

مطالعه مقایسه‌ای ویژگیهای مکانیکی چهار نمونه از ماسه‌های کربناته سواحل جنوبی ایران

محمد رضا رسولی^۱، محمود حسنلوراد^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۲- استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

hassanlou@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۵/۲۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۵/۲۴]

چکیده- با توجه به رفتار برشی متفاوت ماسه‌های کربناته از سیلیکاته در برابر بارهای وارد شده و تنوع زیاد آن‌ها در اقصی نقاط دنیا و خلیج فارس و دریای عمان، در این مقاله رفتار برشی چهار نمونه از ماسه‌های کربناته اسکلتی حاصل از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان بررسی شده است و پارامترهایی مانند دانه‌بندی، ویژگی‌های فیزیکی، تصاویر میکروسکوپی، فشردگی پذیری، رفتار برشی سه محوری زهکشی شده، مدول الاستیسیته و زاویه اصطکاک داخلی به صورت آزمایشگاهی بررسی می‌شود. ملاحظه شد که ماسه‌های کربناته با وجود داشتن یک سری ویژگی رفتاری مشابه با هم و با دیگر نمونه‌های پژوهش شده در جهان، به لحاظ رفتار حجمی و تنش کرنشی وابسته به شکل دانه‌ها، دانه بندی اولیه، مقدار خردشگی دانه‌ها، میزان نسبت منافذ درون دانه‌ای و بین دانه‌ای، دانسیته نسبی، تنش‌های محصور کننده، درصد کربنات کلسیم و شرایط خاص محیط رسوب است. زاویه‌دار بودن دانه‌های اسکلتی موجب افزایش قفل‌شدگی اسکلت خاک و در نتیجه افزایش زاویه اصطکاک داخلی ماسه‌ها نسبت به ماسه‌های کوارتزی می‌شود. برعکس ماسه‌های کوارتزی با افزایش تنش محصور کنندگی مدول الاستیسیته پیوسته افزایش نمی‌یابد، بلکه ابتدا این مقدار افزایش یافته و سپس به خاطر خاصیت خرد شدگی دانه‌ها در این ماسه‌ها دچار افت شده و یا ثابت می‌شود.

واژگان کلیدی: ماسه‌های کربناته، آزمایش سه محوری، رفتار برشی، خلیج فارس، دریای عمان.

۱- مقدمه

۲۵ فوت در خاک سیمانی شده‌ای فرو رفت به ناگهان در طول و عمقی برابر با ۵۰ فوت بدون هیچ مقاومتی تقریباً سقوط آزاد کرد [۱].
مواد و مصالح کربناتی به شکل‌های مختلفی در طبیعت وجود دارند و بیشتر از کربنات کلسیم یا دیگر کربنات‌ها با دانه‌هایی نرم که ضعیف بوده و به راحتی می‌شکنند، تشکیل شده‌اند. این خاک‌ها در مهندسی فراساحل از اهمیت خاص برخوردارند.
از اوایل دهه ۷۰ میلادی تاکنون پژوهش‌های بسیار گسترده‌ای در سطح جهان برای شناسایی ویژگی‌های مهندسی ماسه‌های کربناتی در سراسر جهان صورت گرفته است. پارامترهای

توجه عمومی به خاک‌های کربناتی از اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی شروع شد. وقتی اولین گمانه در خلیج فارس بستر دریا را شکافت و با خود لایه‌های این نوع خاک را به همراه ماسه و صدف بیرون کشید. البته در ابتدا مقدار زیاد کربنات این خاک-ها تشخیص داده نشد.
اولین آگاهی از رفتار منحصر به فرد این نوع خاک هنگام عملیات کوبیدن شمع در دوران ساخت سکوی نفتی در خلیج فارس در جزیره لاوان در سال ۱۹۶۸ حاصل شد. در این عملیات لوله‌هایی به قطر ۳۰ اینچ پس از آن که در ابتدا حدود

در این مقاله، رفتار برشی و برخی ویژگی‌های ژئوتکنیکی چهار مورد از ماسه‌های کربناته حاصل از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان بررسی می‌شود. چرا که با وجود مشاهده این رسوبات در بخش‌های وسیعی از حوزه خلیج فارس و سواحل شمالی آن، خیلی از مهندسان شناخت کافی از رفتار برشی و ویژگی‌های مهندسی این رسوبات ندارند و پژوهش محدودی روی ویژگی مهندسی رسوبات کربناتی این نقطه از جهان صورت گرفته است [۳، ۲۵، ۲۶].

۲- پارامترهای مهم در مهندسی

تا به حال روش‌های آزمایشگاهی و یا برنامه مطالعاتی صحرایی مشخصی برای به دست آوردن پارامترهای متناسب برای طراحی پی‌ها در خاک‌های کربناته ارائه نشده است. با این وجود انجام برخی از آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی می‌تواند مفید باشد. انجام کمینه آزمایش‌هایی که موارد زیر را تعیین نماید لازم است [۲۷].

- ۱- ترکیب ماسه، به ویژه درصد کربنات کلسیم.
 - ۲- منشاء ماسه‌ها برای جدا نمودن رسوبات اسکلتی و غیراسکلتی
 - ۳- خصوصیات دانه‌ها مانند زاویه‌داری، تخلخل و نسبت منافذ اولیه
 - ۴- قابلیت فشردگی ماسه‌ها (به کمک آزمایش تحکیم)
 - ۵- پارامترهای مقاومتی ماسه‌ها، به ویژه زاویه اصطکاک داخلی
 - ۶- سیمانه شدگی، حداقل به صورت کیفی
- تاثیر وجود دانه‌های کربناتی بر رفتار مهندسی خاک و سازه اهمیت ویژه‌ای دارد. در جدول (۱) اثر وجود درصد کربنات کلسیم بر رفتار خاک ارائه شده است [۲۸].

جدول (۱) اثر مقدار کربنات بر رفتار خاک

تأثیر	مقدار کربنات
می‌تواند مشکلات جدی ایجاد کند.	> ۵۰٪
کمی تأثیر دارد.	۳۰٪ > یا * ۲۰-۱۵٪ >
خاک را سیلیکاتی در نظر می‌گیرند.	< ۱۰٪

* مطابق با نظر API RP2A (۱۹۹۳)

مختلف رفتاری از جمله رفتار تنش- کرنش، مقاومت برشی، زاویه اصطکاک داخلی، رفتار حجمی، مدول الاستیسیته و برشی، ضریب پواسون، تاثیر درصد کربنات و شکل دانه‌های کربناتی و غیره انجام گرفته است [۲-۱۲]. این پژوهش‌ها شامل دو دسته پژوهش میدانی و آزمایشگاهی است.

نتایج نشان می‌دهد که رفتار ماسه‌های کربناتی متفاوت از ماسه‌های کوارتزی است [۱۳]. ماسه‌های کربناته بیشتر دارای زاویه اصطکاک بیشتر از ماسه‌های کوارتزی است [۳، ۱۴ و ۱۵]. در سال ۱۹۹۰، داس نشان داد که ماسه‌های با دانه‌های زاویه‌دار به دلیل اثر قفل و بست بین دانه‌های دارای زاویه اصطکاک بالاتری هستند [۱۶]. با این حال بسیج مقاومت، حداکثر در این گونه از ماسه‌ها نیازمند تغییر شکل‌های زیاد است که این مسئله می‌تواند باعث بروز مشکلاتی در سازه‌های ساحلی و فراساحلی شود [۱۸ و ۱۹]. علاوه بر زاویه اصطکاک داخلی بالا، ماسه‌های کربناته به عنوان ماسه‌هایی با نسبت منافذ نسبتاً زیاد، قابلیت خردشدگی بالای ذرات در برابر بارهای اعمالی و قابلیت فشردگی بالا در ادبیات ژئوتکنیک شناخته می‌شوند [۱۳ و ۱۷].

خردشوندگی و قابلیت فشردگی بالا در ماسه‌های کربناته باعث کاهش مقاومت نوک و جدار در شمع‌ها و کاهش مقدار تنش جانبی علی‌رغم زاویه اصطکاک بالا شده است [۱۸، ۲۰ و ۲۱].

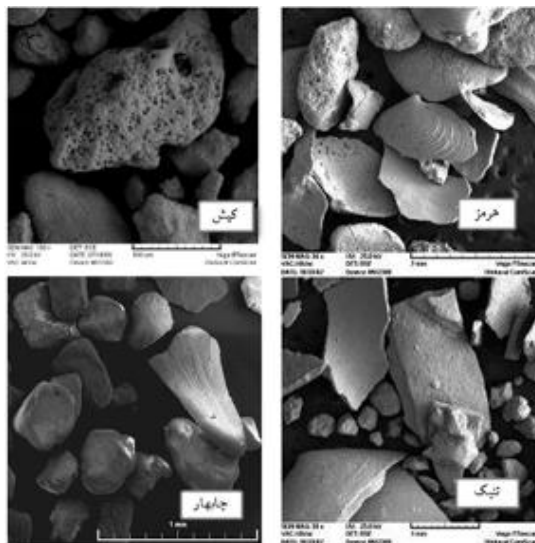
این ماسه‌ها در طبیعت به دو شکل سیمانه و غیر سیمانه یافت می‌شوند. سیمانه شدگی در ماسه‌های کربناته شامل فرآیند شیمیایی پیچیده‌ای است که وابستگی شدیدی به شرایط محیط رسوب، شامل زمان، دما، فشار محصور کننده و مواد شیمیایی محلول در آب دارد [۲۲]. سیمانه شدگی رفتار ماسه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد و سبب افزایش مقاومت دینامیکی و استاتیکی و افزایش سختی اولیه آن‌ها می‌شود [۲۳ و ۲۴].

از آن جا که ماسه‌های کربناتی برخلاف ماسه‌های سیلیکاته رفتارشان شدیداً وابسته به محل رسوب است، رفتار برشی ماسه‌های نواحی مختلف دنیا با وجود داشتن بعضی ویژگی‌های مشترک در بیشتر موارد دارای تفاوت‌های شگرفی با یکدیگر است. بنابراین بسیاری از ویژگی‌های مهندسی ماسه‌های کربناتی بخش‌هایی از جهان که پژوهش‌های کمتری روی آن‌ها صورت گرفته از دید مهندسان ژئوتکنیک ناشناخته مانده است.

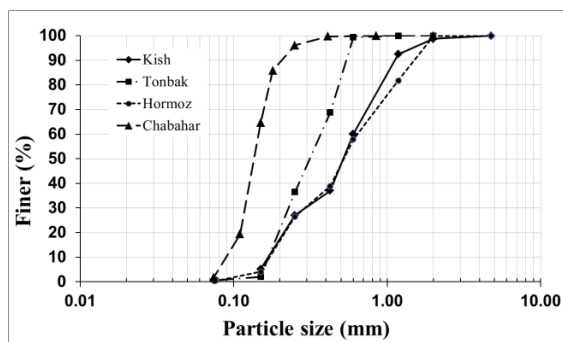
بوده و نسبت به سه ماسه دیگر ریزدانه تر است ولی دانه‌های آن به لحاظ شکل به ماسه کیش شباهت بیشتری دارد.



شکل (۱) محل تهیه ماسه‌ها



شکل (۲) تصویر میکروسکوپ الکترونیکی ماسه‌ها



شکل (۳) منحنی دانه بندی ماسه‌های آزمایش شده

۳- ماسه‌های استفاده شده در این پژوهش

ماسه‌های مورد بررسی در این پژوهش از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان تهیه شده است. این ماسه‌ها شامل ماسه هرمز (به دست آمده از شمال جزیره)، ماسه کیش (ساحل شرقی جزیره) واقع در استان هرمزگان، ماسه تنبک (از فاصله حدود ۲۵۰ کیلومتری شرق شهر بوشهر) و ماسه چابهار از ۷۰ کیلومتری غرب بندر تجاری چابهار (شمال دریای عمان) به دست آمده است. نمونه‌های آزمایش شده در این پژوهش همگی از نوع غیر سیمان‌بند هستند.

شکل ۱ محل تقریبی نمونه‌گیری چهار ماسه یاد شده را نشان می‌دهد. در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی چهار ماسه نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که هر چهار ماسه دارای ساختار اسکلتی است. ماسه کیش دارای دانه‌های نسبتاً گرد و حجمی به همراه مقداری تخلخل درون و سطح دانه‌ها، ماسه‌های هرمز و تنبک مرکب از دانه‌های زاویه دار و صفحه‌ای و ماسه چابهار نیز به صورت ترکیبی از دانه‌های متخلخل گرد، صفحه‌ای و میله‌ای بوده و نسبت به سه ماسه قبل ریزدانه‌تر است.

منحنی دانه بندی چهار ماسه در شکل ۳ و سایر ویژگی‌های آنها مانند توده ویژه، نسبت منافذ کمینه و بیشینه و درصد کربنات کلسیم در جدول ۲ خلاصه شده است. با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که چهار ماسه خصوصیات فیزیکی متفاوتی دارند. این موضوع به نوعی نشان دهنده اثر متفاوت شکل و دانه‌بندی ماسه‌ها است. ماسه کیش به دلیل اینکه بیشتر دانه‌های آن گرد و نیمه‌گرد است میل به تراکم بیشتر و حصول نسبت منافذ کمتری دارد (شکل ۲). ولی سه ماسه بعدی به دلیل اینکه دارای دانه‌های صفحه‌ای و میله‌ای هستند تمایل به ایجاد ساختار ست‌تری دارند.

شکل ۳ نشان می‌دهد که دو ماسه کیش و هرمز دارای دانه بندی نسبتاً مشابهی است ولی نسبت منافذ ماسه هرمز ۱/۲۶ تا ۱/۳۶ برابر ماسه کیش (به ترتیب در حالت متراکم و سست) است. این موضوع اثر شکل دانه‌ها را روی خاصیت تراکم-پذیری خاک نشان می‌دهد. ماسه چابهار یک ماسه یکنواخت

۴- برنامه انجام آزمایش‌ها

اندازه دانه‌ها و سخت‌تر بودن شکستن آنها، تغییر در شیب نمودار در تنش بالاتر (حدود ۲MPa) رخ می‌دهد. در ماسه کیش چنین روند مشخصی محسوس نیست. در این ارتباط یادآور می‌شود که ماسه کیش نسبت به ماسه هرمز دارای دانه‌های حجمی و پایدارتر با نسبت منافذ اولیه کمتری ($e_{max} = 0.717$) بوده و ماسه هرمز دارای دانه‌های پوستره‌ای با نسبت منافذ اولیه بیشتر ($e_{max} = 0.975$) می‌باشد. همچنین ماسه چابهار دارای ترکیبی از دانه‌های صفحه و حجمی، با نسبت منافذ اولیه حداکثر تقریباً برابر ماسه هرمز و بیش از ماسه کیش است ($e_{max} = 0.982$).

۵- رفتار برشی سه محوری

۵-۱- رفتار تنش - کرنش

در شکل ۵ رفتار تنش کرنش چهار ماسه کربناته کیش (K)، هرمز (H)، تنبک (T) و چابهار (C) در حالت سست (دانسیته نسبی قبل از تحکیم ۲۰٪) تحت تنش‌های محصور کننده kPa ۱۰۰ و kPa ۶۰۰ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در تنش‌های محصور کننده kPa ۱۰۰ رفتار تنش-کرنش سه ماسه کیش، تنبک و هرمز خیلی به هم نزدیک است ولی ماسه چابهار نسبت به آنها مقاومت کمتری را از خود نشان داده است. تحت تنش‌های محصور کننده kPa ۶۰۰ نیز به نوعی این رفتار ملاحظه می‌شود با این تفاوت که افزایش تنش محصور کننده منجر به افزایش اختلاف رفتار و مقاومت برشی نمونه‌ها شده است.

روی ماسه‌های انتخابی دو سری آزمایش انجام شد. یک سری آزمایش تحکیم اودنومتر و یک سری آزمایش سه محوری تحکیم یافته-زهکشی شده (CD). نمونه‌ها با دو دانسیته نسبی ۲۰ و ۸۰ درصد (قبل از تحکیم) به روش ریزش خشک ساخته شدند. نمونه‌ها استوانه‌ای به قطر ۳/۸ cm و ارتفاع ۷/۶ cm انتخاب شد. برای ایجاد نمونه‌های همگن با دانسیته نسبی مشخص، خاک به سه لایه تقسیم شده و هر لایه به صورت جداگانه با نسبت وزنی مشخص به داخل قالب ریخته و با زدن ضربه‌های ملایم به کمک چکش پلاستیکی به قالب ساخته شدند. نمونه‌ها به صورت اشباع با درجه اشباع شدگی بالای ۹۵٪ آزمایش شدند. برای تسریع عمل اشباع نمونه، قبل از عبور آب مقطر از نمونه، اقدام به عبور گاز دی اکسید کربن از آن شده و با اعمال پس فشاری در حدود ۲۰۰ kPa اشباع شدند. برای بررسی فشردگی پذیری آزمایش تحکیم به صورت یک بعدی تا تنش‌های نرمال حدود ۴ MPa بارگذاری شدند. نمونه‌های سه محوری تحت تنش‌های محصور کننده از ۵۰ kPa تا ۶۰۰ kPa مورد آزمایش قرار گرفتند. در کل ۶ آزمایش تحکیم و ۵۶ آزمایش سه محوری روی نمونه‌ها انجام شده است. بیشتر در حالت سست به دلیل نسبت منافذ اولیه بالا و شکستگی بیشتر دانه‌ها در این حالت دارد. با توجه به شکل ۴-الف شیب منحنی ماسه هرمز در تنش‌های قائم نزدیک به ۱MPa دچار تغییر شده است؛ این موضوع نشان می‌دهد که در تنش یاد شده به دلیل شکست دانه‌ها کاهش حجم نمونه تشدید می‌شود، در حالی که در ماسه چابهار به دلیل کوچک‌تر بودن

جدول (۲) مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده

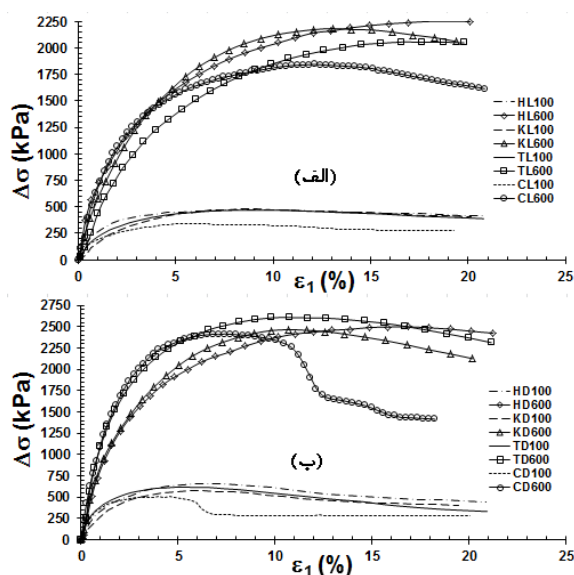
نمونه	Gs	e_{min}	e_{max}	CaCO ₃ %	c_c	c_u	سیمانه شدگی	طبقه بندی متحده	شکل دانه‌ها
کیش	۲/۶۸	۰/۵۰۹	۰/۷۱۷	۹۳	۳/۳۳	۰/۸۳	غیر سیمانه	SP	نیمه گرد و متخلخل
تنبک	۲/۶۹	۰/۶۸	۰/۹۷۵	۷۴/۷۵	۲/۱۱	۰/۷۷	غیر سیمانه	SP	زاویه دار و صفحه‌ای
هرمز	۲/۷۰	۰/۶۴۳	۰/۹۷۵	۹۵/۳	۳/۳۳	۰/۸۳	غیر سیمانه	SP	زاویه دار و صفحه‌ای
چابهار	۲/۷۲	۰/۸۶۵	۰/۹۸۲	۴۶/۷	۱/۱۳	۱/۵۴	غیر سیمانه	SP	نیمه گرد، صفحه‌ای و میله‌ای

نسبی منجر به افزایش مقاومت برشی نمونه‌ها و اختلاف بین آنها شده است. در حالت متراکم نیز ماسه چابهار نسبت به سه ماسه دیگر مقاومت کمتر و میزان نرم شونده‌گی کرنش بیشتری از خود نشان داده است. همچنین افزایش تنش محصور کننده مقدار نرم شونده‌گی را تشدید نموده است.

در شکل ۶ مقدار سختی بیشاب که به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود در مقابل تنش محصور کننده اولیه نشان داده شده است که بیانگر مقدار نرم شونده‌گی بعد نقطه اوج در نمونه‌ها است

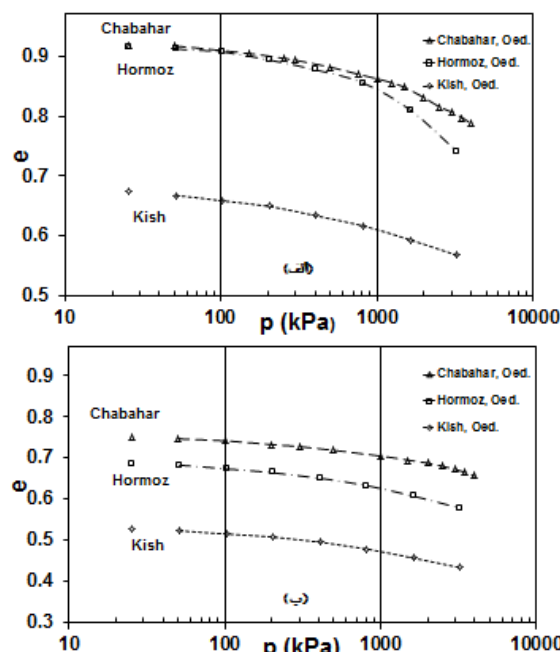
$$I_B = (q_{max}/q_{ult}) - 1 \quad (1)$$

در رابطه فوق I_B شاخص تردی بیشاب، q_{max} بیشینه مقاومت برشی و q_{ult} مقاومت نهایی در انتهای آزمایش است.



شکل ۵) تنش انحرافی در برابر کرنش محوری: (الف) نمونه‌های سست (ب) نمونه‌های متراکم

ملاحظه می‌شود که این ماسه‌ها حتی در حالت سست دارای رفتار نرم شونده است و در تنش‌های محصور کننده کم و نمونه‌های متراکم شاخص تردی تا نزدیک ۰/۹ هم رسیده است. به گونه کلی با افزایش دانسیته نسبی، میزان نرم شونده‌گی بعد نقطه اوج افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تنش محصور کننده، از میزان نرم شونده‌گی کاسته شده و رفتار به سمت

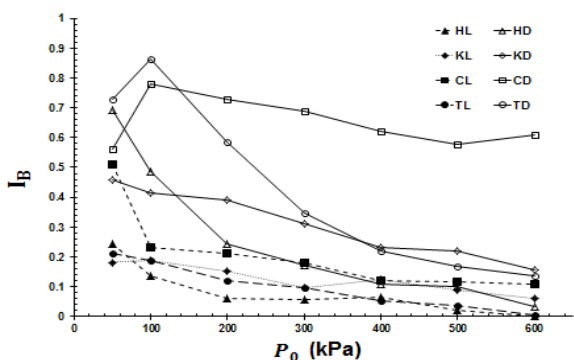


شکل ۶) تغییرات نسبت منافذ در برابر تنش نرمال در آزمایش تحکیم اذیوتری (الف) سست (ب) متراکم

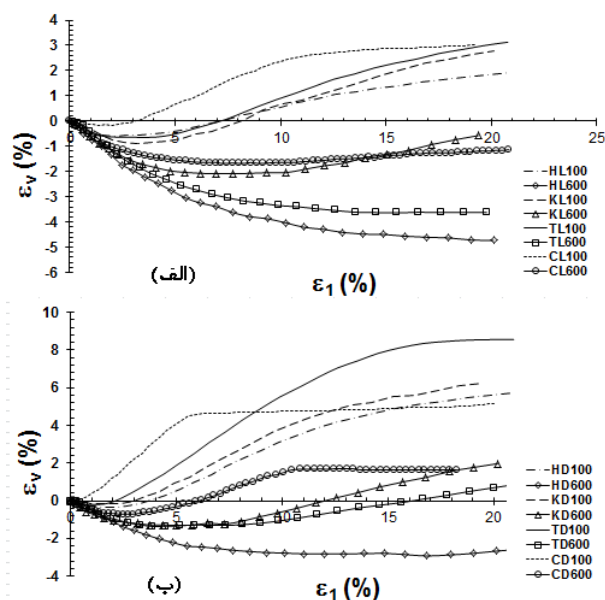
لازم به توضیح است که شکل گسیختگی نمونه‌ها در تنش‌های محصور کننده پایین بیشتر به شکل ایجاد ناحیه برشی و در تنش‌های بالا و نزدیک به ۶۰۰ kPa به شکل خمیره‌ای ملاحظه شد.

به نظر می‌رسد علت کم بودن مقاومت ماسه چابهار، ریزتر بودن اندازه دانه‌های آن و کمتر بودن قفل و بست دانه‌ها باشد. هر چند پتانسیل‌های خرد شدگی متفاوت دانه‌ها نیز در این موضوع دخیل است. نکته قابل توجه دیگر سخت شونده بودن رفتار دو ماسه تنبک و هرمز است در حالی که ماسه‌های کیش و چابهار دچار نرم شونده‌گی کرنش شده‌اند که البته مقدار نرم شونده‌گی در ماسه چابهار شدیدتر است. علت این امر را می‌توان یکنواخت بودن دانه‌بندی و از بین رفتن اتساع در ماسه چابهار دانست. چرا معمولاً که اتساع با اعمال کرنش‌های بیشتر از بین می‌رود و رفتار به سمت حجم ثابت پیش می‌رود. در شکل ۵ ب رفتار تنش-کرنش چهار ماسه کربناته کیش، هرمز، تنبک و چابهار در حالت متراکم (دانسیته نسبی قبل از تحکیم ۰/۸۰) تحت تنش‌های محصور کننده ۱۰۰ kPa و ۶۰۰ kPa نشان داده شده است. رفتار مشاهده شده در حالت سست به نوعی در اینجا نیز تکرار شده است با این تفاوت که افزایش دانسیته

وضعیت می‌تواند به خاطر اثر توام دانه بندی گستره، دانه‌های صفحه‌ای با قابلیت خرد شدگی و نسبت منافذ اولیه بالای این ماسه‌ها باشد.



شکل (۶) شاخص تردی بیشاب در برابر تنش محصور کننده اولیه



شکل (۷) کرنش حجمی در برابر کرنش محوری
(الف) حالت سست (ب) حالت متراکم

مطابق با شکل ۷-ب، هر چهار ماسه در حالت متراکم رفتار اتساعی دارند ولی مقدار اتساع در آنها متفاوت است. افزایش تنش‌های محصور کننده (۶۰۰ kPa) مقدار اتساع را کاهش داده است، اما توانسته است رفتار کلی را عوض نموده و انقباضی نماید. از ماسه‌های مورد بررسی، رفتار ماسه چابهار متفاوت‌تر از بقیه است به شکلی که بعد از مقداری اتساع، تغییرات حجم آن تقریباً ثابت شده است و همچنان باید گفت این موضوع به دلیل دانه بندی یکنواخت و ریز آن است.

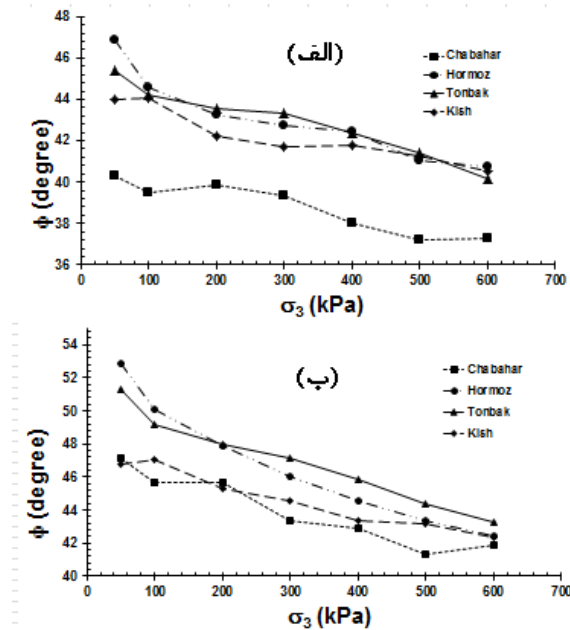
سخت شونده‌گی پیش می‌رود هر چند تا تنش محصور کننده ۶۰۰ kPa همچنان رفتار نرم شونده ملاحظه می‌شود و فقط برخی از ماسه‌ها رفتار سخت شونده از خود نشان داده‌اند (ماسه هرمز). نکته دیگر، نرخ متفاوت کاهش نرم شونده‌گی نمونه‌های مختلف است. برای مثال در حالت متراکم ماسه‌های چابهار و کیش رفتار نسبتاً مشابهی دارند و ماسه‌های هرمز و تنبک نیز مشابه هم رفتار می‌نمایند. یادآور می‌شود که مشابهت شکل دانه‌های این ماسه‌ها نیز همین طور است هر چند که مقادیر نرم شونده‌گی آنها متفاوت است. ظاهراً هر چقدر شکل دانه‌ها صفحه‌ای‌تر باشد اثر تنش محصور کننده روی کاهش نرخ رفتار نرم شونده‌گی بیشتر است (ماسه هرمز و تنبک).

۵-۲- رفتار تغییرات حجمی

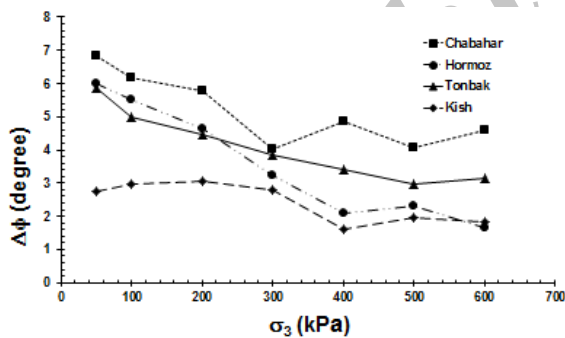
طبق شکل ۷-الف، هر چهار ماسه (در حالت سست) تحت تنش محصور کننده ۱۰۰ kPa ابتدا دچار انقباض و سپس دچار اتساع شده‌اند. هر چند مقادیر کرنش حجمی و نرخ انقباض و اتساع در آنها متفاوت است. پاسخ حجمی ماسه چابهار متفاوت‌تر از بقیه است و ابتدا اتساع بیشتری را نشان داده و سپس نرخ اتساع آن تقریباً از بین رفته است. همان‌گونه که گفته شد این پدیده می‌تواند به دلیل یکنواخت بودن دانه بندی و ریز بودن دانه‌های آن باشد که از انقباض خاک جلوگیری می‌نماید. با افزایش تنش‌های محصور کننده (۶۰۰ kPa) اختلاف بین رفتار حجمی نیز مانند رفتار تنش-کرنش بیشتر شده است. تحت تنش محصور کننده ۶۰۰ kPa، ماسه چابهار و کیش (در حالت سست) با این که دانه‌بندی، اشکال و اندازه دانه‌ها و نسبت منافذ اولیه در آنها متفاوت است، بعد از مقداری انقباض و کاهش حجم دچار اتساع شده است و رفتار مشابهی دارند. شکل ۲ نشان می‌دهد که ماسه کیش دانه‌های نیمه کروی داشته و دارای کمترین نسبت منافذ اولیه است؛ پس به نظر می‌رسد در حین برش دچار کمترین خردشدگی و کاهش حجم شده است. دانه‌های ماسه چابهار نیز یکنواخت و ریز بوده و قابلیت خرد شدگی و انقباض کمتری دارند. دو ماسه تنبک و هرمز تا انتهای آزمایش رفتار انقباضی از خود نشان داده‌اند. این

۶- زاویه اصطکاک داخلی

هرمز که مقادیر نسبت منافذ مشابه دارند تقریباً مشابه یکدیگر است. این چنین استنباط می‌شود اثر دانسیته نسبی روی زاویه اصطکاک داخلی ماسه‌ها متأثر از مقادیر نسبت منافذ بیشینه و کمینه آن‌ها است. همچنین افزایش تنش محصور کننده اثر دانسیته را در تمام نمونه‌ها کاهش می‌دهد.



شکل (۸) زاویه اصطکاک داخلی در برابر تنش‌های محصور کننده (الف) حالت سست، (ب) حالت متراکم



شکل (۹) تفاضل زاویه اصطکاک داخلی حالت متراکم و سست

۷- مدول الاستیسیته

روش‌های مختلفی برای تعیین مدول الاستیسیته در خاک ارائه شده است که یکی از این روش‌ها مدول سکانت ۵۰ درصد است که به صورت نسبت نصف تنش انحرافی بیشینه تقسیم بر کرنش محوری مانند آن تعریف می‌شود.

در شکل ۱۰ مدول سکانت ۵۰ درصد برای ماسه‌ها در حالت

در شکل ۸- الف و ب زاویه اصطکاک داخلی چهار ماسه در برابر تنش‌های محصور کننده در دو حالت سست و متراکم نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود مقدار زاویه اصطکاک داخلی در این ماسه‌ها حتی در حالت سست نیز قابل توجه است (بیشتر از ۳۸ درجه). بنابراین به نظر می‌رسد به دلیل شکل خاص دانه‌های این ماسه‌ها که منجر به ایجاد یک قفل و بست ذاتی (حتی در حالت سست) می‌شود زاویه اصطکاک داخلی بیشتری نسبت به ماسه‌های سیلیکاتی دارند [۱۹، ۲۹، ۳۰]. ولی باید به خاطر داشت که حصول چنین مقاومت برشی احتمالاً متضمن کرنش‌های محوری و حجمی زیادی نسبت به ماسه‌های سیلیکاته است [۱۱]. به طور طبیعی با افزایش دانسیته نسبی مقدار زاویه اصطکاک داخلی هم افزایش می‌یابد. همچنین در تمامی نمونه‌ها در حالت سست و متراکم با افزایش تنش‌های محصور کننده زاویه اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد. با این وجود، نرخ کاهش آن در چهار ماسه متفاوت از همدیگر است. با توجه به اشکال دانه‌ها، ماسه چابهار به دلیل اینکه دارای دانه‌هایی با اندازه یکسان‌تر و کوچکتر (و احتمالاً درصد کربنات کمتر) از سایر ماسه‌ها است دارای زاویه اصطکاک کمتری نسبت به سایر ماسه‌ها (هم در حالت سست و هم متراکم) است. بنابراین می‌توان گفت اندازه دانه‌ها یکی از موارد موثر بر زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های ماسه‌ای است. به نظر می‌رسد در حالت متراکم افزایش تنش‌های محصور کننده باعث همگرا شدن زاویه اصطکاک داخلی ماسه‌ها شده و به نوعی اثر شکل دانه‌ها را کم اهمیت‌تر نموده است.

شکل ۹ تفاضل زاویه داخلی بیشینه بین دو حالت متراکم و سست را نشان می‌دهد. این شکل که اثر دانسیته نسبی را ارائه می‌دهد بیانگر این است که تغییرات دانسیته نسبی بیشترین تغییر را روی زاویه اصطکاک داخلی ماسه چابهار دارد و کمترین اثر را روی زاویه اصطکاک داخلی ماسه کیش نشان داده است. با توجه به جدول ۲ ماسه چابهار دارای بیشترین مقادیر نسبت منافذ و ماسه کیش کمتری مقادیر را دارد. همچنین اثر دانسیته روی زاویه اصطکاک دو ماسه تنبک و

تحت شرایط یکسان از نظر تراکم و تنش‌های محصور کننده نتایج زیر را نشان داد:

۱- ظاهراً ماسه‌های کربناته خلیج فارس و دریای عمان نسبت به ماسه‌های سایر نقاط جهان در محدوده ماسه‌های با قابلیت فشرده‌گی کم تا نسبتاً زیاد هستند.

۲- رفتار تنش- کرنش ماسه‌های کربناته عموماً نرم شونده بوده و متاثر از شکل هندسی دانه‌ها و قابلیت خردشدگی آنها، دانسیته نسبی اولیه، نسبت منافذ بیشینه و کمینه، تنش‌های محصور کننده و اندازه کرنش اعمالی است. ارائه یک قاعده کلی و صریح بین رفتار تنش- کرنش و پارامترهای مذکور سخت است ولی هر کدام از آنها دارای آثار قابل ملاحظه‌ای بوده و همچنین متاثر از همدیگر نیز است.

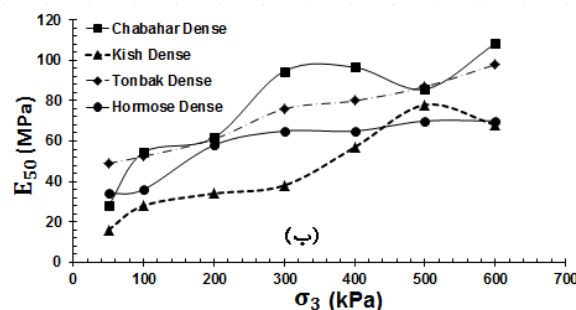
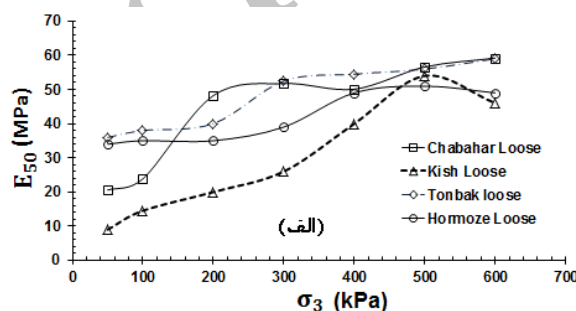
۳- محدوده تغییرات حجمی در این خاک‌ها (اتساع و انقباض) با توجه به شکل خاص دانه‌ها برجسته است و عموماً این ماسه-ها حتی در حالت سست میل به افزایش حجم دارند. این موضوع نشان از یک قفل بست ذاتی در این خاک‌ها دارد. بسته به شکل و مقدار زاویه داری دانه‌ها، منافذ داخل و بین دانه‌ای، اندازه دانه‌ها، تنش محصور کننده و مقدار خردشدگی دانه‌ها، مقادیر اتساع و انقباضی متفاوتی از این ماسه‌ها انتظار می‌رود.

۴- زاویه دار بودن دانه‌های اسکلتی موجب افزایش قفل‌شدگی اسکلت خاک و در نتیجه افزایش زاویه اصطکاک داخلی آن می‌شود. با این وجود بسیج کامل آن نیازمند کرنش‌های حجمی زیادی است. با افزایش تنش‌های محصور کننده مقدار زاویه اصطکاک داخلی کاهش می‌یابد.

۵- اثر افزایش دانسیته بر روی افزایش زاویه اصطکاک داخلی ماسه‌های کربناته وابسته به مقادیر نسبت منافذ ماسه‌ها، شکل آنها و همچنین مقدار شکنندگی دانه‌ها است. با این حال افزایش تنش‌های محصور کننده منجر به افت اثر دانسیته نسبی بر روی زاویه اصطکاک داخلی می‌شود.

۶- با افزایش فشار محصور کننده، مدول الاستیسیته این خاک‌ها ابتدا افزایش یافته و سپس دچار افت شده و یا ثابت می‌شود. تنش مانند افت مدول الاستیسیته تابع مشخصات دانه بندی، نسبت منافذ اولیه، شکل هندسی دانه‌ها و در نهایت قابلیت خرد شدگی دانه‌ها است. پس برعکس ماسه‌های کوارتزی نمی‌تواند

سست و متراکم در برابر تنش‌های محصور کننده اولیه ارائه شده است. با توجه به شکل با افزایش تنش محصور، ابتدا مدول الاستیسیته افزایش و سپس بسته به ماسه مورد نظر دچار افت شده و یا نرخ افزایش متوقف می‌شود. به عنوان نمونه این پدیده در ماسه کیش در تنش محصور کننده ۵۰۰ kPa و در ماسه چابهار در تنش محصور کننده حدوداً ۳۵۰ kPa رخ می‌دهد. در حالی که در ماسه‌های سیلیسی با افزایش تنش محصور معمولاً انتظار افزایش پیوسته مدول الاستیسیته وجود دارد (کمینه در محدوده تنش‌های بررسی شده در این پژوهش). افت مدول الاستیسیته و یا عدم افزایش آن را می‌توان به خرد شدن دانه‌های ماسه‌های کربناته نسبت داد.



شکل (۱۰) مدول الاستیسیته سکانت در ۵۰٪ تنش انحرافی بیشینه (الف)

حالت سست (ب) حالت متراکم

۸- نتیجه گیری

منشأ، کانی شناسی و شکل هندسی متفاوت ماسه‌های کربناته منجر به رفتار برشی متفاوت آنها نسبت به ماسه‌های کوارتزی می‌شود. خود این خاک‌ها نیز دارای تنوع زیادی در طبیعت از نظر سیمانی شدگی، دانه‌بندی، شکل هندسی دانه‌ها، قابلیت فشرده‌گی و رفتار برشی هستند. نتایج آزمایش‌های سه محوری تحکیم یافته- زهکشی شده بر روی چهار مورد از آنها که از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان به دست آمده بودند

"Yielding stress characteristics of carbonate sand in relation to individual particle fragmentation strength"; Engineering for calcareous sediments; 1999, Balkema, Rotterdam, pp 79-86.

- [14] Pizzimenti; P. B.; Silva; A. J.; "Stress-strain behaviour of surficial carbonate sediments"; Key West, Florida, USA, 1997, Vol. 15, pp 335-362.
- [15] Terzaghi; K.; "Theoretical soil mechanics"; Wiley, New York, 1943.
- [16] Das; B., M.; "Principles of geotechnical engineering; PWS-Kent Publishing Company, Boston, 1990, 2nd Edition.
- [17] Chuhan; F., A.; Kjeldstad; A.; Bjorlykke; K.; Hoeg; K.; "Experiment compression of loose sands: relevance to porosity reduction during burial in sedimentary basins"; Canadian Geotech. J.; 2003, No. 40, pp 995-1011.
- [18] Coop; M. R.; "The mechanics of uncemented carbonate sands"; Geotechnique; 1990, Vol. 40, No. 4, pp 607-626.
- [19] Golightly; C.R.; Hyde; A.F. L.; "Some Fundamental Properties of Carbonate Sands"; Preceding 1st International Conference on Calcareous Sediments; 1988, Perth, Australia, Vol. 1, pp. 69-78.
- [20] Coop; M. R.; Atkinson; J. H.; "Mechanics of cemented carbonate sands"; Geotechnique; 1993, Vol. 43, No. 1, pp53-67.
- [21] Poulos, H., G.; Lee; C., Y.; "Model tests on grouted piles in calcareous sediments"; Proceeding 1st International Conference on Calcareous Sediments; 1988, Perth, Australia, Vol. 1, pp. 225-260.
- [22] Demars; K.; Chaney; R.; "Geotechnical properties, Behavior and performance of Calcareous Soils"; Symposium Summary, Special Technical Publication; ASTM; 1982, No.777, pp. 395-404.

[۲۳] عدل؛ محمود رضا؛ بررسی رفتار استاتیکی خاک‌های

شن و ماسه‌ای سیمانی شده با کلسیت؛ پایان نامه

کارشناسی ارشد مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی

شریف؛ تهران؛ ۱۳۸۷

[۲۴] حسینی؛ سیدمهدی؛ تاثیر سیمانی شدن بر رفتار مکانیکی

و مقاومتی خاکهای درشت دانه مطالعه موردی آبرفت

تهران؛ پایان نامه دکتری مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی

شریف؛ تهران؛ ۱۳۸۴

- [25] Salehzadeh; H.; Ghazanfari; E.; "Parametric study of Kish carbonate sand under triaxial shearing"; Int. J. of Civil Engineering; 2004, Vol. 2, No. 4, pp 223-231.
- [26] Hassanlourad; M.; Salehzadeh; H.; Shahnazari; H.; "Undrained triaxial shear behavior of grouted carbonate sands"; International Journal of Civil Engineering; 2011, Vol. 9, No. 4, pp307-314.

گفت حتما با افزایش مقدار محصور شدگی، شاهد افزایش مدول الاستیسیته خواهیم بود.

۹- مراجع

- [1] McClelland; B.; "Calcareous sediments: Engineering Enigma."; Proc. 1st International Conf. on Calcareous Sediments; 1988, Perth, Australia. Vol. 2 PP. 777-784.
- [2] Datta; M; Gulhati; S; Rao; G; "Crushing of calcareous sands during shear"; 11th offshore technology conference; 1979, Huston, Texas, Vol 3, pp 1459-1467.
- [3] Hassanlourad; M.; Salehzadeh; H.; Shahnazari; H.; "Dilation and particle breakage effects on shear strength of calcareous sands based on energy aspects"; International Journal of Civil Engineering; 2008, Vol. 6, No.2, pp108-119.
- [4] Poulos; H.; Chua; E.; "Bearing capacity of foundation on calcareous sand"; Proceeding of 11th international conference on soil mechanics and foundation Engineering; 1985, San Francisco, August, Vol 3, pp 1619-1622.
- [5] Hyodo; M.; Tanimizu; H.; Yasufuku; N.; Murat; H.; "Undrained cyclic and monotonic triaxial behavior of Saturated loose sand"; Soils and Foundations, 1994, Vol. 34, No. 1, pp 19-32.
- [6] Beringen; F.L.; Kolk; H.J.; Windle; D.; "Cone Penetration and Laboratory Testing in Marine Calcareous Sediments, Geotechnical Properties, Behaviour and Performance of Calcareous Soils"; ASTM, 1982, STP 777, pp. 179-209.
- [7] Brandes; H.; "Simple shear behavior of calcareous and quartz sands"; Geotechnical and Geological Engineering; 2012, Vol. 29, No. 1, pp113-126.
- [8] Colliat and Dongus; "Triaxial testing of granular soil under elevated cell pressure"; Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock; ASTM; 1988, STP 977, Philadelphia, pp 290-310.
- [9] Bolton; M.D.; "The strength and dilitancy of the Sands"; Geotechnique; 1986, Vol. 36, No. 1, pp65-78.
- [10] Salehzadeh; H.; Procter; D.C.; Merrifield; C.M.; "A carbonate sand particle crushing under monotonic loading"; International Journal of Civil Engineering; 2005, Vol. 3, No.3, pp140-151.
- [11] Sharma; S.S.; Ismail; M.A.; "Monotonic and cyclic behavior of two calcareous soils of different Origins"; Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering; 2006, Vol. 123, No.12, pp 1581-1591.
- [12] Grine; K.; Attar; A.; Aoubed; A.; Breyse; A.; "Using the design of experiment to model the effect of silica sand and cement on crushing properties of carbonate sand"; Materials and Structures; 2011, Vol. 44, No. 1, pp 195-203.
- [13] Kwage; J. M.; Ochiai; H.; Yasufuku; N.;

- [29] Hull; T. S.; Poulos; H. G.; Alehossein; H.; "The Static Behavior of Various Calcareous Sediments"; Proceeding 1st International Conference on Calcareous Sediments; 1988, Perth, Australia, Vol. 1, pp. 87-96.
- [30] Jewell; R. J.; Andrewes; D.C.; Proc., 1st Int. Conf. on Engineering for Calcareous Sediments; 1988, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- [27] API "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms- WorkingStress Design"; American Petroleum Institute; 2000, 2A-WSD (RP 2A-WSD).
- [28] ARGEMA-CLAROM; "Design Guides for Offshore Structures-Foundations in Carbonate Soils"; Ed. Le Tirant and Nauroy, 1994, 204 pages.

Archive of SID

A Study on Geotechnical Properties of Four Carbonates Sands From the Southern Coastal of Iran

M. R. Rasouli¹, M. Hassanlourad^{2*}

1- M.Sc. of Geotechnic Engineering, Faculty of Technical & Engineering, Imam Khomeini International University

2- Associate Prof., Civil Eng. Dept., Faculty of Technical & Engineering, Imam Khomeini International University

hassanlou@eng.ikiu.ac.ir

Abstract:

General attention to carbonate sands has been begun since the early 1960 in Iran. When the first bore drilled the Persian Gulf's bed, it drew out layers of this soil type along with sand and shell. However, the large amount of carbonates in this soil was not first diagnosed.

The first knowledge of the unique behavior of this type of soil was obtained during pile driving in the construction of an oil platform in Lavan Island, Persian Gulf, in 1968. In this operation, after a number of 30 inch pipe sank into the cemented soil for about 25 feet, they suddenly had a free fall with no resistance up to depth of 50 feet.

Carbonate materials and aggregates can be found in nature in different shapes. The majority of them are made of calcium carbonate or other types of carbonate with soft and loose grains that can break easily. These soils are of remarkable importance in offshore engineering.

Since early 70s, a great amount of studies have globally been conducted for identifying the unique engineering characteristics of carbonate sands. Different behavioral parameters including strain-stress behavior, shear strength, internal friction angle, volumetric behavior, elastic and shear modulus, Poisson's ratio, carbonate content, shape of carbonate grains and etc have been studied.

No certain laboratory methods or field study plan have yet been provided to obtain appropriate parameters for designing foundations in carbonate soils. Despite this, performing a number of laboratory and field experiments can be helpful. Executing at least amount of experiments to determine the following matters are essential:

- Material composition, especially calcium carbonate content
- The origin of the materials to distinguish between skeletal and non-skeletal deposits
- The properties of the grains such as angularity, porosity, and initial void ratio
- Compressibility of materials (using consolidation test)
- Strength parameters of the materials, especially internal friction angle
- Cementation, at least quantitatively

In this paper, shear behavior of four skeletal carbonate sand samples obtained from the northern coasts of Persian Gulf and Oman Sea are investigated. Regarding some parameters of samples such as particle size distribution, physical properties, microscopic images of grains, compressibility, drained triaxial shear behavior, elastic modulus and internal friction angle it was attempted to promote geotechnical knowledge and improve civil engineers understandings of carbonate soils in this part of the world. On the basis of experimental tests like one-dimensional consolidation and triaxial tests, it was determined that despite a number of similarities between the shear behavior of carbonate sands, behaviorally they depend on the grains shape and size, initial particle size distribution and void ratio, calcium carbonate content, confining stresses and applied strains. Although all specimens were selected from the southern coasts of Iran, but a large number of difference was observed between them in terms of shear behavior and strength.

Keywords: Carbonate sands, Triaxial experiment, Shear behavior, Persian Gulf, Oman Sea.