

اثر ریزدانه‌های چسبنده بر پاسخ تغییر حجم ماسه‌های اشباع پس از بارگذاری سیکلی

سید مجدالدین میرمحمد حسینیⁱ*؛ مهدی درخشندیⁱⁱ

چکیده

پیش بینی کرنش حجمی و نشست ماسه‌های اشباع پس از اعمال بارهای لرزه‌ای نظیر زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه اثر ریزدانه‌های چسبنده بر پاسخ تغییر حجم ماسه‌های اشباع پس از بارگذاری سیکلی مورد بررسی قرار گرفته است. همه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سه‌محوری سیکلی و روش کنترل کرنش بارگذاری شده‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد، افزایش فشار منفذی حتی در مقادیر کوچکتر از مقدار متناظر با روانگرایی، باعث تغییر حجم قابل توجه نمونه پس از بارگذاری سیکلی می‌شود. در مخلوط‌های ماسه-کائولینیت برای نسبت فشار آب منفذی کمتر از ۶۰٪، تراکم پذیری حجمی نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ کائولینیت شبیه به مقدار تراکم پذیری حجمی ماسه تمیز می‌باشد. در فشارهای منفذی نزدیک به روانگرایی کامل، نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ کائولینیت، کرنش حجمی نزدیک به ۲ تا ۲/۵ درصد از خود نشان می‌دهند که مقدار آن کمی بیشتر از ماسه تمیز می‌باشد. در نسبت‌های فشار منفذی پائین نمونه‌های حاوی ۳۰٪ کائولینیت تغییر حجمی بیش از بقیه نمونه‌ها تجربه می‌کنند، بطوریکه مقدار تراکم پذیری حجمی ثبت شده نزدیک به ۴ مرتبه بزرگتر از بقیه نمونه‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی

کرنش حجمی، نشست، فشار منفذی، تراکم پذیری حجمی، سه محوری سیکلی، ماسه‌های اشباع، ریزدانه‌های چسبنده

The Effect of Plastic Fines on Reconsolidation Volumetric Response of Saturated Sands

S.M. Mir Mohammad Hosseini , Mehdi Derakhshandi

ABSTRACT

Settlement in the saturated sands after seismic loading is one of the important phenomenons, because of induced damages after the earthquake loading. In this study, the effects of plastic fines on volumetric response were evaluated after cyclic loading in saturated sands. All of the tests were performed by cyclic triaxial tests and strain-controlled method. The results show increasing in excess pore pressure affects on volumetric response after cyclic loading even at the excess pore pressure less than its value to liquefaction. In the sand-kaolinite mixtures for excess pore pressure ratio (ru) less than 60%, the volumetric compressibility of the specimens contain 10% and 20% kaolinite is near to it's of clean sands but their excess pore pressure value around the liquefaction are a little more than clean sands (~2% to 2.5%). At the lower excess pore pressure, the specimens contains 30% kaolinite show the volumetric strain 4 times greater then other specimens.

KEYWORDS

Volumetric strain, Settlement, Pore pressure, Volumetric compressibility, Cyclic triaxial tests, Saturated sands, Plastic fines.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۶/۲۰

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۷/۱۰/۱۱

ⁱ* نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر: Email: mirh53@yahoo.com

ⁱⁱ استادیار دانشکده مهندسی(عمران) دانشگاه اراک : Email: m-derakhshandi@araku.ac.ir

۱- مقدمه

اعمال بارهای سیکی نظیر بارهای لرزه‌ای باعث ایجاد فشار منفذی اضافه در ماسه‌ها می‌گردد. اگر بزرگی و تعداد سیکل بار اعمالی بقدر کافی بزرگ باشد، فشار منفذی اضافه ایجاد شده با تنش مؤثر همه جانبه بین ذرات خاک مساوی شده و با از بین رفتن اندرکنش بین دانه‌های ماسه، مقاومت برشی خاک از دست رفته و خاک روانگرا می‌شود. با توجه به خصوصیات خاک از جمله دانه‌بندی، تراکم، لایه‌بندی و ساختار توده خاک، ممکن است خاک بطورکامل به حالت روانگرا درآمده و همراه با جوشش ماسه روان گردد یا اینکه باعث ایجاد نشست در توده خاک گردد که در هر دو صورت، کاهش سختی و مقاومت خاک باعث ایجاد خسارتهای کلی یا جزئی به سازه‌ها می‌گردد. نشست ایجاد شده در توده خاک در اثر افزایش فشار منفذی حتی اگر دامنه و مدت زمان اعمال بار سیکی به اندازه‌ای نباشد که باعث ایجاد روانگرایی کامل گردد ($r_u < 10\%$) قابل توجه خواهد بود.

نشست زمین ناشی از کرنش حجمی در اثر استهلاک فشار منفذی حاصل از زلزله بوجود می‌آید. این پدیده برای یک المان خاک در شکل (۱) نشان داده شده است [۱]. در ابتدا المان خاک در نقطه A در تعادل زهکشی است (فشار منفذی اضافه صفر). لرزشهای ناشی از زلزله باعث ایجاد فشار آب منفذی اضافه در شرایط زهکشی می‌شود، لذا تنش مؤثر به میزان نشان داده شده در نقطه B کاهش می‌یابد. این فشار منفذی اضافه باعث ایجاد گرادیان هیدرولیکی می‌شود که آب حفره‌ای را به خارج از حفره‌ها می‌راند. جریان آب گرادیان هیدرولیکی را تا زمانیکه فشار منفذی اضافه بطورکامل از بین برود، کاهش می‌دهد (نقطه C). با خروج آب از حفرات خاک، حجم المان کاهش یافته که مقدار این تغییر حجم با میزان افزایش فشار منفذی ناشی از زلزله افزایش می‌یابد. حتی فشارهای منفذی اضافه کوچک که برای ایجاد روانگرایی جریانی یا تحرک سیکی کافی نباشد می‌تواند باعث نشست در نهشته‌های ماسه‌های اشباع پس از زلزله گردد. جرم حجمی ماسه، کرنش برشی ماکزیمم و مقدار فشار منفذی اضافه ایجاد شده ناشی از زلزله از جمله پارامترهای مؤثر در میزان تراکم پس از زلزله بشمار می‌روند.

Lee and Albaisa (۱۹۷۴)، [۲] به منظور شبیه‌سازی نشست‌های ایجاد شده در اثر افزایش فشار منفذی در محل تعدادی آزمایش سه محوری سیکی بر روی چند نوع ماسه انجام داده و کرنش حجمی در سطوح مختلف فشار منفذی ایجاد شده را اندازه گیری نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد

در صورتیکه روانگرایی اتفاق نیفتد و r_u کوچکتر از ۶۰٪ باشد، کرنش حجمی ایجاد شده کمتر از ۰/۳ درصد می‌باشد در حالیکه اگر روانگرایی کامل اتفاق بیفتد کرنش حجمی ممکن است به ۲ تا ۳ درصد و یا حتی بیشتر در خاکهای سست افزایش یابد. همچنین در فشارهای منفذی یکسان، نمودارهای با دانسیته نسبی اولیه پایین‌تر، کرنش حجمی بیشتری نسبت به نمونه‌های با دانسیته نسبی اولیه بالاتر از خود نشان می‌دهند. این تفاوت در $r_u > 0/6$ قابل توجه می‌باشد (شکل ۲).

(Yoshimi et al. [۳]، ۱۹۷۵) و (Tatsuoka et al. [۴]، ۱۹۸۴) و (Nagase and Ishihara [۵]، ۱۹۸۸) بارگذاری سیکی را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعات نشان داد، کرنش حجمی ایجاد شده پس از بارگذاری سیکی به جرم حجمی نسبی و کرنش برشی سیکی اعمالی وابسته می‌باشد. در این راستا محققین مختلفی از جمله Tokimatsu and Seed (۱۹۸۷) [۶] و Ishihara and Yoshimine (۱۹۹۲) [۷] روش‌های ساده شده‌ای را برای پیش بینی مقدار کرنش حجمی ایجاد شده پس از اعمال بار سیکی در ماسه‌های اشباع پیشنهاد نمودند. Tokimatsu and Seed (۱۹۸۷) [۶] پیش بینی مقدار نشستهای ایجاد شده پس از اعمال بار سیکی در نهشته‌های ماسه‌ای اشباع را بر اساس روابط میان کرنش حجمی، عدد SPT و تنش برشی مورد نیاز برای روانگرایی کامل بیان نمودند.

Ishihara and Yoshimine (۱۹۹۲) [۷] یک خانواده از روابط بین کرنش حجمی حاصل از فشار منفذی اضافه و ضریب اطمینان در برابر روانگرایی ارائه دادند که از حداکثر کرنش برشی بعنوان پارامتر مؤثر بر کرنش حجمی استفاده شده است. روابط مورد استفاده در این روش‌های ساده شده تخمینی بوده و دقت عملکرد آنها بطوردقیق مشخص نیست و بستگی به شرایط مرزی آزمایش و نوع ماسه دارد.

Ishihara and Yoshimine (۱۹۹۲) [۷] همچنین نشان دادند هنگامی که ضریب اطمینان در برابر روانگرایی بزرگتر از ۱ می‌باشد، کرنش حجمی ایجاد شده نزدیک به ۰/۵ درصد می‌باشد. در حالیکه برای ضرایب اطمینان کوچکتر از ۱ در ماسه‌های سست، مقدار کرنش حجمی ایجاد شده ممکن است به مقادیری نزدیک به ۵ درصد افزایش یابد.

Nagase and Ishihara (۱۹۸۸) [۵] با انجام آزمایش‌های برش ساده سیکی یک جهته و چند جهته (Multiple & Uni Directional Simple Shear Test) بر روی ماسه رودخانه فوجی (Fuji River Sand) مقدار کرنش حجمی ایجاد شده پس از بارگذاری سیکی را بر روی این ماسه در ۳ دانسیته نسبی

۴۷٪، ۷۳٪ و ۹۳٪ به ترتیب برابر ۴٪، ۵٪/۲ و ۱/۲٪ اندازه‌گیری نمودند (شکل ۳- الف). همچنین شکل (۳- ب) تغییرات کرنش حجمی را در برابر نسبت فشار منفذی اضافه نشان می‌دهد. مطابق شکل (۳- ب) کرنش حجمی ایجاد شده در آستانه روانگرایی برای نسبت‌های دانسیته نسبی ۴۷٪، ۷۳٪ و ۹۳٪ به ترتیب نزدیک به ۱/۲٪، ۰/۸٪ و ۰/۵٪ می‌باشد.

خاکهای ماسه‌ای موجود در طبیعت بطور عمده ماسه تمیز بوده و با مقداری ریزدانه همراه می‌باشد. از آنجاکه جنبه‌های مختلف رفتاری خاکهای ماسه‌ای لای دار تا حدی مورد بررسی قرار گرفته است، لذا این پژوهش به بررسی اثر ریزدانه‌های چسبنده بر پاسخ تغییر حجم ماسه‌های اشباع پس از بارگذاری سیکی پرداخته است. همچنین بدلیل اینکه بیشتر ریزدانه‌های چسبنده موجود در ماسه‌های طبیعی دارای میزان خمیری متوسط می‌باشند، لذا رس کائولینیت ($PI=15/5$) برای این تحقیق انتخاب گردیده است. با این حال این پژوهش را می‌توان در مورد ریزدانه‌های با چسبندگی بالا نیز انجام داد.

۲- تجویزات و مصالح مورد استفاده و روش انجام آزمایش‌ها

دستگاه مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها از نوع سه محوری سیکی (GCTS) می‌باشد که قادر به اعمال انواع مختلفی از مسیره‌های تنش و کرنش می‌باشد. این دستگاه به منظور بارگذاری نمونه از سیستم اتوماتیک کنترل حلقه بسته الکتریکی- هیدرولیکی استفاده می‌کند. اعمال بار در این دستگاه می‌تواند از مقادیر فرکانس‌های بسیار پایین ۰/۰۰۵ هرتز تا حد بالای ۲۰ هرتز اعمال شود. در این تحقیق در کلیه بارگذاری‌ها از فرکانس ۰/۱ هرتز استفاده شده است. آزمایش‌های انجام شده همگی از نوع سیکی کنترل کرنش می‌باشد که تغییر شکل کنترل شده از طریق یک حسگر مینیاتوری تغییر شکل (Miniature LVDT)، با محدوده اندازه‌گیری ± 1 mm و حساسیتی برابر با ۰/۰۰۰۵ mm بصورت سیکی به نمونه اعمال می‌شود. که توسط آن می‌توان کرنش‌های بسیار پائینی را در آزمایش‌های سیکی کنترل کرنش به نمونه اعمال نمود.

برای انجام آزمایش‌های سه محوری سیکی کنترل تنش از ترکیبات مختلف ماسه ۳۰ / ۰ / Monterey # و کائولینیت استفاده شده است. منحنی توزیع دانه‌بندی این مصالح در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین بمنظور بررسی اثر ریزدانه‌ها بر پاسخ تغییر حجم ماسه‌ها پس از اعمال بار سیکی از مخلوط ماسه ۳۰ / ۰ / Monterey # و کائولینیت در درصد‌های ریزدانه ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ استفاده شده است.

اگرچه استانداردهای ASTM D ۴۲۵۳ [۸] و ۴۲۵۴ ASTM D [۹] حداقل و حداکثر نسبت تخلخل (e_{max}, e_{min}) نمونه‌های ماسه‌ای حاوی ریزدانه را، به حداکثر ۱۵ درصد ریزدانه غیر چسبنده محدود می‌کند، لیکن بدلیل فقدان استاندارد جایگزین دیگر، به منظور اندازه‌گیری مقادیر حداکثر نسبت تخلخل (e_{max}) از روش C استاندارد ASTM D ۴۲۵۴ و برای تعیین حداقل نسبت تخلخل (e_{min}) از روش آزمایش تراکم پراکنده اصلاح شده بر اساس استاندارد ASTM D ۴۲۵۴ [۱۰] استفاده شده است. شکل (۵) تغییرات نسبت‌های تخلخل مخلوط‌های ماسه - کائولینیت را نشان می‌دهد.

دیگر آزمایش‌های اندیسی شامل آزمون‌های توده ویژه جامد (ASTM D ۸۵۴) [۱۱]، حدود اتربرگ (ASTM D ۴۳۱۸-۰۵) [۱۲] می‌باشد که بر روی مصالح ماسه‌ای حاوی کائولینیت انجام شده است. خصوصیات خمیری و اندیسی مخلوط‌های ماسه ۳۰ / ۰ / Monterey # و کائولینیت مورد استفاده جدول (۱) نشان داده شده است. در این مطالعه از روش تراکم کاهش یافته با درصد تراکم کاهش یافته اولیه $Un1=6\%$ برای ساخت نمونه‌های بازسازی شده استفاده شده است. مزیت عمده روش تراکم کاهش یافته، ایجاد نمونه‌های کاملاً یکنواخت می‌باشد که در محدوده وسیعی از دانسیته شکل می‌گیرد. در حقیقت هنگامیکه خاک در چندین لایه متراکم می‌شود، تراکم هر لایه از لایه‌های بعدی، باعث افزایش تراکم خاک موجود در زیر آن لایه می‌گردد. تراکم لایه دوم باعث تراکم بیشتر لایه اول و تراکم لایه سوم باعث افزایش تراکم لایه دوم و اول می‌شود و به همین ترتیب با افزایش این لایه‌ها این روند ادامه پیدا می‌کند. با استفاده از روش تراکم کاهش یافته این عدم یکنواختی تراکم مرتفع می‌گردد. در این روش هر لایه تا دانسیته‌ای کمتر از آنچه که در نهایت مورد نظر است کوبیده می‌شود. آزمایش‌های سه محوری سیکی با روش کنترل کرنش بر روی نمونه‌های حاوی مخلوط‌های ماسه ۳۰ / ۰ / Monterey # و کائولینیت انجام شده است. نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد ۲/۵ in (۶/۳۵ cm) قطر و ۵ in (۱۲/۷ cm) ارتفاع در ۷ لایه ساخته شده‌اند.

۳- اثر ریزدانه کائولینیت بر پاسخ تغییرات حجم

ماسه‌های اشباع

پیش‌بینی نشست در طرح‌های مهندسی و در نتیجه تغییر حجم ایجاد شده پس از اعمال بارهای سیکی بویژه در شرایط روانگرایی کامل ($I_{II} = 100\%$)، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. حتی اگر حرکات زلزله برای رسیدن به روانگرایی کامل کافی نباشد، فشار منفذی اضافه هنوز در خاک افزایش یافته و

$$M_v = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \sigma'} = \frac{\varepsilon_v}{r_u(\sigma'_c)} \cong 4 \times 10^{-5} (1/kpa) \quad (1)$$

که در آن $\sigma' = 100$ کیلوپاسکال و $\varepsilon_v (\%) \approx 0.4(r_u)$ می‌باشد.

یک استثناء در مورد نمونه‌های حاوی ۳۰ درصد کائولینیت در ۱۵٪ r_u می‌باشد. این نمونه‌ها کرنش حجمی برابر ۰/۲۵ درصد (شکل ۶) و $M_v = 1/84 \times 10^{-3}$ (یک تقسیم بر کیلوپاسکال) را تجربه می‌کنند (شکل ۸). شکل‌های (۶) و (۷) نشان می‌دهد که در نمونه‌های حاوی ۳۰٪ کائولینیت نمونه‌ها روند غیر معمولی از کرنش حجمی را از خود نشان می‌دهند. به این ترتیب که در سطوح کرنش برشی کوچک (۰/۰۲٪ $\gamma <$) نمونه کرنش‌های حجمی نزدیک به ۰/۲۵ درصد و مقادیر کوچک $r_{u, \max}$ (< ۱۰٪) از خود نشان می‌دهد. در مقدار فشار منفذی r_u ۶۰٪، کرنش حجمی برای $FC = 30$ مشابه مقادیری است که برای درصد‌های دیگر ریزدانه بدست آمده است.

بانزدیک شدن نمونه‌ها به روانگرایی، M_v به مقداری بیش از ۵ برابر افزایش می‌یابد (شکل ۸). در اینجا داده‌های مربوط به مقادیر کائولینیت ۱۰ و ۲۰ درصد تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به ماسه تمیز از خود نشان نمی‌دهند. با توجه به اینکه هیچکدام از نمونه‌های حاوی ۳۰٪ کائولینیت، به فشار منفذی بزرگتر از ۶۰٪ نرسیده‌اند، لذا هیچ داده‌ای از کرنش حجمی و M_v این نمونه‌ها در نسبت‌های فشار منفذی بزرگتر در دسترس نمی‌باشد.

۴- بحث و تفسیر نتایج

بمنظور ارزیابی اثر ریزدانه بر تراکم پذیری حجمی، تغییر حجم هر نمونه پس از بارگذاری سیکی اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای نسبت فشارهای منفذی اضافه کمتر از ۶۰٪، تراکم پذیری حجمی نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ کائولینیت شبیه به مقدار تراکم پذیری حجمی ماسه تمیز می‌باشد. بانزدیک شدن به روانگرایی کامل، نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ کائولینیت، کرنش حجمی کمی بیشتر از ماسه تمیز از خود نشان می‌دهند اما مقدار آن هنوز در محدوده ۲ تا ۲/۵ درصد می‌باشد. بعنوان یک فرضیه می‌توان دلیل این پدیده را به افزایش کرنش حجمی در مقادیر کائولینیت ۱۰٪ و ۲۰٪ و فشارهای منفذی نزدیک به روانگرایی، به دلیل نقش لغزشی پولک‌های ریزدانه چسبیده در حد فاصل ذرات ماسه در نمونه‌های مورد آزمایش مربوط دانست، بطوریکه وجود صفحات کائولینیت باعث افزایش لغزندگی بین دانه‌های ماسه شده که این خود باعث تغییر شکل

استهلاک این فشار منفذی موجب کاهش نسبت تخلخل و نشست در سطح زمین می‌شود.

در این تحقیق برای هر سطح از کرنش برشی، پس از اعمال ۵۰ سیکل کرنش سیکی شیر زهکشی نمونه باز شده و مقدار آب خروجی با استفاده از بورت دقیقی (با دقت 0.25 Cm^3) اندازه‌گیری و تغییرات حجم نمونه بدست آمده است. با استفاده از حجم آب زهکشی شده، کرنش حجمی ناشی از فشار منفذی اضافه مربوط به کرنش سیکی اعمالی تعیین و مورد بررسی قرار گرفت.

شکل (۶) کرنش حجمی اندازه‌گیری شده پس از ۵۰ سیکل بارگذاری را به عنوان تابعی از کرنش برشی اعمالی نشان می‌دهد. در کرنش‌های برشی کوچکتر از ۰/۳ درصد همه خاکها، کرنش حجمی کوچکتری را نشان می‌دهند (کمتر از ۰/۲٪). در کرنش‌های بزرگ نمونه‌های با مقدار کائولینیت ۱۰ و ۲۰ درصد بزرگترین کرنش‌های حجمی را تجربه می‌کنند در حالیکه کرنش حجمی ایجاد شده در نمونه‌های حاوی ۳۰ درصد کائولینیت حداقل می‌باشد. در شرایط زهکشی نشده کرنش حجمی در پاسخ به افزایش فشار آب منفذی اتفاق می‌افتد. تغییرات کرنش حجمی در برابر حداکثر فشار منفذی ایجاد شده در شکل (۷) نشان داده شده است. در اینجا نتایج مربوط به نمونه‌های با درصد‌های مختلف ریزدانه مشابه می‌باشد، بطوریکه همه کرنش‌های حجمی متناظر با $r_{u, \max}$ کمتر از ۶۰٪، کوچکتر از ۰/۵ درصد می‌باشد. این مقادیر قابل مقایسه با نتایج بدست آمده توسط Lee and Albaisa (۱۹۷۴) [۲] بر روی ماسه Monterey می‌باشد. در فشارهای منفذی نزدیک به روانگرایی کامل، کرنش‌های حجمی بصورت قابل توجهی به مقادیری بیش از ۲ درصد افزایش می‌یابد. در شکل (۷) در نسبت‌های فشار منفذی بزرگتر از ۹۰ درصد، کرنش‌های حجمی بوجود آمده در نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد کائولینیت تا حدی بزرگتر از نمونه‌های ماسه تمیز می‌باشد.

شکل (۸) تغییرات ضریب تراکم پذیری حجمی ($M_v = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \sigma'}$)

را به عنوان تابعی از نسبت فشار منفذی حداکثر $r_{u, \max}$ نشان می‌دهد. همچنین مقادیر مختلف ضریب تراکم پذیری حجمی (M_v) با توجه به کرنش‌های حجمی و فشار منفذی اضافه ($\Delta \sigma' = r_u \sigma'_c$) محاسبه گردید. در نسبت‌های فشار منفذی (r_u) کمتر از ۶۰٪ همه نمونه‌ها مقادیر مشابهی از M_v را از خود نشان می‌دهند. که این نتایج با مقادیر بدست آمده توسط Lee and Albaisa (۱۹۷۴) [۲] (رابطه ۱) برابری دارد.

۵- نتیجه گیری

- در خاکهای ماسه‌ای حاوی مقادیر رس کم تا حدود ۲۰ درصد، وجود صفحات پولکی کائولینیت باعث افزایش لغزندگی بین دانه‌های ماسه شده که این خود باعث تغییر شکل بیشتر ساختار ماسه و افزایش بیشتر فشار منفذی و کرنش حجمی می‌گردد.

- در فشارهای منفذی بالا، نزدیک به روانگرایی کامل، نمونه‌های حاوی ۱۰٪ و ۲۰٪ کائولینیت، کرنش حجمی بیشتر از ماسه تمیز از خود نشان می‌دهند

- در صورتیکه مقدار کائولینیت از مقداری حدی، بیشتر شود بطوریکه ماتریس کائولینیت بر ماتریس ماسه غلبه کند و نمونه تغییر شکل حجمی بیشتری از خود نشان می‌دهد. $(e_{s,c} > e_{max, clean})$ تماس دانه‌های ماسه با یکدیگر از بین رفته

۶- تقدیر و تشکر

از گروه ژئوتکنیک دانشگاه تگزاس (آستین) به خاطر فراهم ساختن تسهیلات آزمایشگاهی قدردانی و سپاسگذاری می‌شود. همچنین از راهنمایی‌های ارزنده خانم دکتر الن راجه صمیمانه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

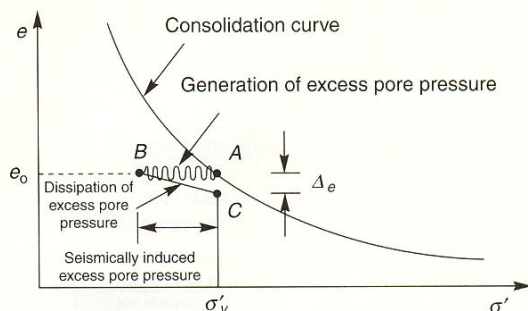
بیشتر ساختار ماسه و افزایش بیشتر فشار منفذی و در نتیجه کرنش حجمی می‌گردد. در نسبت‌های فشار منفذی پائین نمونه‌های حاوی ۳۰٪ کائولینیت تغییر حجمی بیش از بقیه نمونه‌ها تجربه می‌کنند بطوریکه مقدار تراکم پذیری حجمی ثبت شده حدود ۴ مرتبه بزرگتر از بقیه نمونه‌ها می‌باشد. همچنین به دلیل آنکه در نمونه‌های حاوی ۳۰٪ کائولینیت فشار منفذی تا بیش از ۶۰٪ افزایش نمی‌یابد. لذا تغییر حجمی برای این نمونه‌ها در نزدیکی روانگرایی کامل بدست نمی‌آید. دلیل افزایش کرنش حجمی نمونه‌های ماسه‌ای حاوی ۳۰ درصد کائولینیت در نسبت فشارهای همه جانبه کوچکتر از ۶۰ درصد، نسبت به نمونه‌های ماسه‌ای حاوی ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد کائولینیت، خاصیت جذب آب کائولینیت در درصد‌های رس بالاتر می‌باشد، بطوریکه در مقدار کائولینیت ۳۰٪ بدلیل غلبه ماتریس کائولینیت بر ماتریس ماسه $(e_{s,c} > e_{max, clean})$ در نمونه، تماس دانه‌های ماسه با یکدیگر از بین رفته و تغییر شکل حجمی بیشتری در نمونه بوجود می‌آید و بنابراین در نمونه‌های حاوی ۳۰٪ کائولینیت مقدار کرنش حجمی ایجاد شده بمیزان قابل توجهی نسبت به نمونه‌های ماسه‌ای حاوی ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد کائولینیت افزایش می‌یابد.

۷- مراجع

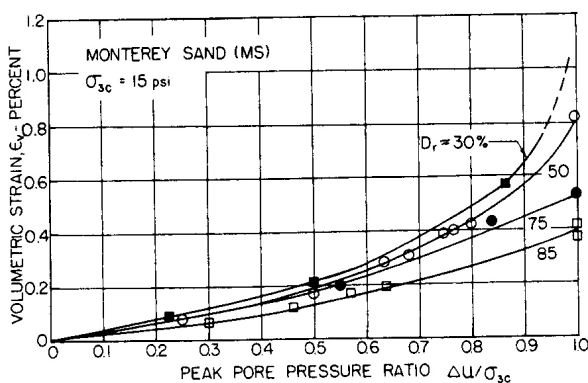
- Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992), "Evaluation of Settlements in Sand Diposite Following Liquefaction During Earthquake", Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188. [۷]
- ASTM D 4253 (2000), "Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table". [۸]
- ASTM D 4254 (2000), "Standard test methods for minimum index density and unit weight of and calculation of relative density". [۹]
- ASTM D 1557 (2000), "Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort", (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). [۱۰]
- ASTM D 854 (2000), "Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer," 0pp. 1-7. [۱۱]
- ASTM D 4318-05 (2000), "Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils" [۱۲]
- Kramer, S. L. (1996), " Geotechnical Earthquake Engineering", Printice-Hall, Inc., 402 pp. [۱]
- Lee, K. L., and Albaisa, A. (1974), "Earthquake Induced Settlements in Saturated Sands," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 100, No. GT4, pp. 387-406. [۲]
- Yoshimi, Y., Kuwabara. F. and Tokimatsu, K. (1975). "One dimensional Volume change characteristics of Sands Under Very Low Confining Stresses," Soils and Foundations, Vol. 15, No. 3, pp. 51-60. [۳]
- Tatsuoka, F., Sasaki, T. and Yamada, S. (1984). "Settlement in saturated sand induced by cyclic undrained simple shear ," "Proceedings, 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California , Vol. 3, pp. 398-405. [۴]
- Nagase, H. and Ishihara, K. (1988). "Liquefaction-induced compaction And settlement of sand during earthquakes," Soils and Foundations, Vol. 28, No. 1, pp. 66-76. [۵]
- Tokimatsu, K. and Seed, H.B. (1987)," Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking, " Proc. ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering Devison, Vol. 113, no. GT8, pp. 861-878. [۶]

جدول (۱): خصوصیات اندازه‌گیری شده مخلوط‌های ماسه Monterey #0/30 و کائولینت

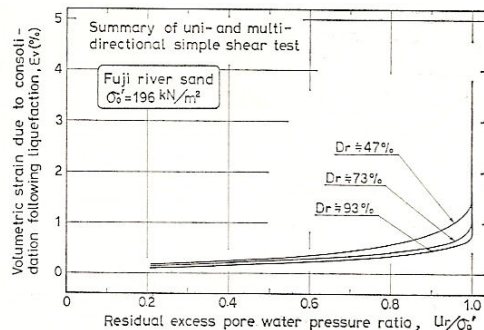
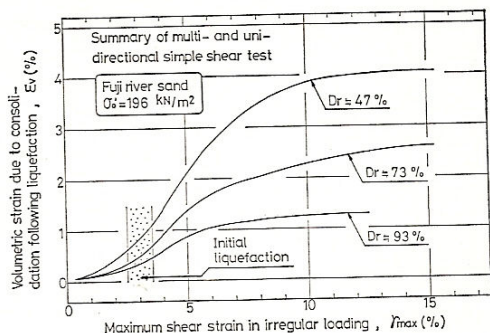
درصد ریزدانه (% وزنی)					خصوصیت اندازه‌گیری شده
۱۰۰	۳۰	۲۰	۱۰	۰	
۲/۵۸	۲/۶۲۲	۲/۶۲۸	۲/۶۳۳	۲/۶۴	G_s
۴۱/۷	۱۵/۳	۱۱/۵	۸/۸	-	LL
۲۶/۲	۱۰/۳	۹/۶	-	-	PL
۱۵/۵	۵	۱/۹	N.P	-	PI
CL/CM	SC	SC	SP-SC	SP	USGS طبقه‌بندی خاک در استاندارد



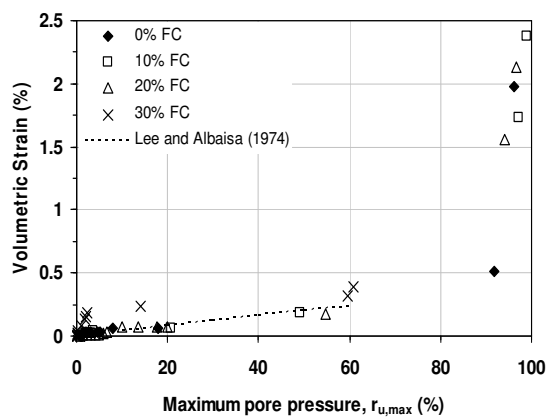
شکل (۱): مراحل ایجاد نشست حاصل از استهلاک فشار منفذی اضافه ناشی از زلزله (Kramer, 1996) [۱]



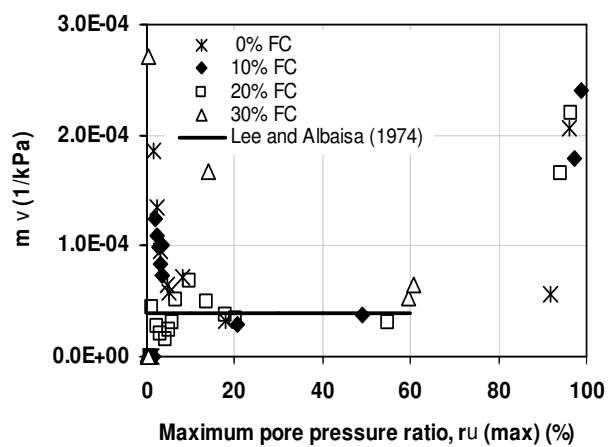
شکل (۲): اثر دانسیته نسبی اولیه بر کرنش حجمی تحکیمی پس از بارگذاری سیکلی (Lee and Albaisa, 1974) [۲]



شکل (۳) الف) کرنش حجمی (E_v) در برابر حداکثر کرنش برشی بارگذاری نامنظم (γ_{max}) در دانسیته‌های نسبی مختلف ب) تغییرات کرنش حجمی در برابر نسبت اضافه فشار منفذی در دانسیته‌های نسبی (Nagase and Ishihara, 1988) [۳]



شکل (۷): کرنش حجمی پس از ۵۰ سیکل بارگذاری در برابر حداکثر نسبت فشار منفذی برای نمونه‌های ماسه‌ای حاوی ریزدانه‌های چسبنده



شکل (۸): ضریب فشردگی پذیری حجمی در برابر حداکثر نسبت فشار منفذی اضافه برای نمونه‌های ماسه‌ای حاوی ریزدانه‌های چسبنده پس از ۵۰ سیکل بارگذاری