگن شن و ماسه با درجه ناهمگنی ۱۰۰ درصد تحت شرایط زهکشی نشده تحکیم یافته همسان است. این سری از آزمایش ها دارای سه تنش همه جانبه مؤثر اولیه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال و تراکم های نسبی اولیه متفاوت و تراکم پس از تحکیم ۵ و ۵۰ درصد است. شکل (۱۲) مخلوط کاملاً همگن (a) و ۱۰۰ درصد ناهمگن (b) را نشان می دهد.

لازم به توضیح است که برای ایجاد درجه های ناهمگنی متفاوت از رابطه زیر استفاده شده است:

$$(۱) \quad \text{درجه ناهمگنی} = \frac{2 \times \text{ارتفاع لایه شنی}}{\text{ارتفاع کل}} \times ۱۰۰$$

با استفاده از این رابطه ی ساده و با در نظر گرفتن درجه ناهمگنی مورد نظر و با دانستن ارتفاع کل نمونه، ارتفاع یک لایه از نمونه به دست خواهد آمد. سپس بر حسب ارتفاع کل نمونه و با در اختیار داشتن ارتفاع یک لایه از آن نمونه، تعداد لایه ها به دست خواهد آمد. با توجه به اینکه از مقادیر یکسان شن و ماسه برای نمونه سازی همگن و ناهمگن استفاده می شود، بنابراین تعداد لایه های شن و تعداد لایه های ماسه با هم برابرند. جدول (۲) تعداد لایه های شن و ماسه را برای درجه ناهمگنی های متفاوت نشان می دهد.

جدول (۲) لایه های شن و ماسه برای درجه ناهمگنی های متفاوت

شن	شن	شن	شن	شن
ماسه تمیز	شن	شن	شن	شن
شن	ماسه تمیز	شن	شن	شن
ماسه تمیز	شن	شن	شن	شن
شن	ماسه تمیز	شن	شن	شن
ماسه تمیز	شن	شن	شن	شن
شن	ماسه تمیز	شن	شن	شن
ماسه تمیز	شن	شن	شن	شن
۲۵ درصد ناهمگن	۵۰ درصد ناهمگن	۷۵ درصد ناهمگن	۱۰۰ درصد ناهمگن	۱۰۰ درصد همگن

جدول (۲) لایه های شن و ماسه برای درجه ناهمگنی های متفاوت

۴- بررسی نتایج آزمایشگاهی

۴-۱- تأثیر درجه ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای

مخلوط شن و ماسه

نمودار فشار آب منفذی ماسه‌ی تمیز بابلر و مخلوط‌های شن و ماسه با تراکم نسبی پس از تحکیم ۵ درصد و فشار مؤثر همه جانبه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال برای درجات ناهمگنی مختلف در شکل‌های (۱۳ تا ۱۵) ارائه شده است. با توجه به این شکل‌ها مشخص می‌شود که با افزایش درجات ناهمگنی از پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای مثبت کاسته می‌شود. با توجه به شکل مشخص شد که نمونه ماسه تمیز نسبت به سایر نمونه‌ها، رفتاری منقبض شونده دارد. علت این امر آن است که در مخلوط‌های شن و ماسه بر خلاف ماسه خالص، رفتار مخلوط هم توسط بخش ماسه‌ای و هم به وسیله‌ی بخش شنی کنترل می‌شود. به عبارت دیگر در این شرایط ماسه موجود در مخلوط تأثیر کمتری بر خصوصیات مقاومتی دارد. همچنین با توجه به شکل‌های (۱۳ تا ۱۵) مشاهده می‌شود که مخلوط با درجه ناهمگنی ۱۰۰ درصد، کمترین میزان فشار آب حفره‌ای را نسبت به سایر درجات ناهمگنی داراست و رفتار اتساعی نشان می‌دهد.

۴-۲- تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی

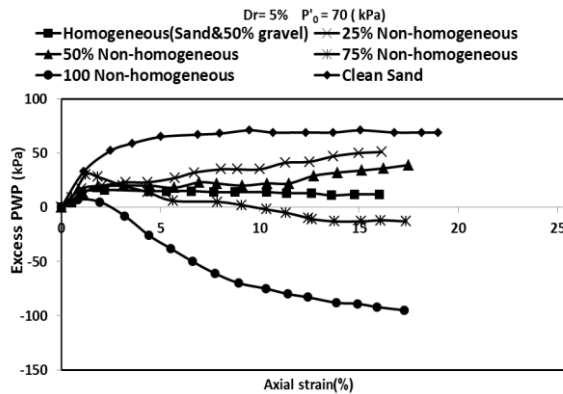
نشده مخلوط شن و ماسه

شکل‌های (۱۶ الی ۱۸) تأثیر درجات ناهمگنی بر منحنی تنش- کرنش مخلوط شن و ماسه در تراکم پس از تحکیم ۵ درصد و فشار مؤثر همه جانبه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال را نشان می‌دهد. مطابق این شکل‌ها زمانی که درجه ناهمگنی از ۲۵ درصد به ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد، متقابلاً بر مقاومت برشی مخلوط هم افزوده می‌شود. نکته قابل توجه اینکه این افزایش مقاومت برشی با وجود مقدار برابر شن و ماسه در همه درجات ناهمگنی اتفاق می‌افتد. با آنکه درصد شن در نمونه‌های مخلوط با هم برابر است، ناهمگونی رسوب‌گذاری تا ۳/۷ برابر مقاومت اوج و ۳/۷۵ برابر مقاومت نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین بیشترین مقاومت برشی مربوط به بیشترین درجه ناهمگنی یعنی مخلوط ۱۰۰ درصد ناهمگن است. از طرفی

نمونه ماسه تمیز کمترین مقاومت برشی را دارد.

شکل (۱۳) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای با فشار

همه جانبه ۷۰ کیلوپاسکال

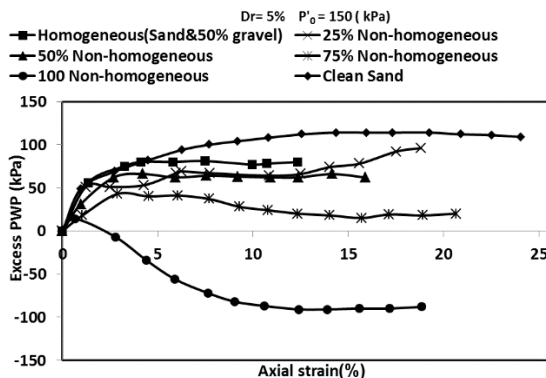


شکل (۱۳) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای با فشار

همه جانبه ۷۰ کیلوپاسکال

شکل (۱۴) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای با فشار

همه جانبه ۱۵۰ کیلوپاسکال

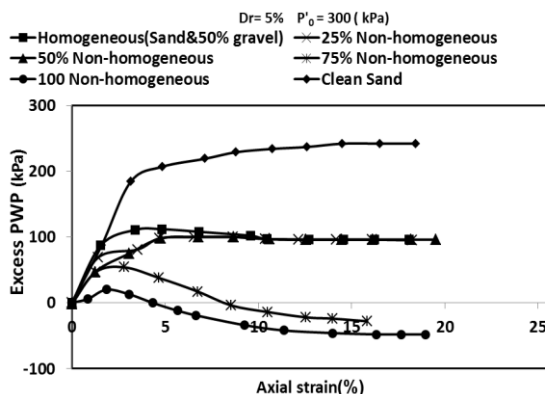


شکل (۱۴) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای با فشار

همه جانبه ۱۵۰ کیلوپاسکال

شکل (۱۵) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای

با فشار همه جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال

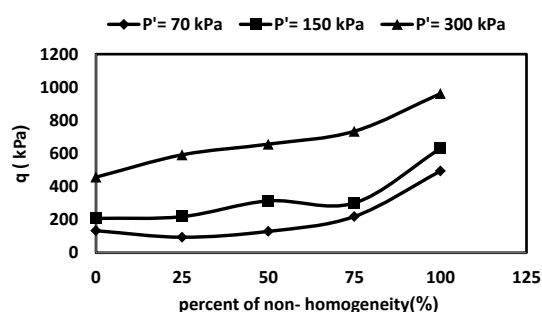


شکل (۱۵) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر پتانسیل تولید فشار آب حفره‌ای

با فشار همه جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال

نمودار تغییرات مقاومت برشی در مقابل درجات ناهمگنی مختلف در تراکم ۵ درصد و فشار مؤثر همه جانبه ۷۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال در شکل (۱۹) نشان داده شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که مقاومت مخلوط با افزایش فشار همه جانبه در تراکم ثابت افزایش می‌یابد.

شکل (۱۹) مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در مقابل درجات ناهمگنی مختلف در تراکم ۵٪



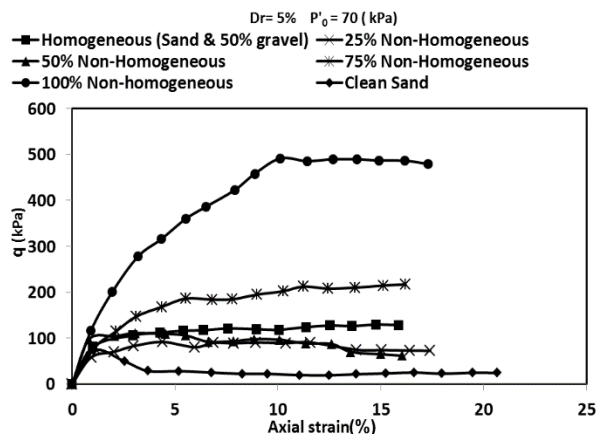
شکل (۱۹) مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در مقابل درجات ناهمگنی مختلف در تراکم ۵٪

۴-۳- تأثیر درجه ناهمگنی بر زاویه اصطکاک داخلی مخلوط‌ها

آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده معمول‌ترین نوع آزمایش سه محوری برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک از جمله زاویه اصطکاک داخلی خاک است. برای تعیین پارامترهای برشی خاک، نمونه‌های مختلف از خاک مورد نظر با فشارهای محفظه‌ای مختلف آزمایش می‌شود. در این پژوهش برای به دست آوردن پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌ها از جمله زاویه اصطکاک داخلی و مقایسه آن در درجات ناهمگنی مختلف و بررسی تفاوت آن با مخلوط‌های شن و ماسه همگن، آزمایش‌هایی با فشار همه جانبه مختلف در تراکم‌های نسبی متفاوت انجام شده است که نمودارهای آن در ادامه آمده است. برای محاسبه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی هر نمونه، ابتدا با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده و با مشخص کردن مقادیر تنش محوری، فشار محفظه‌ای و فشار آب حفره‌ای و با توجه به دایره موهر، مقادیر σ_1 و σ_3 به دست خواهد آمد. روابط (۲ و ۳) به ترتیب چگونگی محاسبه زوایای اصطکاک تحکیم یافته زهکشی نشده و زهکشی شده را نشان می‌دهند.

شکل (۱۶) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی نشده

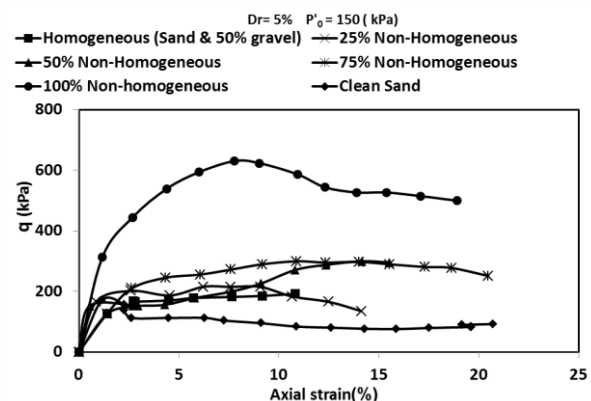
مخلوط‌های شن و ماسه با فشار ۷۰ کیلو پاسکال



شکل (۱۶) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط‌های شن و ماسه با فشار ۷۰ کیلو پاسکال

شکل (۱۷) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی نشده

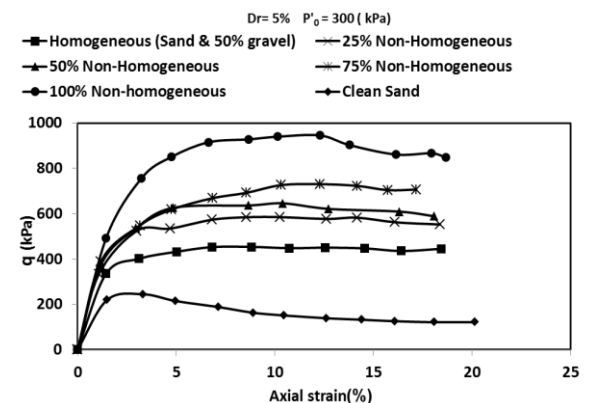
مخلوط‌های شن و ماسه با فشار ۱۵۰ کیلو پاسکال



شکل (۱۷) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط‌های شن و ماسه با فشار ۱۵۰ کیلو پاسکال

شکل (۱۸) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی نشده

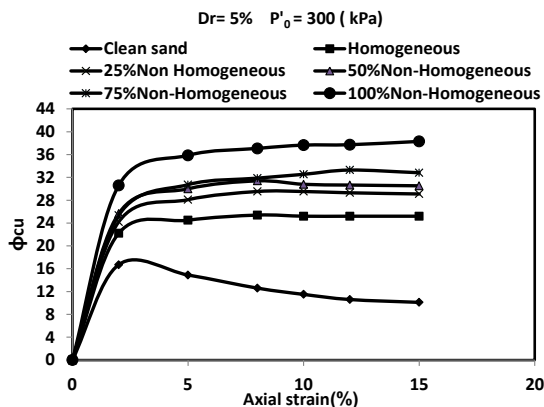
مخلوط‌های شن و ماسه با فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال



شکل (۱۸) نمودار تأثیر درجات ناهمگنی بر مقاومت برشی زهکشی نشده مخلوط‌های شن و ماسه با فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال

شکل های (۲۱ و ۲۲) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده برای همه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه به ترتیب ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال را نشان می دهند.

شکل (۲۲) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده برای کلیه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه ۳۰۰ کیلو پاسکال



شکل (۲۲) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده برای کلیه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه ۳۰۰ کیلو پاسکال

مطابق شکل های (۲۱ و ۲۲) مانند نمودار مربوط به فشار همه جانبه ۷۰ کیلو پاسکال، بیشترین زاویه اصطکاک داخلی مربوط به مخلوط ۱۰۰ درصد ناهمگن و کمترین زاویه اصطکاک داخلی به نمونه ماسه تمیز مربوط می شود. همچنین با افزایش درجه ناهمگنی از ۲۵ به ۱۰۰ درصد، بر مقدار این زاویه افزوده می شود. با توجه به شکل های (۲۰ تا ۲۲) مشخص شد که با وجود مقدار برابر شن و ماسه در تمامی مخلوط ها، مقدار زاویه اصطکاک هر نمونه با نمونه دیگر متفاوت است. این امر تأثیر چگونگی رسوب گذاری در مخلوط های شن و ماسه را نشان می دهد.

۵- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و همچنین مقایسه نتایج آزمایش های سه محوری انجام شده برای بررسی تأثیر نوع رسوب گذاری، درجات ناهمگنی، تراکم نسبی و فشار همه جانبه بر مقاومت برشی، پتانسیل تولید فشار آب حفره ای و زاویه اصطکاک داخلی، نتایج زیر به دست می آید.

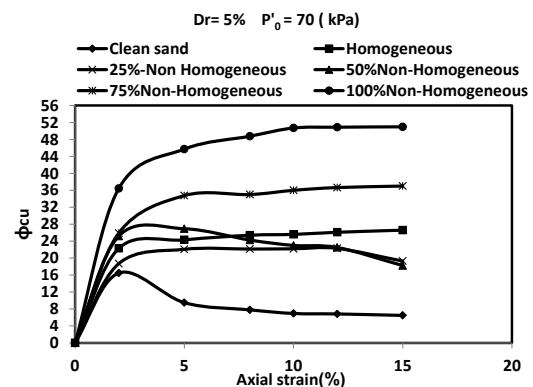
مقاومت برشی نمونه ها با افزایش درجه ناهمگنی افزایش

$$\sin \phi(cu) = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} \quad (2)$$

$$\sin \phi = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3} \quad (3)$$

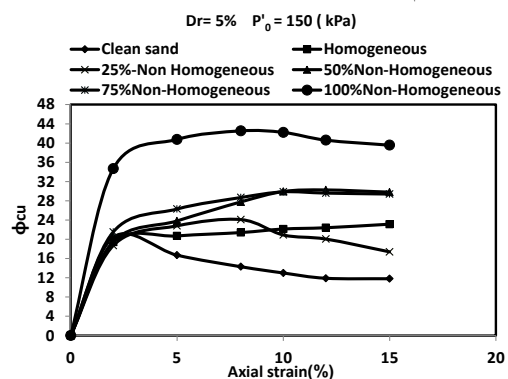
همان گونه که در شکل (۲۰) مشخص شد با افزایش درجه ناهمگنی بر زاویه اصطکاک مخلوط ها افزوده می شود. همچنین مخلوط با ۱۰۰ درصد ناهمگنی بیشترین زاویه اصطکاک داخلی را مطابق شکل دارد. نمونه ماسه تمیز کمترین زاویه اصطکاک داخلی را نسبت به سایر نمونه ها دارد. برای نمونه های ناهمگن ۲۵ و ۷۵ درصد و همچنین نمونه های همگن و ماسه تمیز پس از کرنش ۵ درصد، مقادیر زاویه اصطکاک آن ها به حالت ثابت می رسد. مطابق شکل برای مخلوط با ۵۰ درصد ناهمگنی و همچنین مخلوط ۲۵ درصد ناهمگن به ترتیب پس از کرنش ۳ و ۱۲ درصد از مقدار زاویه اصطکاک آن ها کاسته می شود.

شکل (۲۰) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده برای کلیه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه ۷۰ کیلو پاسکال



شکل (۲۰) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده برای کلیه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه ۷۰ کیلو پاسکال

شکل (۲۱) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده برای کلیه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه ۱۵۰ کیلو پاسکال



شکل (۲۱) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده برای کلیه آزمایش ها در تراکم ۵ درصد و فشار همه جانبه ۱۵۰ کیلو پاسکال

۶- تشکر و قدردانی

از همکاری و تلاش‌های شرکت مهندسين مشاور آرمون ژئوتکنیک برای در اختیار قرار دادن دستگاه سه محوری برای انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

References

۷- مراجع

- [1] Evans, M.D., and Zhou, Sh., (1995), "Liquefaction behavior of sand-gravel composites", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 121, No.3, pp. 287-298.
- [2] Kokusho, T., Hara, and T., Hiraoka, R. (2004), "Undrained shear strength of granular soils with different particle gradations". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 130, No.6, pp. 621-629.
- [3] Zeng, H. Yu., Li, B., and Ming, H. (2013), Effect of Fabric Anisotropy on Liquefaction of sand, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 139, No.5 pp. 765-774.
- [4]. مرشد، رضا، جعفریان، یاسر، قربانی، علی، مقاومت برشی زهکشی نشده و پتانسیل تولید فشار آب حفره ای در مخلوط های شن و ماسه، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه زاهدان، ۱۳۹۲
- [5] Amini, F., and Qi, G.Z., (2000). " Liquefaction testing of stratified silty sands" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 126, No.3, pp. 208-217.
- [6] ASTM 1991a. Standard test methods for minimum index density of soils and calculation of relative density (D4254-83). In 1991 Annual Book of ASTM Standards, sect. 4, vol. 04-08. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., pp. 601-607.
- [7] ASTM 1991b. Standard test methods for maximum index density of soils using a vibratory table (D4253-83). In 1991 Annual Book of ASTM Standards, sect. 4, vol. 04-08. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., pp. 589-600.
- [8] ASTM 1988. "Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis." Annual Book of ASTM Standards, Section 4, vol. 04.08, Soil and Rock; ASTM, Philadelphia.
- [9] Ishihara, K, (1996), "Soil Behavior in Earthquake Geotechnics". Clarendon press Oxford, Sixth Edition.

می‌یابد. این موضوع به دلیل افزایش اتساع مخلوط با ازدیاد درصد ناهمگنی است. از فشار آب منفذی در نمونه‌های مخلوط شن و ماسه، با افزایش درجات ناهمگنی کاسته می‌شود. بر مقاومت برشی زهکشی نشده نمونه‌ها، در یک تراکم ثابت با افزایش فشار همه جانبه، افزوده می‌شود. همچنین با افزایش تراکم در فشار همه جانبه ثابت، مقاومت برشی نمونه‌ها افزایش و پتانسیل فشار آب حفره‌ای کاهش می‌یابد. در تراکم نسبی بالاتر، حالت متراکم‌تری برای مخلوط ایجاد شده و تماس بین دانه‌ها و قفل و بست بین آن‌ها قوی‌تر می‌شود، در نتیجه بر مقاومت برشی مخلوط افزوده می‌شود. در تمامی نمودارها مشاهده شد که مقاومت برشی و پتانسیل فشار آب حفره‌ای نمونه‌های با رسوب گذاری همگن، کاملاً متفاوت و متمایز از نمونه‌های با رسوب گذاری ناهمگن است. همچنین در مورد زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها می‌توان اینگونه اظهار نظر کرد که در تراکم نسبی و فشار همه جانبه ثابت، با افزایش درجه ناهمگنی زاویه اصطکاک داخلی مخلوط‌ها افزایش می‌یابد. در تراکم نسبی و فشار همه جانبه ثابت، با افزایش درجه ناهمگنی زاویه اصطکاک داخلی مخلوط‌ها افزایش می‌یابد. در فشار همه جانبه ثابت، با افزایش تراکم نسبی، به علت قفل و بست بیشتر مصالح، بر مقادیر زاویه اصطکاک داخلی مخلوط‌ها افزوده می‌شود. نمونه ماسه تمیز کمترین زاویه اصطکاک داخلی را نسبت به سایر نمونه‌ها در تراکم ۵ درصد دارد. تمامی نمونه‌ها پس از یک کرنش خاصی به حالت پایدار می‌رسند و در برخی از موارد در پایان آزمایش ظاهراً حالت پایدار ایجاد نمی‌شود. همچنین مطابق شکل‌های (۲۰ تا ۲۲)، بیشترین زاویه اصطکاک داخلی مربوط به مخلوط ۱۰۰ درصد ناهمگن و کمترین زاویه اصطکاک داخلی به نمونه ماسه تمیز مربوط است. با افزایش درجه ناهمگنی از ۲۵ به ۱۰۰ درصد، بر مقدار این زاویه افزوده می‌شود. همچنین در تمامی آزمایش‌های انجام شده، در یک فشار همه جانبه و تراکم نسبی ثابت، با وجود مقدار برابر شن و ماسه در تمامی مخلوط‌ها، مقدار زاویه اصطکاک داخلی مخلوط‌های با رسوب‌گذاری همگن از مخلوط‌های با رسوب‌گذاری ناهمگن با درجات ناهمگنی متفاوت، متمایز است.

Evaluation of Non-Homogeneous Stratification Pattern on Undrained Shear Strength of Sand-Gravel Mixtures

Y. Jafarian^{1*}, Gh. Zaroki²

1- Assist. Prof., International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

2- M.Sc., Geotechnical Engineering, Arian Institute of Higher Education, Science, and Technology.

yjafarianm@iiees.ac.ir

Abstract:

The Caspian Sea is regularly visited by many tourists and the surrounding lands are densely populated. Accordingly, many tall buildings and heavy structures are being constructed along this coastal area. The region is overlaid by poorly graded clean sand which seems to be susceptible to liquefaction. However, there is no documentation and field observation to ensure the liquefaction occurrence in the uniform round-shape deposits of the region, during an actual earthquake. Hence, lots of researches are expected to be carried out to recognize the cyclic behavior of these coastal deposits before the probable earthquake scenario and the consequent disaster happen. The undrained shear strength of granular soils is one of the most important parameters to evaluate flow liquefaction, which is probable to happen beneath the shallow foundations, bearing considerable levels of static shear stress. The mechanism of flow liquefaction is commonly studied using triaxial apparatus to obtain a better understanding of the parameters controlling the phenomenon. Soils experiencing the flow type of liquefaction commonly undergo large deformations, because the driving stresses tolerated by the soil exceed the shear strength reduced by the generation of excess pore pressure, in earthquake condition. There exist numerous studies for the evaluation of undrained behavior of mixed soils comprising of gravels, sands, silts, and clays. The majority of the previous studies have focused on the homogeneous mixtures of soils while natural soils are generally found in the nature with levels of non-homogeneity. In this study, the mechanical behavior of homogeneous and heterogeneous mixtures of Babolsar sand and gravel are compared, under different conditions such as initial effective stress, relative density, and heterogeneity. Several triaxial experiments were conducted on undrained shear strength and pore pressure development of sand-gravel mixtures, to evaluate the effects of stratified sedimentation and the increase in heterogeneity, in various relative densities and confining pressures. A simple formula has been defined to specify the level of heterogeneity of the sample, which varies from zero to one percent. The results demonstrated that the shear strength, potential pore water pressure, and internal friction angle of the homogeneous samples are quite different from those of the heterogeneous samples. The undrained shear strength of sand-gravel mixtures increases with increasing the degree of heterogeneity, even in the same gravel contents. The excess pore water pressure in sand-gravel mixed samples with higher degrees of heterogeneity reduces and tends towards dilative behavior, compared to the more homogeneous samples. The undrained shear strength of the samples is proportional to initial relative density and effective confining pressure, as expected and observed in other granular materials. It is found out from the results of the tests that the type of mixed sedimentation has a significant impact on the soil friction angle. In fact, an increase in heterogeneity level leads to an increase in the internal friction angle of the mixed soils, while the gravel content is kept constant.

Keywords: Undrained shear strength, Sand – gravel mixture, Static triaxial tests, Flow liquefaction