بررسی تاثیر مقدار رطوبت و درصد تراکم اولیه بر مقاومت‌فشاری و مدول الاستیسیته دو نوع خاک رسی و رس ماسه‌ای

جواد احدیان [1*]، امین سالم‌نیا [2] و محمود کریمی [3]

۱*) استادیار دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز، مسئول مکاتبات: ja_ahadiyan@yahoo.com
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز
۳) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۱۰

چکیده

از جمله پارامترهایی که نشان دهنده رفتار خاک در برابر تنش‌های وارده است، مقاومت فشاری و مدول الاستیسته خاک می‌باشد. با افزایش مقاومت-فشاری ظرفیت باربری خاک افزایش می‌یابد. مدول الاستیسیته یک خاک نمایانگر میزان پتانسیل تغییر شکل خاک می‌باشد. در این پژوهش چگونگی تثبیت خاک‌های رسی مسئله‌دار به کمک ماسه مورد مطالعه انجام گرفته است. بدین منظور نمونه‌های خاک رسی و رسی- ماسه‌ای در رطوبت و تراکم‌های مختلف ساخته شده و مورد آزمایش تک‌محوری قرار گرفتند. رطوبت‌ها شامل رطوبت بهینه، دو درصد کمتر، چهار درصد کمتر، دو درصد بیشتر و چهار درصد بیشتر می‌باشند. از طرفی این نمونه‌ها در تراکم‌های ۸۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصد ساخته شدند. با انجام آزمایش تک‌محوری، مقاومت‌فشاری و مدول الاستیسیته برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شد. پس از بررسی و تحلیل نتایج آزمایش‌ها مشخص گردید که با افزایش رطوبت مقاومت‌فشاری در تمامی نمونه‌های رسی و رس- ماسه کاهش می‌یابد. اما باید به این نکته توجه نمود که شدت کاهش مقاومت‌فشاری در نمونه‌های رس- ماسه بیشتر از نمونه‌های رسی است؛ به گونه‌ای که، با تغییر رطوبت از چهار درصد کمتر از رطوبت بهینه به چهار درصد بیشتر از رطوبت بهینه در نمونه‌های رس مقدار مقاومت فشاری به طور متوسط ۸۴ درصد و در نمونه‌های رس- ماسه‌ای ۹۳ درصد در تمامی تراکم‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی بر اساس نتایج به دست آمده معلوم گردید که مقدار مدول الاستیسیته در تراکم ۱۰۰ درصد و در رطوبت ۱۳ درصد با افزایش ماسه حدود ۵۱ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد که کاهش مدول الاستیسیته با افزایش ماسه در تمامی تراکم‌ها روند مشابهی را به همراه دارد.

واژه‌های کلیدی: تراکم؛ رطوبت؛ کرنش؛ ماسه؛ مدول الاستیسیته؛ مقاومت‌فشاری

مقدمه

به طور کلی در خاک‌هایی که حاوی مقدار زیادی رس هستند با تغییر مقدار رطوبت، به صورت محسوس و مشخص خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک تغییر می‌نماید. در زیر سازی کانال‌های آبیاری و زهکشی، ایستگاه‌های پمپاژ و سازه‌های آبی با این نوع خاک‌ها، ایجاد فشار از طرف سازه تغییر شکل زیادی به همراه خواهد داشت، در صورتیکه مدول الاستیسیته خاک کم باشد، در مقابل تغییر شکل‌های ناچیز مقاومت نکرده و شکسته می‌شود. عموماً خاک‌های رسی مادامی که تحت رطوبتی کمتر از رطوبت بهینه قرار می‌گیرند، بارهای زیادی را تحمل نموده و تغییر شکل ناچیزی را متحمل می‌شوند؛ ولی، هرچه میزان رطوبت افزایش یابد، ظرفیت باربری آن کم شده و تغییر شکل بیشتری

www.SID.ir

در خاک ایجاد گردیده و پایداری خاک از بین می‌رود. شایان ذکر است که خاک‌های رسی معمولاً نفوذ پذیری کمی داشته و انبساط و انقباض زیاد با تغییر ناچیز رطوبت از خواص قابل ذکر آنهاست. در اهمیت موضوع این پژوهش می‌توان اینگونه بیان نمود که در مناطقی که خاک منطقه دارای خصوصیات کیفی و ژئوتکنیکی مناسب جهت اجرای پروژه‌های عمرانی و آبیاری و زهکشی نباشد، یکی از پر هزینه‌ترین مراحل اجرای پروژه، عملیات خاکبرداری و خاکریزی و حمل خاک می‌باشد. با توجه به هزینه‌های بالای خاکبرداری و خاکریزی، تثبیت و بهسازی خاک به کمک مواد افزودنی اهمیت دوچندان می‌یابد. به بیان دیگر در بیشتر مواقع در مقایسه با عملیات خاکبرداری و خاکریزی از منابع قرضه، بهسازی خاک منطقه مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. با توجه به مطالب یاد شده می‌توان بیان نمود که این مطالعه بر این فرضیه استوار است که می‌توان با اضافه کردن ماسه به خاک‌های رسی، افزایش مدول الاستیسیته در خاک را انتظار داشت که این افزایش مدول الاستیسیته منجر به افزایش ظرفیت باربری در خاک می‌شود. هدف این تحقیق تثبیت خاک رسی مسئله دار به کمک ماسه می‌باشد؛ به گونه‌ای که، با افزایش ماسه به خاک رسی مسئله‌دار خصوصیات ژئوتکنیکی آن بررسی شده است. در این مطالعه از خاک‌های رسی و رس- ماسه نمونه‌هایی با رطوبت‌های مختلف و تراکم‌های متفاوت ساخته و تحت آزمایش تک محوری قرار گرفت. این رطوبت‌ها شامل رطوبت بهینه، دو درصد کمتر، چهار درصد کمتر، دو درصد بیشتر و چهار درصد بیشتر می‌باشد. کلیه نمونه‌ها در تراکم‌های ۸۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصد ساخته شدند. پس انجام آزمایش‌های تک‌محوری، مقاومت‌فشاری و مدول الاستیسیته برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شده و نتایج به صورت جدول و نمودارهای متفاوت مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. Gitau *et al.*, (2006) با بررسی تاثیر آب بر رفتار تنش کرنش خاک و پارامترهای برشی آن به این نتیجه رسیدند که با کم شدن آب رفتار خاک به سمت پلاستیسیته شدن سوق پیدا کرده و شروع به خرد شدن می‌کند. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1988) با تحقیق بر روی تأثیر تأخیر در متراکم کردن خاکهای مخلوط شده با مواد افزودنی به این نتیجه رسید که هر گونه تأخیر در متراکم کردن بعد از مخلوط کردن خاک با مواد افزودنی، مانع از رسیدن جرم حجمی به مقدار حداکثر خود بعد از تراکم می‌شود. Kamon and Nontananandh (1991) مطالعاتی بر روی بهسازی خاک و تأثیر آن بر مسائل احداث سازه‌ها انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بهسازی خاک تا حد قابل قبولی از هزینه احداث سازه‌ها کاهش می‌دهد. Pytkaa and Dabrowski (2001) به تعیین رابطه‌ای برای تنش کرنش در خاک ماسه‌ای در صحرا پرداختند. در مطالعات و تحقیقات پیشین بررسی‌های جامعی بر روی تغییرات مولفه‌های مختلف خاک از جمله مقاومت فشاری آن انجام شده است، اما موضوعی که از نظر بسیاری محققین دور مانده، اهمیت مدول الاستیسیته خاک می‌باشد. هر مقدار بار وارده بر روی توده خاک باعث اعمال تنش و تغییر شکل در خاک می‌گردد. اگر مدول الاستیسیته خاک به‌اندازه‌ای نباشد که توان مقابله با این تغییر شکل را داشته

Archive of SID

www.SID.ir

باشد، خاک گسسته شده و سازه مستقر بر روی آن به مرور زمان تخریب می‌شود. در این مطالعه تلاش شده مقادیر مدول الاستیسیته خاک را به کمک اضافه کردن ماسه در خاک رسی افزایش داده تا تغییر شکل بیشتری را تحمل نماید. Sheng *et al.*, (2004) به بررسی و مدل کردن الاستوپلاستیک و رفتار تنش کرنش خاک غیر اشباع پرداختند. بر اساس نتایج بدست آمده توسط این محققین مشخص شده است که مدل تداومی ارائه شدهٔ آنها بر اساس قوانین ترمومکانیکال چگونگی توسعه تنش کرنش در خاک‌های غیر اشباع را به خوبی پیش‌بینی می‌نماید. Kima *et al.*, (2005) به بررسی اثرات ماسه ریز بر روی رفتار مکانیکی خاک فشرده پرداختند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش ماسه باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌گردد. همچنین Eko *et al.*, (2005) به بررسی رفتار مکانیکی خاک رس کشاورزی به کمک آزمایش سه‌محوری پرداخت. دریایی (۱۳۸۸) مطالعاتی براساس بررسی تأثیر افزایش ماسه در مقاومت مخلوط خاک آهک انجام داد و به این نتیجه رسید که نسبت اختلاط بهینه ماسه برای افزایش مقاومت فشاری ۱۰ درصد می‌باشد. Dean Sun *et al.*, (۲۰۰۷) رفتار تنش کرنش در خاک‌های غیر اشباع را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های ایزوپلاستیک برای شبیه‌سازی رفتار تنش کرنش و پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی و مکانیکی خاک‌های غیر اشباع دارای جواب‌های منطقی می‌باشد. Dean Sun *et al.*, (۲۰۱۰) خصوصیات مکانیکی خاک‌های رسی اشباع و غیر اشباع را در شرایط تنش کرنش نرمال شبیه‌سازی نمود. بر اساس نتایج این محققین مشخص گردید که رفتار خاک در حالت اشباع بسیار متفاوت از رفتار توزیع تنش کرنش در حالت غیر اشباع است. در این حالت با افزایش درجه اشباع با ثابت نگه‌داشتن کرنش ایجاد شده مقاومت فشاری متناظر بیشتری حادث می‌گردد. هدف از این مطالعه مقایسه تغییرات مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری در تراکم‌های ۹۵،۸۵ و ۱۰۰ درصد و مقادیر مختلف رطوبتی (بهینه، دو درصد کمتر، چهار درصد کمتر، دو درصد بیشتر و چهار درصد بیشتر از رطوبت بهینه) در خاک‌های رسی و رسی ماسه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

با توجه به استدلال و مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل، مدول الاستیسیته و مقاومت‌فشاری از مهم‌ترین خصوصیات مورد توجه مهندسین در پروژه‌های عمرانی و آبیاری زهکشی هستند که می‌توانند پایداری سازه را تا حدودی تضمین نمایند. معادلات پایه برای تغییر شکل پیوسته در حالت تعادل استاتیکی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$L^T \sigma + P = 0 \qquad (۱)$$

معادله (۱) نشان دهنده مولفه‌های تانسور کرنش است که به وسیله کمیت برداری ε بیان می‌شود. رابطه‌های ساختاری در خاک که رفتار خاک را بیان می‌کند، به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\sigma = M\varepsilon \qquad (۲)$$

در رابطهٔ (۲) M، ماتریس صلبیت خاک است که بر حسب مدول الاستیسیته ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که محاسبه تغییر شکل در خاک بر اساس رابطهٔ (۲) صورت می‌پذیرد که M از پارامترهای این رابطه بوده و بر اساس مدول الاستیسیتهٔ خاک بیان می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

در ایـن تحقیـق مقاومـت فشـاری و مـدول الاستیسیته در نمونه‌های خـاک رسـی و رسـی- ماسه در تراکم‌هـای ۸۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصـد و در رطوبتهای بهینه، دو درصد کمتـر، چهـار درصـد کمتر، دو درصد بیشتر و چهار درصد بیشتر مورد بررسی و مطالعـه قـرار گرفـت. ایـن مطالعـه در آزمایشـگاه تحقیقـاتی مکانیـک خـاک دانشـکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمـران اهـواز انجام پذیرفت. نمونه خاک رسی مورد مطالعه از محل یکی از منابع قرضه استان خوزستان کـه در پروژه‌های عمرانی متعدد از آن استفاده مـی‌شـود تهیه گردید. خصوصیات ژئوتکنیکی خاک مـورد استفاده مطابق با استانداردهای موجود تعیین شد که نتایج آن در جدول (۱) به صورت طبقه بندی شده ارائه شده است. با توجه به نتایج مندرج در جدول (۱) مشخص گردید که خـاک ایـن منبـع قرضه به لحاظ خصوصـیات ژئـوتکنیکی دچـار ضعف‌هایی می‌باشد. بدین معنی که خـاک مـورد استفاده دارای مدول الاستیسـیته پـایینی (حـدود ۰/۸ مگاپاسکال) است و از این رو در فعالیتهایی مانند راهسازی، زیرسازی سازه‌های آبی که تغییر شکل کم در خاک مد نظر است، چندان مناسـب نیست؛ لذا، در این تحقیق سعی بر این است کـه با افزایش ماسه و استفاده از رطوبت حین تراکم، مقدار این پارامتر افزایش یابد. نمونه‌هـای مـورد استفاده از ترکیب خاک رسی ذکر شده بـا ماسـه تهیه شد. درصد اختلاط خاک با ماسه ۱۰ درصد انتخاب گردید.

جدول ۱- خصوصیات مهندسی خاک رسی بدون افزایش ماسه

مشخصات	مقادیر
درصد رس	۲۳
درصد لای	۷۱
درصد ماسه	۶
حد روانی LL	۳۱/۹
حد خمیری PL	۲۰/۴۴
رده‌بندی در سیستم متحد USCS	CL
رده‌بندی در سیستم آشتو AASHTO	A-6
نشانه گروه GI	۱۱
مدول الاستیسیته KN/m2	۸۰۰

لازم به ذکر است درصد انتخاب شـده بـرای اختلاط ماسه با خاک رسی بـر اسـاس تحقیقـی است که توسط دریایی (۱۳۸۸) انجام شده است. برای اینکه بتوان تـاثیر افـزایش ماسـه، تغییـرات رطوبت و مقادیر مختلـف تـراکم را در تغییـرات مدول الاستیسیته مشاهده نمود، حـالتی از خـاک بدون هیچگونه اضافه نمودن مـواد اصـلاحی در رطوبت‌های مورد نظر سـاخته و مـورد آزمـایش تک محوری قرار گرفت. این حالـت بـه عنـوان شاهد مبنای مقایسـه قـرار گرفـت؛ لـذا، در ایـن تحقیق با توجه به وجود سه تراکم، پنج رطوبـت و دو نـوع خـاک و بـا سـه تکـرار آزمـایش تک‌محوری برای هر درصد اختلاط، در مجمـوع نود نمونه ساخته و تحت آزمایش تـک‌محـوری قرار گرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

برخی از نتایج جدول (۱) برگرفته از مطالعات و تحقیقاتی است که توسط دریایی (۱۳۸۸) انجام شده است. جهت تهیه نمونه‌ها برای انجام آزمایش تک‌محوری و محاسبهٔ مدول الاستیسیته خاک- ماسه، ابتدا در هر نسبت اختلاط آزمایش پروکتور استاندارد جهت تعیین وزن واحد حجم خشک ماکزیمم و رطوبت بهینه انجام شد. آزمایش تراکم به روش پروکتور استاندارد، مطابق با استاندارد ASTM D698 صورت گرفت. در جدول (۲) نتایج آزمایش پروکتور استاندارد در خاک رسی و خاک رسی- ماسه‌ای آمده است. همچنین جهت ساخت نمونه‌ها، قالبی به صورت استوانه به ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر و قطر ۵۰ میلیمتر طراحی و برای متراکم کردن نمونه خاک درون قالب, چکشی متناسب با قالب طراحی و ساخته شد. شکل (۱) وسایل مورد استفاده جهت تهیه نمونه و دستگاه آزمایش تک‌محوری را به تصویر کشیده است. شکل (۲) نیز نمونه‌ای از استوانه‌های خاکی آزمایش شده را نمایش می‌دهد.

شکل ۱- وسایل ساخت نمونه و آزمایش تک محوری

شکل۲- نمونه شکسته شده رسی در۱۰۰درصد تراکم

در شکل (۲) نمونه خاک رسی شکسته شده در آزمایش تک‌محوری در شرایط تراکم ۱۰۰ و رطوبت ۱۷ درصد آورده شده است. برای محاسبه وزن خاک جهت ساخت نمونه‌های تک‌محوری از ابعاد و حجم قالب آزمایش پروکتور استاندارد و وزن واحد حجم خاک رسی و رسی- ماسه‌ای، استفاده گردید. با توجه به اینکه در آزمایش پروکتور خاک در سه لایه ریخته و کوبیده می‌شد، از این رو برای ساخت نمونه‌های آزمایش تک محوری نیز خاک در سه لایه در قالب طراحی شده ریخته و کوبیده گردید. به گونه‌ای که ابتدا یک سوم وزنی از خاک درون قالب آزمایش تک‌محوری وارد می‌شد و سپس با دور ۱/۵ میلیمتر در دقیقه متراکم می‌گردید تا به‌اندازه یک سوم ارتفاع قالب برسد. سپس لایه‌های دوم و سوم نیز به همین شیوه در قالب وارد می‌گردید و عمل تراکم برای آنها نیز به کمک چکش مخصوص اعمال می‌گردید. به منظور به حداقل رساندن خطای آزمایشگاهی در تعیین مقاومت فشاری و

Archive of SID

www.SID.ir

مدول الاستیسیته هنگام انجام آزمایش تک‌محوری از هر نمونه اختلاط سه عدد ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. سپس نتایج هر سه آزمایش بررسی شده و بعد از عمل میانگین‌گیری مقامت فشاری و مدول الاستیسیته برای هر نسبت اختلاط محاسبه گردید. در اینجا لازم به ذکر است که یکی از مشکلات آزمایش‌ها در حین ساخت نمونه‌های مقاومت فشاری چسبیدن خاک به جداره داخلی استوانه ساخت نمونه بود؛ به طوری‌که، امکان خارج نمودن استوانه خاک به صورت سالم میسر نبود. برای حل این مشکل از یک طلق بسیار نازک استفاده شد. این طلق در جداره داخلی استوانه قرار می‌گرفت تا مانع چسبیدن خاک به جداره فلزی استوانه گردد. از دیگر توضیحات مربوط به آزمایش‌ها برنامه‌ریزی تراکم ۱۱۰ درصد در طرح اولیه این مطالعه بود. در حین انجام آزمایش‌ها مشخص گردید که برای کلیه رطوبت‌ها امکان دستیابی به چنین تراکمی وجود ندارد، به همین دلیل برای همگن سازی آزمایش‌ها این تراکم از سناریوی آزمایش‌ها حذف گردید.

نتایج و بحث

همان‌گونه که در بخش‌های پیشین نیز به آن اشاره شد، این تحقیق در پنج رطوبت و سه تراکم، در خاک رسی و خاک رسی- ماسه‌ای انجام شد. جدول (۲) جرم واحد حجم و رطوبت بهینه در آزمایش تراکم استاندارد را برای نمونه خاک رسی و خاک رسی- ماسه‌ای ارائه می‌نماید.

جدول ۲- نتایج آزمایش پروکتور استاندارد برای خاک‌های رسی و رسی- ماسه‌ای

رطوبت بهینه تراکم بر حسب درصد ω_{opt}	جرم مخصوص خشک آزمایشگاهی برحسب $\mathrm{kg/m^3}$ $(\rho_d)_{\max}$	نوع خاک
۱۷	۱۸۲۸	خاک رسی
۱۵/۶	۱۸۷۳	خاک رسی ماسه‌ای

با توجه به نتایج آزمایش پروکتور استاندارد که در جدول (۲) آمده است، با افزایش ماسه جرم واحد حجم خشک ماکزیمم افزایش یافته و رطوبت بهینه نسبت به خاک رسی کاهش یافته است. پس از انجام آزمایش‌های تک‌محوری، برای بررسی بهتر، نتایج حاصله در جدول (۳) آورده شده است. همان گونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، نیروی متناظر با تغییرات طول به ازای هر ۰/۲ میلیمتر ثبت شده است. نتایج آزمایش تک‌محوری بر روی نمونه خاک رسی- ماسه‌ای برای تراکم ۱۰۰ درصد و رطوبت ۱۳ درصد در جدول زیر آورده شده است.

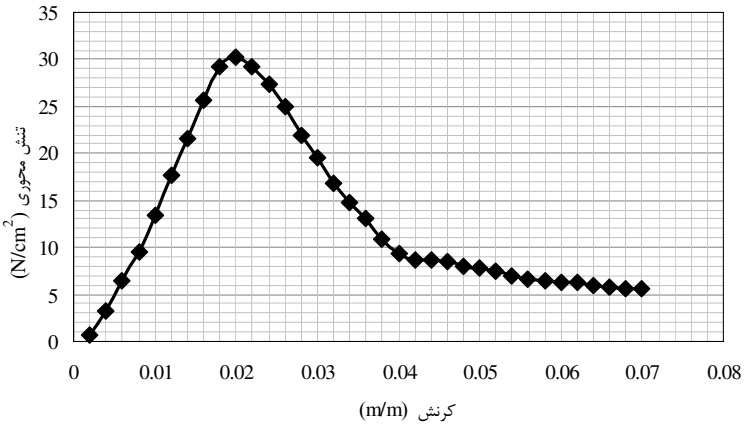
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- نمونه نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری شده برای تراکم ۱۰۰ درصد و رطوبت ۱۳ درصد

تنش	سطح مقطع	نیرو	کرنش	تنش	سطح مقطع	نیرو	کرنش
N/cm^2	cm^2	N	m/m	N/cm^2	cm^2	N	m/m
۵۹/۰۴	۲۰/۱۲	۱۱۸۷/۸۵	۰/۰۲۴	۰/۳۲	۱۹/۶۷	۶/۳۹	۰/۰۰۲
۶۶/۶۴	۲۰/۱۴	۱۳۴۳/۳۲	۰/۰۲۶	۲/۱۱	۱۹/۷۱	۴۱/۵۳	۰/۰۰۴
۶۸/۸۹	۲۰/۲۰	۱۳۹۱/۷۱	۰/۰۲۸	۴/۴۵	۱۹/۷۵	۸۷/۹۲	۰/۰۰۶
۶۶/۷۶	۲۰/۲۴	۱۳۵۱/۳۳	۰/۰۳	۸/۱۴	۱۹/۷۹	۱۶۱/۰۵	۰/۰۰۸
۶۳/۸۸	۲۰/۲۸	۱۲۹۵/۷۴	۰/۰۳۲	۱۲/۲۶	۱۹/۸۳	۲۴۳/۲۴	۰/۰۱
۵۸/۸۱	۲۰/۳۳	۱۱۹۵/۴۱	۰/۰۳۴	۱۶/۹۷	۱۹/۸۷	۳۳۷/۲۹	۰/۰۱۲
۵۴/۳۱	۲۰/۳۷	۱۱۰۶/۱۶	۰/۰۳۶	۲۲/۷۵	۱۹/۹۱	۴۵۲/۹۵	۰/۰۱۴
۴۹/۶۴	۲۰/۴۱	۱۰۱۳/۱۱	۰/۰۳۸	۲۸/۶۵	۱۹/۹۵	۵۷۱/۷۲	۰/۰۱۶
۴۶/۱۶	۲۰/۴۵	۹۴۴/۱۱	۰/۰۴	۳۶/۰۲	۱۹/۹۹	۷۲۰/۲۵	۰/۰۱۸
۴۱/۵۳	۲۰/۵۰	۸۵۱/۲۷	۰/۰۴۲	۴۴/۴۵	۲۰/۰۴	۸۹۰/۵۲	۰/۰۲
۴۰/۱۹	۲۰/۵۴	۸۲۵/۵۵	۰/۰۴۴	۵۱/۸۷	۲۰/۰۸	۱۰۴۱/۳۴	۰/۰۲۲

برای کلیه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، محاسبات و اندازه‌گیری‌هایی همانند آنچه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، انجام شد. در کلیه اندازه‌گیری‌ها در نهایت منحنی‌های تنش کرنش مربوطه استخراج شد. برای هر نمونه یک نمودار تنش کرنش به صورت شکل (۳) ترسیم شد. برای محاسبه مقدار مدول الاستیسیته ماکزیمم، شیب خطی که نقطه ابتدایی نمودار را به نقطه حداکثر نمودار وصل کند، اندازه‌گیری و در جدول(۴) آورده شده است.



شکل ۳- تغییرات تنش کرنش برای خاک رسی (تراکم ۹۵ درصد ورطوبت ۱۳ درصد)

نتایج محاسبات برای مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در رطوبت‌ها و تراکم‌های مختلف استخراج گردید. در جدول (۴) نتایج مقاومت محوری و مدول الاستیسیته به ازای تراکم و رطوبت‌های مختلف برای خاک رسی ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- نتایج مقاومت محوری و مدول الاستیسیته خاک رسی در تراکم و رطوبت‌های مختلف

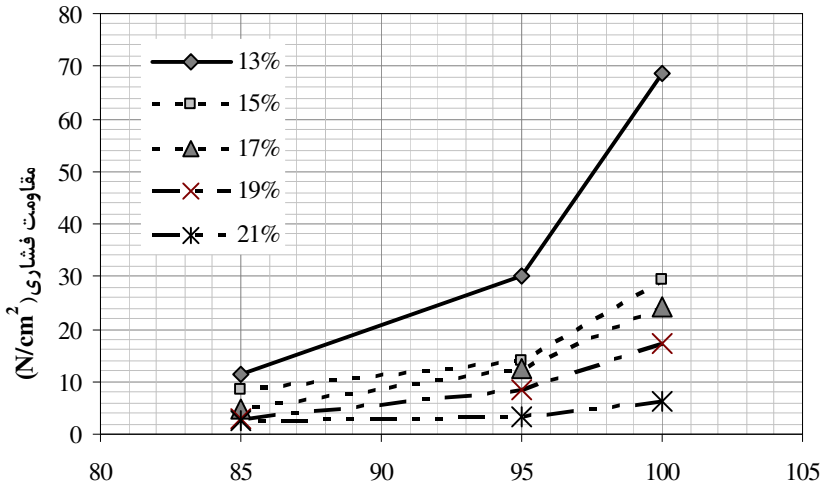
ρ	ρ_d	w	Rc	e	E	ρ_a
kg/m^3	kg/m^3	%	--	--	MPa	N/cm^2
۲۰۶۵/۶۴	۱۸۲۵	۱۳	۱۰۰	۰/۴۶	۲۴/۵۶	۶۸/۷۷
۲۱۰۲/۲	۱۸۲۵	۱۵	۱۰۰	۰/۴۶	۱۲/۱۷۹	۲۹/۲۳
۲۱۳۸/۷۶	۱۸۲۵	۱۷	۱۰۰	۰/۴۶	۲/۹۵	۲۴/۲
۲۱۷۵/۳۲	۱۸۲۵	۱۹	۱۰۰	۰/۴۶	۰/۷۸	۱۷/۱۱
۲۲۱۱/۸۸	۱۸۲۵	۲۱	۱۰۰	۰/۴۶	۰/۳۹	۶/۲
۱۹۶۱/۶۸	۱۷۳۶	۱۳	۹۵	۰/۵۴	۱۵/۰۲	۳۰/۱۸
۱۹۹۶/۴	۱۷۳۶	۱۵	۹۵	۰/۵۴	۷/۰۵	۱۴/۱۱
۲۰۳۱/۱۲	۱۷۳۶	۱۷	۹۵	۰/۵۴	۲/۱۷	۱۲/۳
۲۰۶۵/۸۴	۱۷۳۶	۱۹	۹۵	۰/۵۴	۰/۹۱	۸/۳۸
۲۱۰۰/۵۶	۱۷۳۶	۲۱	۹۵	۰/۵۴	۰/۲۷۶	۳/۴۸
۱۷۵۶/۰۲	۱۵۵۴	۱۳	۸۵	۰/۷۳	۶/۲۳۳	۱۱/۲۲
۱۷۸۷/۱	۱۵۵۴	۱۵	۸۵	۰/۷۳	۴/۶۶	۸/۳۹
۱۸۱۸/۱۸	۱۵۵۴	۱۷	۸۵	۰/۷۳	۱/۹۹	۴/۷۹
۱۸۴۹/۲۶	۱۵۵۴	۱۹	۸۵	۰/۷۳	۰/۵۹۲	۳/۰۸
۱۸۸۰/۳۴	۱۵۵۴	۲۱	۸۵	۰/۷۳	۰/۱۴۵	۲/۵۶

در جدول (۴)، γ، وزن واحد حجم طبیعی، γ_d، وزن واحد حجم خشک، ω، درصد رطوبت، RC، نسبت تراکم آزمایشگاهی، e، نسبت پوکی، E، مدول الاستیسیته خاک و σ_a، مقاومت فشاری است. بر اساس نتایج جدول (۴) مشخص است که تغییرات تراکم به نسبت تغییرات مقادیر مختلف رطوبت تاثیر بیشتری بر افزایش و یا کاهش مدول الاستیسیته دارد. به طور متوسط در رطوبت‌های مختلف، مقاومت فشاری برای تراکم‌های ۹۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۲/۳ و ۴/۹ برابر مقدار آن در تراکم ۸۵ درصد شده است. پس از بررسی پارامترها و عناصر تاثیرگذار بر مقاومت فشاری، مشخص گردید که با افزایش تراکم، سطح تماسی و اصطکاکی بین ذرات افزایش یافته و در نتیجه خاک در برابر تنش‌های وارده مقاومت بیشتری خواهد داشت. شکل (۴) روند تغییرات مقاومت فشاری نسبت به تراکم در یک رطوبت مشخص را نمایش می‌دهد. نکته قابل توجه در شکل (۴) این است که در رطوبت ۱۳ درصد شدت افزایش مقاومت فشاری بیشتر است. همچنین مطابق با نتایج مندرج در نمودار (۴) برای مقاومت فشاری، در یک تراکم مشخص با افزایش رطوبت مقدار مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. این موضوع در شکل (۵) نشان داده شده است. برای تراکم ۱۰۰ درصد مقاومت فشاری رطوبت ۱۳ درصد، ۸/۵۲ برابر مقدار آن در رطوبت ۲۱ درصد است؛ این مقدار برای تراکم ۸۵ درصد ۴/۵۲ برابر است. نکتهٔ قابل توجه در شکل (۵) این است که با افزایش رطوبت نمودارها به یکدیگر نزدیک شده، به طوری‌که، در رطوبت ۲۱ درصد اختلاف مقادیر مقاومت فشاری به حداقل خود می‌رسد. این بدان معنی است که رطوبت بیشتر از رطوبت بهینه تاثیر تراکم بر مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. نکته دیگر در این شکل شیب نمودار است که با

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش تراکم کم شده، به طوری‌که در تراکم ۱۰۰ درصد شیب نمودار به طور متوسط ۲/۴ برابر تراکم ۹۵ درصد و ۷ برابر تراکم ۸۵ درصد است. یعنی با افزایش رطوبت شدت کاسته شدن مقاومت فشاری در تراکم‌های بالاتر بسیار بیشتر از شدت کاسته شدن در تراکم‌های پایین‌تر است. این موضوع به این دلیل است که در تراکم‌های بالا با تغییر رطوبت تماس بین ذرات کاهش یافته و تغییر شکل زیادی در خاک ایجاد می‌شود.

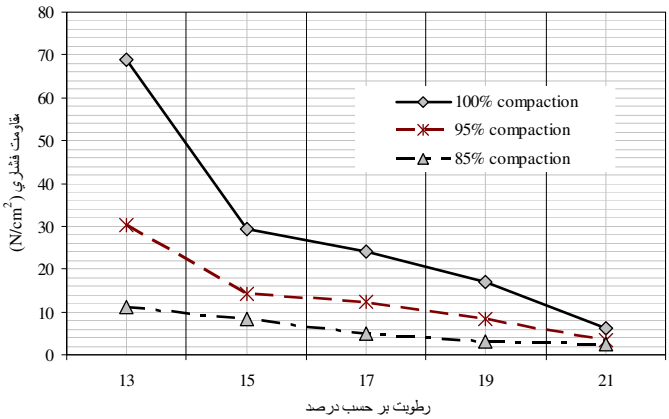


شکل ۴- مقایسه مقاومت فشاری خاک رسی در تراکم‌های مختلف

همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، میزان مقاومت فشاری با افزایش تراکم، افزایش می‌یابد. مقدار این افزایش در رطوبت‌های کم بیشتر است. در تراکم ۸۵ درصد نمودارها به یکدیگر نزدیک شده و این بدان معنی است که در تراکم ۸۵ درصد از تأثیر تغییرات رطوبت بر مقاومت فشاری کاسته می‌گردد. با توجه به شکل (۴) در رطوبت ۱۳ درصد مقاومت فشاری به دلیل حداکثر اصطکاک بین ذرات در تمامی تراکم‌ها در مقایسه با سایر رطوبت‌ها بیشتر می‌باشد. شکل (۵) مقاومت فشاری خاک در مقابل رطوبت در تراکم‌های مختلف را نشان می‌دهد.

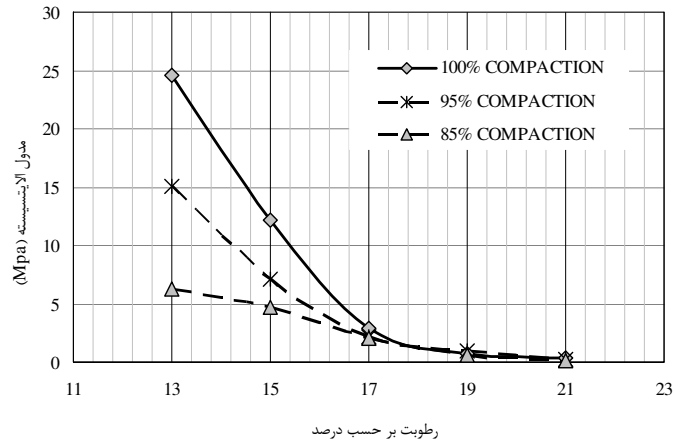
Archive

www.SID.ir



شکل ۵- مقاومت فشاری خاک رسی در رطوبت‌های مختلف

همان‌گونه که در شکل (۵) ملاحظه می‌گردد، با افزایش رطوبت مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. برای تراکم ۱۰۰ درصد مقاومت فشاری رطوبت ۱۳ درصد، ۸/۵۲ برابر مقدار آن در رطوبت ۲۱ درصد است؛ این مقدار برای تراکم ۸۵ درصد ۴/۵۲ برابر است. همان‌طوری که در بخش‌های گذشته نیز عنوان گردید با افزایش رطوبت نمودارها به یکدیگر نزدیک شده، به طوری‌که، در رطوبت ۲۱ درصد اختلاف مقادیر آنها به حداقل خود می‌رسد. مطابق با نتایج مندرج در جدول (۴) مشخص است که با افزایش تراکم مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد. مقدار افزایش مدول الاستیسیته از تراکم ۸۵ به ۱۰۰ درصد، در رطوبت ۱۳ درصد ۴/۱۳ برابر و در رطوبت ۲۱ درصد ۳/۳۵ برابر است. شکل (۶) تغییرات مدول الاستیسیته خاک رسی را در تراکم‌های مختلف نشان می‌دهد. در رطوبت بهینه شکستگی در شکل‌ها مشاهده شده که پس از آن شیب نمودار کاهش می‌یابد.



شکل ۶- تغییرات مدول الاستیسیته در مقابل رطوبت در تراکم‌های مختلف برای خاک رسی

نکتهٔ قابل توجه در شکل (۶) این است که در رطوبت بهینه، مقادیر مدول الاستیسیته هر سه تراکم تقریباً برابر می‌شود و پس از رطوبت بهینه کلیه نمودارها بر هم منطبق می‌شوند. به عبارت

Archive of SID

www.SID.ir

دیگـر در رطوبـت بهینـه و بیشـتر از آن مقـادیر مدول الاستیسیته تابعی از تراکم نمی‌باشـد. دلیـل این پدیده را می‌توان در نمودار تـراکم جسـتجو نمود؛ زیـرا، در رطوبـت‌هـای بـیش از رطوبـت بهینه، آب واقـع در بـین ذرات خـاک از قابلیـت تراکم پذیری خاک کاسته و تنش‌هـای وارده نـه تنها به ذرات خاک بلکه بـه آب بـین ذره‌ای نیـز وارد می‌شود. به همین علت رطوبت‌هـای بیشـتر تـأثیری در مـدول الاستیسـیته خـاک نـدارد. در جـدول (۵) نتـایج مقاومـت فشـاری و مـدول الاستیسیته، بـرای خـاک رسـی- ماسـه‌ای آورده شده است.

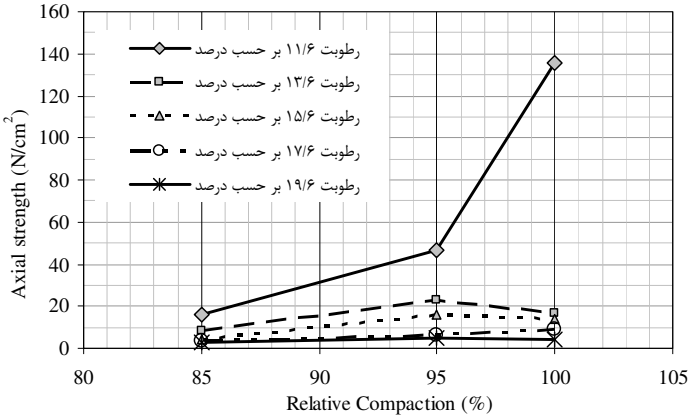
جدول ۵- نتایج مقاومت محوری و مدول الاستیسیته در خاک رسی- ماسه‌ای در تراکم و رطوبت‌های مختلف

ρ	ρ_d	w	Rc	e	E	ρ_a
kg/m^3	kg/m^3	%	--	--	KPa	N/cm^2
۲۰۹۰/۲۷	۱۸۷۳	۱۱/۶	۱۰۰	۰/۴	۳۰/۲۷	۱۳۵/۸۳
۲۱۲۷/۷۳	۱۸۷۳	۱۳/۶	۱۰۰	۰/۴	۲/۱۳	۱۶/۸۲
۲۱۶۵/۱۹	۱۸۷۳	۱۵/۶	۱۰۰	۰/۴	۱/۳۲	۱۴/۱۱
۲۲۰۲/۶۵	۱۸۷۳	۱۷/۶	۱۰۰	۰/۴	۱/۰۰	۸/۸۹
۲۲۴۰/۱۱	۱۸۷۳	۱۹/۶	۱۰۰	۰/۴	۰/۲۹	۳/۹۶
۱۹۸۵/۳۶	۱۷۷۹	۱۱/۶	۹۵	۰/۴۷	۱۸/۹۳	۴۶/۴۵
۲۰۲۰/۹۴	۱۷۷۹	۱۳/۶	۹۵	۰/۴۷	۹/۸۴	۲۳/۳۰
۲۰۵۶/۵۲	۱۷۷۹	۱۵/۶	۹۵	۰/۴۷	۳/۹۶	۱۵/۸۴
۲۰۹۲/۱۰	۱۷۷۹	۱۷/۶	۹۵	۰/۴۷	۱/۰۴	۶/۲۲
۲۱۲۷/۶۸	۱۷۷۹	۱۹/۶	۹۵	۰/۴۷	۰/۲۲	۴/۵۵
۱۷۷۶/۶۷	۱۵۹۲	۱۱/۶	۸۵	۰/۶۴	۱۵/۷۱	۱۵/۷۱
۱۸۰۸/۵۱	۱۵۹۲	۱۳/۶	۸۵	۰/۶۴	۱/۷۲	۸/۳۳
۱۸۴۰/۳۵	۱۵۹۲	۱۵/۶	۸۵	۰/۶۴	۱/۱۸	۳/۹۱
۱۸۷۲/۱۹	۱۵۹۲	۱۷/۶	۸۵	۰/۶۴	۱/۰۸	۳/۳۳
۱۹۰۴/۰۳	۱۵۹۲	۱۹/۶	۸۵	۰/۶۴	۰/۲۱	۲/۴۷

بر اساس نتایج مندرج در جدول (۵) با افزایش رطوبت از دو درصد کمتر از رطوبت بهینه به چهار درصد بیشتر از آن در تمامی تراکم‌ها مقاومت فشاری به میزان قابل توجهی بین ۴ تا ۶ برابر کاهش می‌یابد. این در حالی است که برای رطوبت ۱۱/۶ درصد (یعنی چهاردرصد کمتز از رطوبت بهینه) اعداد بدست آمده برای مقاومت فشاری بسیار بزرگ بوده که دلیل این امر، فقدان رطوبت مازادی است که اصطکاک بین ذرات خاک را کاهش دهد. شکل (۷) تغییرات مقاومت فشاری در مقابل تراکم برای رطوبت‌های مختلف را نمایش می‌دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود در یک تراکم مشخص مقدار مقاومت فشاری برای رطوبت کمترین (۱۱/۶ درصد) از همه بیشتر بوده و هرچه رطوبت خاک افزایش می‌یابد مقادیر مقاومت فشاری در تراکم‌های مختلف به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



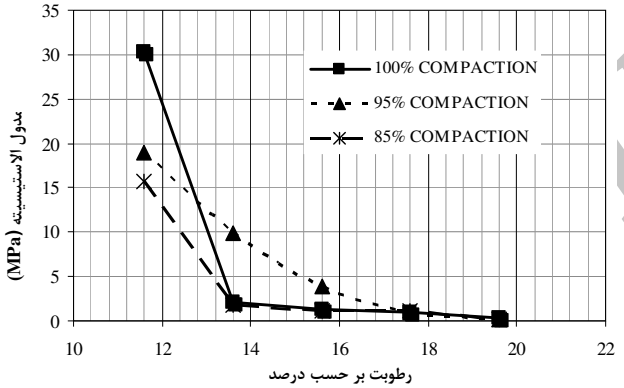
شکل ۷- تغییرات مقاومت محوری در مقابل تراکم برای درصد رطوبت‌های مختلف

مطابق با نتایج بدست آمده در شکل (۷) اختلاف کمی بین مقادیر مقاومت فشاری در تراکم ۸۵ و ۱۰۰ درصد در رطوبت‌های متفاوت وجود دارد؛ این در حالی است که، در تراکم ۹۵ درصد مقادیر مقاومت فشاری کمی بیشتر می‌باشد. این موضوع به این دلیل می‌باشد که در تراکم ۸۵ درصد به علت تراکم کم خاک، مقاومت فشاری تقریباً تابعی از رطوبت موجود در آن نمی‌باشد و افزایش و یا کاهش رطوبت در توده خاک به دلیل درگیری کم ذرات، تاثیر چندانی در اصطکاک بین ذرات ندارد. همچنین در تراکم ۱۰۰ درصد نیز به استثنای رطوبت ۱۱/۶ درصد که رطوبت خاک ناچیز است، به علت قفل و بست کاملی که بین ذرات خاک وجود دارد، افزایش رطوبت در خاک تاثیر بسزایی در مقاومت فشاری نمی‌گذارد و تقریباً مقدار زیادی از تنش اعمال شده را ذرات خاک تحمل می‌نمایند. از دیگر موارد قابل ذکر در شکل(۷) این است که هرچه رطوبت موجود در خاک افزایش یابد، از تأثیر تراکم بر روی مقاومت فشاری آن کاسته می‌شود. به گونه‌ای که در رطوبت چهار درصد بیشتر از رطوبت بهینه (۱۹/۶ درصد) افزایش مقاومت فشاری نسبت به تراکم تقریباً به صورت خطی است که نشان دهندهٔ بی‌تأثیر بودن تراکم در رطوبت‌های بالاتر از رطوبت بهینه است. البته هرچه از رطوبت موجود در خاک کاهش یابد، افزایش تراکم، باعث افزایش مقاومت فشاری خاک به صورت محسوس می‌گردد. زیرا با افزایش تراکم قفل و بست بین ذرات افزایش یافته و اصطکاک بین آنها باعث افزایش مقاومت توده خاک در برابر تنش‌های وارده می‌شود. شکل (۸) تغییرات مدول الاستیسیته خاک رسی- ماسه‌ای برای تراکم‌های مختلف را نشان می‌دهد. از نکات قابل توجه در این شکل این است که برای رطوبت ۱۳ درصد مدول الاستیسیته در تراکم‌های ۱۰۰ و ۹۵ درصد یکسان می‌گردد. به عبارت دیگر برای رطوبت ۱۳ درصد تراکم بیش از ۹۵ درصد ماکزیمم آزمایشگاهی، تأثیری بر افزایش یا کاهش مدول الاستیسیته در خاک رسی ماسه‌ای ندارد. لازم به توضیح است که در تراکم ۱۰۰ درصد به دلیل این‌که حداکثر قفل و بست ذرات داخل یکدیگر رخ می‌دهد، و ذرات ماسه با اعمال تنش سریعاً تغییر شکل می‌دهند، با افزایش رطوبت تا ۱۳/۶ درصد، تغییر شکل این خاک سریعاً رخ داده و با مدول الاستیسیته در

Archive of SID

www.SID.ir

تراکم ۸۵ درصد همسان می‌گردد. ذکر این نکته ضروری است که مدول الاستیسیته تراکم‌های ۸۵ و ۱۰۰ درصد در مقدار ۲ مگاپاسکال یکسان شده، حال آنکه مدول الاستیسیته ۹۵ و ۱۰۰ درصد تراکم عدد ۱۴ مگاپاسکال را نشان می‌دهد. با این توصیف خاک رسی ماسه‌ای با تراکم ۹۵ درصد تغییر شکل کمتری را نسبت به سایر تراکم‌ها به همراه خواهد داشت. به عبارت دیگر بهترین تراکم برای خاک رسی ماسه‌ای برای جلوگیری از تغییر شکل ناگهانی در اثر تنش‌های وارده تراکم ۹۵ درصد می‌باشد.

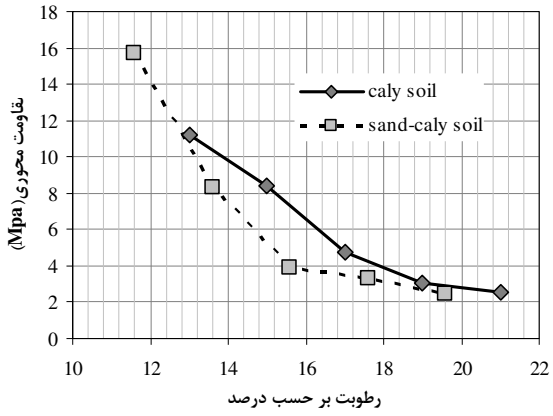


شکل ۸- تغییرات مدول الاستیسیته در مقابل رطوبت در تراکم‌های مختلف برای خاک رسی ماسه‌ای

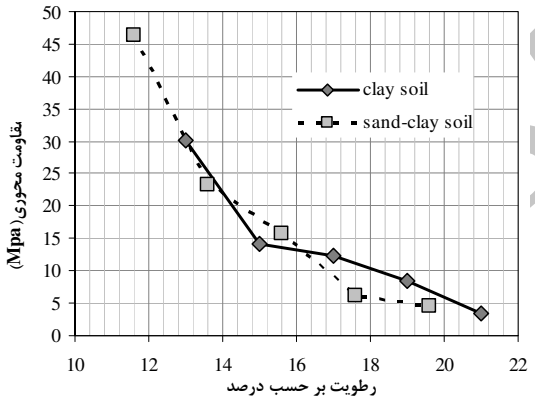
برای مقایسه نتایج بدست آمده در خاک رسی و خاک رسی-ماسه‌ای تغییرات مقاومت فشاری در هر دوخاک در یک شکل ترسیم شد و با یکدیگر مقایسه گردید. شکل (۹) تغییرات مقاومت فشاری در مقابل رطوبت را برای هر سه تراکم ۸۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصد نمایش می‌دهد. در هریک از شکل‌های (۹- الف) الی (۹- ج) خاک رسی با خاک رسی- ماسه‌ای مقایسه شده است.

Archive of SID

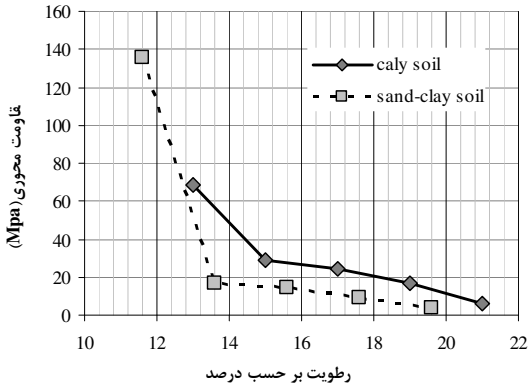
www.SID.ir



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹- مقاومت فشاری خاک رس و رس- ماسه‌ای
(الف) تراکم ۸۵ (ب) تراکم ۹۵ (ج) تراکم ۱۰۰ درصد

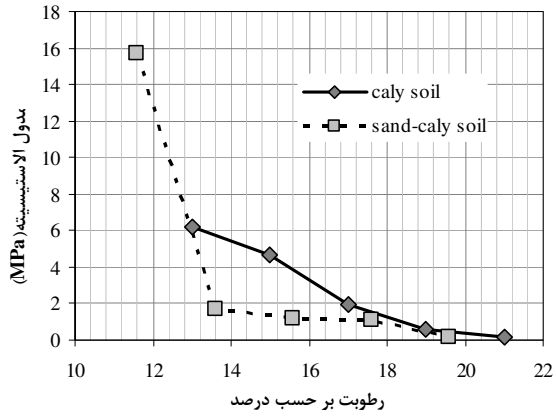
با توجه به نتایج مندرج در شکل (۹) در اکثر موارد مقادیر مقاومت فشاری در یک رطوبت یکسان برای خاک رسی بیشتر است. این پدیده را می‌توان با خاصیت واگرایی ماسه توجیه نمود؛

www.SID.ir

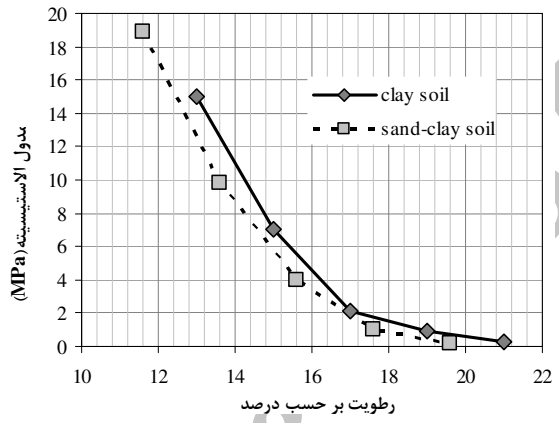
به‌طوری‌که، قرارگیری ذرات ماسه در خاک رسی از پیوند بین ذرات رس کاسته و موجب کم شدن مقاومت فشاری خاک می‌شود. به طور متوسط مقدار مقاومت فشاری رس در تراکم ۱۰۰ درصد ۱/۶ برابر رس- ماسه است. این مقدار برای تراکم ۹۵ درصد و ۸۵ درصد به ترتیب ۰/۷۸ و ۱/۱ برابر است. لازم به ذکر است که این مقادیر در رطوبت‌های یکسان محاسبه شده است. نکته قابل توجه دیگر این است که با کاهش تراکم فاصله نمودارها کاهش می‌یابد به طوری که در تراکم ۸۵ درصد به حداقل مقدار خود می‌رسد. بدین معنی که با کاهش درصد تراکم از اثر ماسه بر مقاومت فشاری کاسته می‌شود. دلیل این امر این است که در تراکم‌های کمتر پیوند و قفل و بست کمتری بین ذرات رس وجود دارد که اثر واگرایی ذرات ماسه را کاهش می‌دهد. در تراکم ۹۵ درصد مقدار مقاومت محوری رس- ماسه از رس بیشتر است، (در یک رطوبت یکسان) که این موضوع نشان می‌دهد که در صورت اضافه شدن ماسه، تراکم ۹۵ درصد مقاومت قابل قبول و در عین حال اقتصادی را نتیجه خواهد داد.

Archive of SID

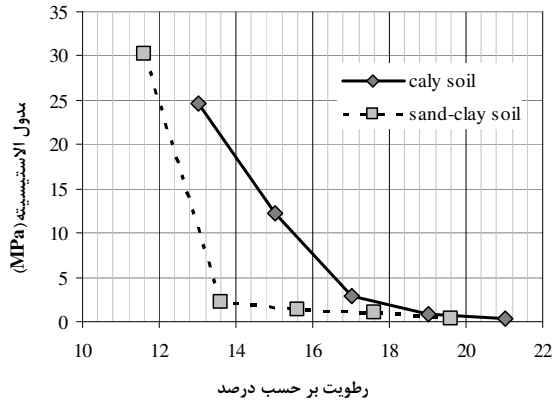
www.SID.ir



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۱۰) مدول الاستیسیته رس و رس- ماسه
(الف) تراکم ۸۵ (ب) تراکم ۹۵ (ج) تراکم ۱۰۰

همچنین برای بررسی دقیق‌تر اثر ماسه بر خاک رسی، تغییرات مدول الاستیسیته نیز بررسی گردید. شکل (۱۰) نتایج حاصل از تغییرات مدول الاستیسیته در مقابل رطوبت، در خاک رسی و خاک رسی- ماسه‌ای برای تراکم‌های ۸۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

همان‌گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، در خاک‌های رسی هرچه روند افزایش رطوبت از رطوبت کمترین، یعنی ۱۳ درصد به سمت رطوبت بهینه (۱۷ درصد) ادامه یابد، مقادیر مدول الاستیسیته به شدت کاهش می‌یابد. این کاهش میانگین برای تمامی تراکم‌ها در حدود ۸۲ درصد می‌باشد. لازم به توضیح است که این کاهش ناشی از افزایش لغزندگی بین ذرات خاک و کاهش اصطکاک آنها است. این بدان معنی است که در رطوبت بهینه با اعمال تنش، ذرات خاک به راحتی بر روی یکدیگر لغزیده و تغییر شکل زیادی را به وجود می‌آورند. از سوی دیگر هنگامی که رطوبت خاک به بیش از مقدار بهینه خود می‌رسد، از شیب نمودار کاسته شده و تاثیر افزایش رطوبت کاهش می‌یابد. علت این امر قرارگیری آب در بین ذرات خاک می‌باشد، که مانع از فشردگی بیشتر خاک می‌گردد. لازم به ذکر است که مقدار مدول الاستیسیته در تراکم ۱۰۰ درصد و در رطوبت ۱۳ درصد با افزایش ماسه حدود ۵۱ درصد کاهش می‌یابد. البته ذکر این نکته ضروری است که کاهش مدول الاستیسیته با افزایش ماسه در تمامی تراکم‌ها روند مشابهی را به همراه دارد. به بیان ساده‌تر می‌توان نتیجه‌گیری نمود که خاک در رطوبت‌های کمتر از بهینه به حداکثر مقدار مدول الاستیسیته خود رسیده و تا رسیدن به رطوبت بهینه از مقدار آن به طور دائم کاهش می‌یابد. اما پس از رسیدن به رطوبت بهینه و افزایش آن به مقادیر بالاتر، مدول الاستیسیته تقریباً ثابت می‌شود. اما مطابق با آنچه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود با اضافه کردن ماسه به خاک رسی در یک رطوبت مشخص مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد. دلیل کم شدن مدول الاستیسیته در نمونه‌های رس- ماسه را می‌توان در خاصیت واگرایی ماسه جستجو کرد. به گونه‌ای که این خاصیت واگرایی ماسه باعث می‌شود که در بین ذرات خاک گسستگی ایجاد شده و با اعمال تنش‌های کمتر، تغییر شکل‌های گسترده‌تری در خاک مشاهده نمود که این موضوع را می‌توان کاملا در شکل‌های یاد شده مشاهده کرد. مطابق با نتایج بدست آمده در تراکم ۸۵ و ۱۰۰ درصد شکستگی و کاهش شدید مدول الاستیسیته به صورت آنی رخ داده حال آنکه برای تراکم ۹۵ درصد کاهش مدول الاستیسیته با شدت کمتری رخ داده است. به عبارت دیگر، تراکم‌های ۸۵ و ۱۰۰ درصد خاک رسی ماسه‌ای در رطوبت‌های کمتر، با تغییر شکل بیشتری مواجه می‌گردد. این موضوع به این دلیل رخ می‌دهد که در تراکم ۱۰۰ درصد قفل بست کاملی بین ذرات رخ داده که با اعمال تنش بیشتر ذرات ماسه به راحتی روی یکدیگر لغزیده و تغییر شکل آنی در خاک بوجود می‌آورد و در تراکم ۸۵ درصد، اعمال تنش اولیه باعث افزایش قفل و بست بین ذرات شده و تنش‌های بیشتر باعث می‌شود که ذرات به صورت دفعتی بر روی یکدیگر بلغزند و تغییر شکل زیادی را ایجاد نمایند. برای بررسی دقیق‌تر تفاوت معنی‌دار بین نتایج مدول الاستیسیته خاک رسی در مقایسه با خاک رسی- ماسه‌ای تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت پذیرفت. در این راستا نتایج این تحلیل در جدول (۶) آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- تحلیل آماری معنی‌دار بودن تفاوت‌های مدول الاستیسیته و مقاومت‌فشاری

نوع خاک	اطلاعات آماری	E clay	E clay-sand
E clay	Pearson Correlation	1	0.884
	Sig. (2-tailed)	--	.000
	N	15	15
E clay-sand	Pearson Correlation	0.884	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	--
	N	15	15
نوع خاک	اطلاعات آماری	σ_a clay	σ_a clay-sand
σ_a clay	Pearson Correlation	1	0.936
	Sig. (2-tailed)	--	0.000
	N	15	15
σ_a clay-sand	Pearson Correlation	0.936	1
	Sig. (2-tailed)	.000	--
	N	15	15

همانگونه که در جدول (۶) مشخص است، با توجه به نزدیک بودن ضریب همبستگی پیرسون به عدد ۱، همبستگی خوبی بین مدول الاستیسیته خاک رس و خاک رسی ماسه‌ای وجود دارد. در رابطه با معنی‌داری تفاوت مقادیر مدول الاستیسیته بدست آمده در دو حالت خاک رسی و رسی ماسه‌ای، چون عدد معنی‌داری، مقداری کمتر از ۰/۰۱ دارد، پس در سطح معنی‌دار یک درصد، تفاوت‌ها معنی‌دار می‌باشد. این تحلیل برای مقاومت‌فشاری نیز صادق است.

نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه که دراین پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج حاصل از آن در بندهای زیر خلاصه شده است:

- بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق مشخص گردید مدول الاستیسیته دقیقاً در رطوبت بهینه در هر سه تراکم تقریباً برابر است، بنابراین می‌توان نتیجه گیری نمود که می‌توان در پروژه‌های عمرانی برای کاهش هزینه‌ها، خاک منطقه را در وضعیت رطوبت بهینه و تراکم ۹۵ درصد متراکم نمود.
- در تراکم ۹۵ درصد شکستگی و کاهش شدید مدول الاستیسیته به صورت ناگهانی رخ نداده است، لذا توصیه می‌گردد در پروژه‌های عمرانی از این تراکم استفاده گردد.
- رطوبت بیشتر از رطوبت بهینه تاثیر تراکم بر مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. در تراکم ۱۰۰ درصد شیب نمودار تغییرات مقاومت محوری در مقابل تراکم، به طور متوسط ۲/۴ برابر تراکم ۹۵درصد و ۷ برابر تراکم ۸۵ درصد است. به عبارت دیگر با افزایش رطوبت شدت کاسته شدن مقاومت فشاری در تراکم‌های بالاتر بسیار بیشتر از شدت کاسته شدن در تراکم‌های پایین‌تر است.
- در رطوبت بهینه، مقادیر مدول الاستیسیته هر سه تراکم تقریباً برابر می‌شود و پس از رطوبت بهینه کلیه نمودارها بر هم منطبق می‌شوند. به عبارت دیگر در رطوبت بهینه

Archive of SID

www.SID.ir

و بیشتر از آن مقادیر مدول الاستیسیته تابعی از تراکم نمی‌باشد.

- در خاک رسی با افزایش رطوبت از ۴ درصد کمتر از رطوبت بهینه تا مقدار رطوبت بهینه مدول الاستیسیته به شدت کاهش می‌یابد. این میزان کاهش به طور میانگین در حدود ۸۲ درصد می‌باشد.
- مقدار مدول الاستیسیته در تراکم ۱۰۰ درصد و در رطوبت ۱۳ درصد با افزایش ماسه حدود ۵۱ درصد کاهش می‌یابد.
- تراکم‌های ۸۵ و ۱۰۰ درصد خاک رسی ماسه‌ای در رطوبت‌های کمتر، با تغییر شکل بیشتری مواجه می‌گردد.
- مطابق با نتایج بدست آمده در تراکم ۸۵ و ۱۰۰ درصد شکستگی و کاهش شدید مدول الاستیسیته به صورت آنی رخ داده حال آنکه برای تراکم ۹۵ درصد کاهش مدول الاستیسیته با شدت کمتری رخ داده است. به عبارت دیگر، خاک رسی ماسه‌ای با تراکم ۹۵ درصد تغییر شکل کمتری را نسبت به سایر تراکم‌ها به همراه خواهد داشت. یعنی بهترین تراکم برای خاک رسی ماسه‌ای برای جلوگیری از تغییر شکل ناگهانی در اثر تنش‌های وارده تراکم ۹۵ درصد می‌باشد.
- به طور متوسط مقدار مقاومت فشاری رس در تراکم ۱۰۰ درصد ۱/۶ برابر رس- ماسه است. این مقدار برای تراکم ۹۵ درصد و ۸۵ درصد به ترتیب ۰/۷۸ و ۱/۱ برابر است.
- در یک رطوبت یکسان، تراکم ۹۵ درصد مقدار مقاومت فشاری بیشتری در خاک رسی- ماسه نسبت به خاک رسی حادث می‌گردد، این موضوع نشان می‌دهد که در صورت اضافه شدن ماسه، تراکم ۹۵ درصد مقاومت قابل قبول و در عین حال اقتصادی را نتیجه خواهد داد.
- پیشنهاد می‌گردد اثر سایر مواد مانند خاکستر یا مواد پلی کربنیک نیز بر مدول الاستیسیته خاک رسی مسئله دار نیز بررسی شود.

فهرست منابع

۱) دریایی م. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر افزایش ماسه در مقاومت مخلوط خاک آهک در زیر سازی سازه‌های آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۵ صفحه.

2) ASTM Standard D698. 1991. Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM International, West Conshohocken, PA.

3) Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). 1988. Literate in road pavements., TRRL, London, Special Publication 47.

4) Dean Sun S. Wenjing Sun S. Li Xiang L. 2010. Effect of degree of saturation on mechanical behavior of unsaturated soils and its elasto-plastic simulation. Journal of Computers and Geotechnical Vol. 37, Issue 5, pp. 678-688.

5) Kamon M. and Nontananandh S. 1991. Combining industrial wastes with lime for soil stabilization. Journal of Geotechnical Engineering, Vol.117, No.1, pp.1-117.

6) Sheng D. C. Sloan S. W. and Gens A. 2004. A constitutive model for unsaturated soils: thermo mechanical and algorithmic aspects. Journal of Computational Mechanics, Vol.33, No.6, pp.453-465.

7) Kima D. Sagongb M. Yonghee L. 2005. Effects of fine aggregate content on the mechanical properties of the compacted decomposed granitic soils. Journal of

Archive of SID

www.SID.ir

Construction and Building Materials Vol.19, No.3, pp.189-196.

8) Kumar A. B. Walia S. and Bajaj A. 2007. Influence of fly Ash, Lime, And polyester Fibers on Compaction and Strength Properties Soil. ,journal of Materials in Civil Engineering, vol.19No 3, pp 242-248.

9) Gitau A. N. Gumbe L. O. Biamah E. K. 2006. Influence of soil water on stress–strain behavior of a compacting soil in semi-arid Kenya. Journal of Soil and Tillage Research, Vol.89, No.2, pp.144-154.

10) Naser A. Al-Shayea A. 2001. The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. Journal of Engineering Geology, Vol.62, No.4, pp.319-342.

11) Eko R. M. 2005. Use of tri-axial stress state framework to evaluate the mechanical behavior of an agricultural clay soil. Journal of Soil and Tillage Research, Vol.81, No.1, pp.71-85.

12) Pytkaa J. Dabrowski J. 2001. Determination of the stress–strain relationship for sandy soil in field experiments. Journal of Terramechanics Vol.38, No.4, pp. 185-200.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of compaction test component on development of stress-strain in the clay soil in comparison with sandy-clay soil

Javad Ahadian [1*], Amin Salemnia [2] and Mahmood Karimi [3]

1*) Assist. Prof. of college of water and sciences engineering, Shahid Chamran University, Corresponding author: email: ja_ahadiyan@yahoo.com
2) M.Sc. graduated of water structures, Shahid Chamran University
3) M.Sc. graduated of river engineering, Shahid Chamran University

Abstract

Soil strength and elasticity modules are important parameters in the engineering characteristics of soils. Bearing capacity is increased by soil strength. Elasticity module determines the potential of soil deformation. In this experiment, stabilization of problematic clay soils using sands were investigated. The samples were prepared with variable soil moisture and compaction, and were tested in single-axis compression apparatus in the soil mechanics laboratory of Shahid Chamran University (SCU) in Khuzistan province. The samples were tested with soil moistures as follows: optimum humidity; 2% and 4% less than optimum; and 2% and 4% more than optimum moisture. The compaction of applied, R.C, were equal to 85, 95 and 100 percents. Using the obtained data, the soil strength and elasticity modules were calculated. Our findings show that for all in clay and sandy-clay samples tested increasing moisture lead to decrease of soil strength. However, reduction of soil strength in the sandy-clay sample is more than problematic clay soils samples. Results of these experiments regarding the moisture change from 4% less than optimum to 4% more than optimum, decreased soil strength of problematic clay soil, approximate 84%, while, for sandy-clay soil it was about 93 percents. Moreover, decreasing of elasticity module in sandy clay samples with 100% compaction and 13% moisture is approximately 51 percents.

Keywords: elasticity module; moisture; sand; soil strength; strain

Archive of SID

www.SID.ir