



اثر تغییر دانسیته بر روی رفتار تورمی نمونه‌های بازسازی شده شیل

رسی

مسعود عنایت^۱، دکتر محمد رضا نیکودل^۲، دکتر ماشاء... خامه چیان^۲
(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
(۲) گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس

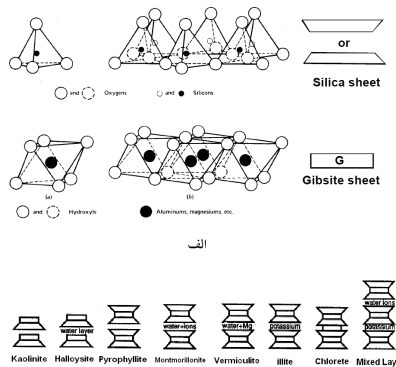
چکیده:

یکی از خصوصیات اغلب کانی‌های رسی، متورم شدن آنها در اثر جذب آب می‌باشد. این پدیده در بعضی از کانی‌های رسی نظیر مونت‌موریلونیت اهمیت بیشتری می‌یابد به گونه‌ای که حضور آنها در خاک باعث ایجاد مشکلات ژئوتکنیکی در سازه‌های مهندسی می‌گردد. از چنین خاکهایی به عنوان خاکهای مسئله دار یاد می‌شود؛ از این رو محققین بسیاری سعی کرده‌اند با مطالعه بر روی چنین کانی‌هایی به درک رفتار تورمی آنها پی ببرند و از این طریق بتوانند در شرایط مختلف رفتار آنها را پیش بینی کنند. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که پدیده تورم یک فرآیند پیچیده می‌باشد که تحت کنترل عوامل مختلفی نظیر درصد کانی رسی، نوع کانی رسی، میزان رطوبت اولیه، روش انجام آزمایش، دمای محیط، ترکیب سیال و غیره می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است که اثر تغییر دانسیته خشک اولیه بر روی تغییر درصد تورم و فشار تورمی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از نمونه‌های شیل رسی هوازده استفاده شده است که دارای درصد زیادی کانی مونت‌موریلونیت می‌باشند. نتیجه حاصل از آزمایشات نشان داد که با افزایش دانسیته خشک اولیه، درصد تورم و فشار تورم افزایش می‌یابد و این افزایش به دلیل کاهش نسبت پوکی در دانسیته‌های بالاتر می‌باشد.

مقدمه:

کانی‌های رسی در حقیقت سیلیکاتهای آلومینیوم پیچیده‌ای می‌باشند که از یکی از دو واحد پایه چهاروجهی سیلیکا و هشت وجهی آلومینا تشکیل یافته‌اند. هر واحد چهاروجهی سیلیکا مرکب از چهار اتم اکسیژن می‌باشد که یک اتم سیلیکون را در بر گرفته‌اند. از ترکیب این واحدهای چهاروجهی یک ورقه سیلیکا تولید می‌شود. واحدهای هشت وجهی مرکب از شش اتم هیدروکسیل می‌باشند که یک اتم آلومینیوم را در بر گرفته‌اند. از ترکیب این واحدهای هشت وجهی، یک ورقه گیسیت ایجاد می‌شود (شکل ۱-الف). از قرارگیری این ورقه‌های سیلیکا و گیسیت در کنار هم و حضور کاتیون‌های مختلف نظیر Ca^{+} ، Mg^{+} ، K^{+} ، Na^{+} و ... کانی‌های رسی مختلف تشکیل می‌شود. از معروفترین کانی‌های رسی می‌توان به مونت‌موریلونیت، ایلیت و کائولینیت اشاره کرد که به صورت سیلیکاتهای آلومینیوم آبدار کریستال شده می‌باشند. از دیگر کانیهای رسی کلریت، هالوسیت، ورمیکولیت و ... را می‌توان نام برد (شکل ۱-ب) [۱]. یکی از خصوصیات اغلب کانی‌های رسی متورم شدن آنها به علت جذب آب می‌باشد. در میان کانیهای رسی مونت‌موریلونیت به علت ساختمان خاصی که دارد از پتانسیل تورمی بالایی برخوردار می‌باشد. اساس مکانیزم تورم رس مورد توجه بسیاری از محققین بوده و تئوری‌های گوناگونی

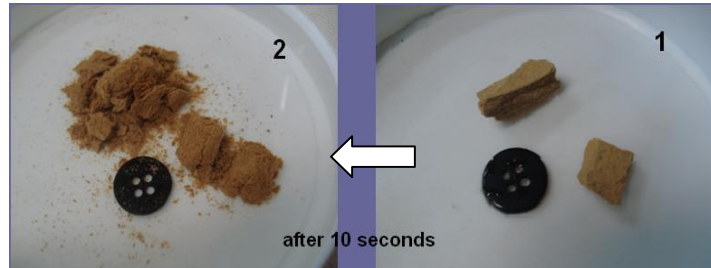
در توصیف این پدیده ارائه شده است. یکی از این تئوری‌ها، تئوری Diffuse Double Layer است که توسط Gouy 1910 و Chapman 1913 ارائه گردید [۳]. در این تئوری علت اصلی تورم در رس‌ها توزیع نامتعادل بار در کانی‌های رسی بیان شده است. پارامترهای زیادی بر روی پتانسیل تورم خاکهای رسی تأثیر می‌گذارد؛ از دیدگاه کانی شناسی مقدار تورم به نوع و مقدار کانی رسی موجود در خاک، یونهای قابل تبادل آنها، مقدار الکترولیت بودن فاز آب و ساختمان داخلی کانی بستگی دارد. از دیگر پارامترهای تأثیر گذار که به ساختمان کانی شناسی رس مربوط نمی‌شود می‌توان به دانسیته خشک، درصد رطوبت اولیه، روش تراکم، بافت خاک، شرایط حرارتی، و نوع سیال اشاره کرد [۳ و ۴]. تأثیر هر یک از این پارامترها تاکنون توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که پرداختن به آنها موضوع بحث نمی‌باشد.



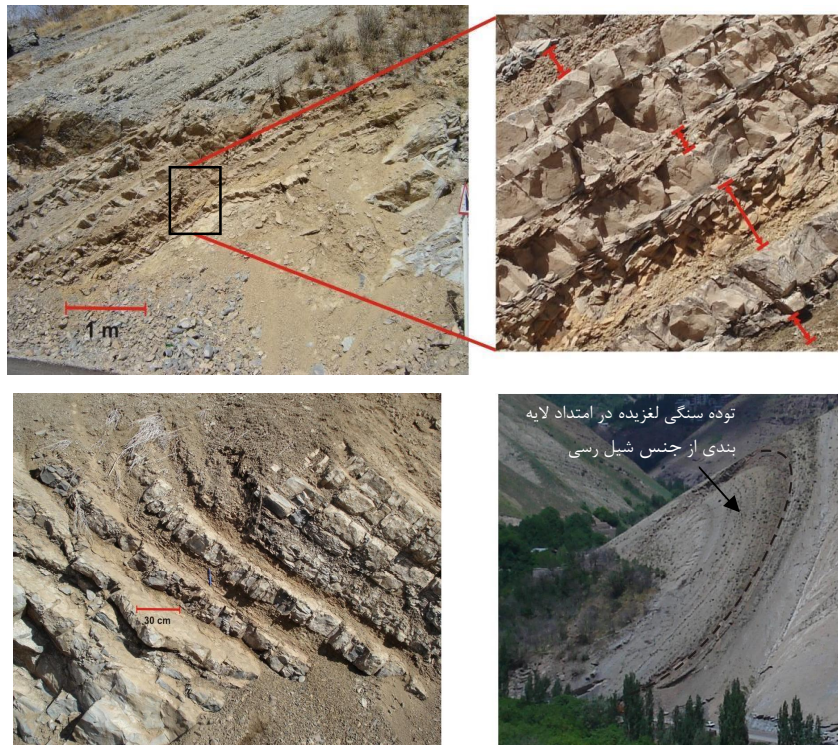
شکل ۱- انواع کانیهای رسی و واحدهای تشکیل دهنده آنها

بررسی تغییرات دانسیته خشک اولیه بر روی نتایج درصد تورم و فشار تورم توسط محققین زیادی انجام شده [۴]. بر اساس مطالعات انجام شده، رفتار تورم آزاد و فشار تورم خاکهای رسی تابعی از ترکیب، شرایط تراکم نمونه، یعنی درصد اشباع و نسبت تخلخل اولیه، و همچنین ترکیب اجزای سازنده آن است [۲ و ۵]. نتایج حاصله گاهی به صورت دانسیته خشک (γ_d) -درصد تورم یا فشار تورم و گاهی به صورت نسبت پوکی (e) -درصد تورم یا فشار تورم نشان داده شده است.

پارامترهایی که در اینجا مورد بررسی قرار گرفته اند تغییرات درصد تورم و فشار تورم در اثر تغییر دانسیته خشک اولیه می‌باشد. در این راستا از نمونه‌های شیل رسی هوازده استفاده شده است که درصد عمده کانیهای سازنده آن مونت موریلونیت می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود این شیلها به محض مواجهه با آب به سرعت متورم می‌شوند و از هم فرو می‌پاشند. محل برداشت این نمونه‌ها در منطقه فشم (شمال تهران) می‌باشد که به صورت میان لایه‌هایی در بخش زیرین سازند کرج دیده می‌شوند. در این منطقه حضور میان لایه‌های شیلی هوازده باعث ایجاد سطوح ضعف شده و در نتیجه ایجاد ناپایداری سنگی می‌کنند (شکل ۳).



شکل ۲- شیل رسی هوازده که به هنگام غرقاب شدن بلافاصله متورم می شود و از هم فرو می پاشد (نمونه شماره ۱، نگاه کنید به جدول ۱)



شکل ۳- حضور میان لایه های ضعیف شیل رسی و ایجاد ناپایداری های سنگی

آماده سازی نمونه ها و روش انجام آزمایش:

جهت انجام آزمایشات از سه نمونه شیل رسی که از سه لایه متفاوت برداشت شده اند استفاده شده است. مشخصات این شیلها در جدول ۱ آمده است. نمونه های شماره ۲ و ۳ در آزمایش درصد تورم جهت تأیید نتایج بدست آمده از نمونه شماره ۱ مورد استفاده قرار گرفتند و آزمایش فشار تورم تنها بر روی نمونه شماره ۱ انجام شد. برای هر سه نمونه، نوع کانی رسی و برای نمونه ۱ همچنین نوع کانی های



غیر رسی نیز توسط آزمایش انکسار اشعه ایکس (XRD) تعیین شده است. درصد کانی رسی به راحتی و با روشهای مرسوم قابل تعیین نمی باشد و اندازه گیری آن گران قیمت می باشد. بنابراین درصد کانی- های رسی به توسط روشهای هیدرومتری و دانه بندی و اندازه گیری ذرات کلوئیدی (کوچکتر از ۲ میکرون) اندازه گیری شد.

برای آماده سازی نمونه‌ها ابتدا تکه‌های شیل خرد شده و سپس از الک شماره ۴۰ (۰/۴۲۵ میلیمتر) عبور داده شدند؛ از آنجایی که خصوصیات تورمی کانی‌های رسی به رطوبت اولیه حساس می‌باشد، درصد رطوبت اولیه برای تمامی آزمایشات ثابت در نظر گرفته شد. برای این منظور به نمونه‌های رد شده از الک ۴۰، ۱۰٪ رطوبت اضافه شد (رطوبت اولیه) و برای حفظ درصد رطوبتشان در ظروف دربسته نگهداری شدند. نمونه آماده شده به این طریق با دانسیته‌های متفاوت در قالبی به قطر ۵ cm و ارتفاع ۲ cm به صورت لایه به لایه کوبیده شدند. برای انجام آزمایشات از دستگاه تحکیم استفاده شد. جهت غرقاب کردن نمونه در دستگاه از آب مقطر استفاده شد تا تاثیر ترکیب سیال (عناصر موجود در آب) بر روی خصوصیات تورمی از بین برود. روش انجام آزمایش مطابق استاندارد ASTM D-4546 می‌باشد که برای اندازه گیری مقدار تورم (یا نشست) خاک تحت سربار مشخص و اندازه گیری مقدار فشار لازم برای ممانعت از تغییر حجم نمونه‌ای که از اطراف محصور شده است، بکار می‌رود [۶].

شماره نمونه	کانی‌های رسی به ترتیب فراوانی	کانی‌های غیر رسی	درصد کانی‌های رسی	Gs
۱	موننت موریلونیت	کوارتز + فلدسپات	> ۱۲%	۲/۵۵
۲	ایلیت + موننت موریلونیت	-	≈ ۳۵%	۲/۶۵
۳	موننت موریلونیت + ایلیت	-	≈ ۳۵%	۲/۶۱

جدول ۱- مشخصات نمونه‌هایی که مورد آزمایش قرار گرفتند.

شرح انجام آزمایشات و تفسیر آنها:

آزمایشات انجام شده شامل درصد تورم و فشار تورم می‌باشد که در زیر به توضیح هر یک پرداخته می‌شود:

الف: آزمایش درصد تورم:

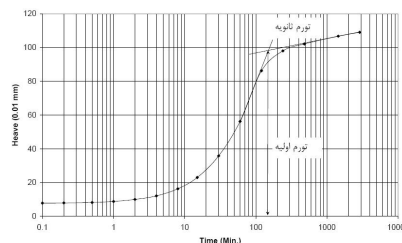
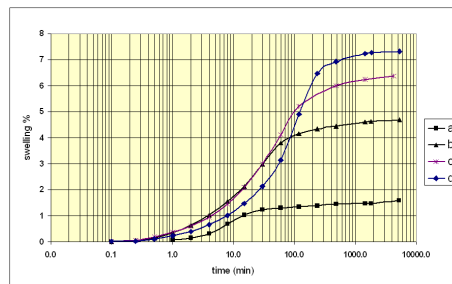
این آزمایش به روش تورم آزاد (Free swell test) صورت گرفت. در این روش نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در دستگاه و افزودن آب به آن، تحت سربار ناچیزی شروع به تورم می‌کنند و میزان این سربار همواره ثابت است.

جهت بررسی تغییرات درصد تورم در برابر تغییر دانسیته خشک، ۶ نمونه با دانسیته‌های متفاوت از نمونه شیل رسی شماره ۱ آماده شد و هر کدام تحت سربار بسیار کمی (۰/۱ Pa)، به مدت ۱ هفته اجازه داده شد تا تورم کنند. مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. قرائت درصد تورم با زمان برای ۴ عدد از نمونه‌ها نیز انجام شد تا نمودار لگاریتم زمان-درصد تورم آنها

رسم گردد تا از این طریق هم از زمان اتمام تورم اطمینان حاصل شود و هم تغییرات تورم اولیه و تورم ثانویه جهت تفسیر نتایج آزمایشات مورد ارزیابی قرار گیرد (شکل ۴ و ۵). بررسی نشان داد که بخش اصلی تورم که درحقیقت همان تورم اولیه می باشد در دقایق و ساعات اولیه تکمیل می شود اما تورم ثانویه تا مدت ها ادامه پیدا می کند؛ از طرفی میزان تورم ثانویه کم و تغییرات آن بعد از ۱ هفته ناچیز است؛ بنابراین درصد تورم بدست آمده در ۱ هفته که به عنوان پایان تورم در نظر گرفته شده بود، نتیجه قابل قبولی را بدست می داد. نتیجه بدست آمده از آزمایش درصد تورم همچنین نشان داد که با افزایش دانسیته خشک در یک رطوبت اولیه ثابت، درصد تورم نیز افزایش می یابد و افزایش تورم اولیه نقش مهمی را در این زمینه ایفا می کند. این تغییرات درصد تورم به علت تغییرات دانسیته کاملاً خطی می باشد. جهت تأیید این موضوع نمونه های شماره ۲ و ۳ نیز به همین طریق مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج این آزمایشات در نمودار شکل ۶ رسم شده است. همانطور که در این نمودارها دیده می شود روند تغییرات درصد تورم کاملاً خطی می باشد. علت کم بودن شیب نمودار در نمونه های ۲ و ۳ را می توان در ترکیب و درصد کانی های رسی آنها جستجو نمود. نمونه های ۲ و ۳، به علت داشتن درصد کانی رسی کمتر و کانی رسی از نوع ایلیت، پتانسیل تورم کمتری نسبت به نمونه ۱ دارند.

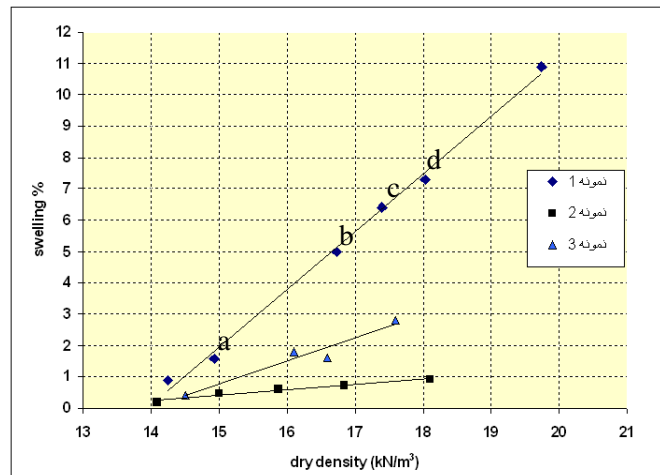
دانشیته خشک (kN/m^3)	۱۴/۲۴	۱۴/۹۲	۱۶/۷۳	۱۷/۳۹	۱۸/۰۲	۱۹/۷۴
درصد تورم	۰/۱۹	۱/۵۹	۴/۹۹	۶/۴	۷/۳۱	۱۰/۹
نسبت پوکی (e)	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۳۰

جدول ۲- مشخصات نمونه های آماده شده جهت آزمایش درصد تورم



شکل ۵- رابطه درصد تورم با لگاریتم زمان

شکل ۴- روش شناسایی تورم اولیه و تورم ثانویه [۶]



شکل ۶- رابطه بین دانسیته خشک اولیه و درصد تورم

ب: آزمایش فشار تورم:

فشار تورم طبق تعریف فشاری است که مانع تورم خاک گردد و یا مقدار فشار لازم برای بازگرداندن ارتفاع (نسبت تخلخل) نمونه به مقدار اولیه آن می باشد.

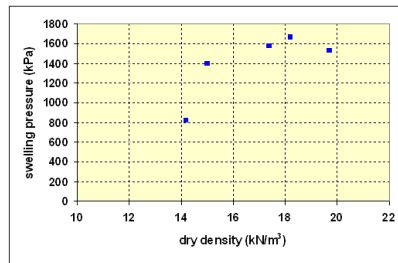
آزمایش فشار تورم به دو صورت انجام گرفت:

الف: در این روش ابتدا نمونه تحت سربار ناچیزی متورم می شود و پس از کامل شدن تورم، بارگذاری انجام می شود تا مقدار تورم صفر شود. در این حالت فشاری که برای بازگرداندن ارتفاع نمونه به مقدار اولیه آن اعمال می شود به عنوان فشار تورم در نظر گرفته می شود.

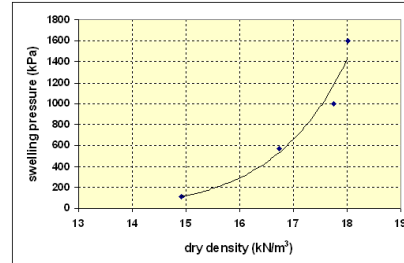
ب: در این روش نمونه پس از آماده شدن، خیسانده می شود و قبل از اینکه متورم شود سربار به آن اضافه می گردد. به این ترتیب فشاری که مانع تورم نمونه شود فشار تورمی مورد نظر خواهد بود (فشار تورم در حجم ثابت، Constant volume test).

برای بدست آوردن فشار تورمی به روش اول، ۴ نمونه در دانسیته های متفاوت آماده شد و پس از کامل شدن تورم و انجام بارگذاری، فشار تورم بدست آمد (شکل ۷).

برای بدست آوردن فشار تورم به روش دوم، ۵ نمونه آماده شد که فشار بدست آمده از این طریق در شکل ۸ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود نتایج حاصله پراکندگی زیادی دارند اما در کل روند افزایشی را می توان برای آن در نظر گرفت.



شکل ۸- رابطه بین دانسیته خشک اولیه و فشار

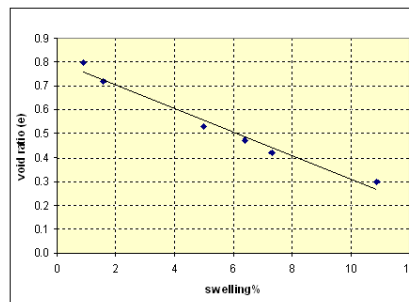


شکل ۷- رابطه بین دانسیته خشک اولیه و فشار تورم

بدست آمده از روش دوم

بدست آمده از روش اول

علت افزایش درصد تورم و فشار تورم با افزایش دانسیته خشک اولیه را می توان به این صورت توضیح داد که در دانسیته های پایین تر به علت زیادتر بودن نسبت پوکی، بخشی از تورم و فشار حاصل از آن توسط فضای خالی بین دانه ها حذف می شود. رابطه درصد تورم با نسبت پوکی در شکل ۹ آمده است. همان طوری که دیده می شود درصد تورم با نسبت پوکی نسبت مستقیمی دارد. هر چه نسبت پوکی اولیه بیشتر باشد، درصد تورم کمتر می شود.



شکل ۹- رابطه بین نسبت پوکی و درصد تورم

نتیجه:

در این تحقیق اثر تغییر دانسیته خشک اولیه بر روی رفتار تورمی (درصد تورم و فشار تورم) نمونه های شیل رسی هوازده مورد بررسی قرار گرفت و برای این منظور میزان رطوبت اولیه و ترکیب سیال و سایر عوامل محیطی ثابت در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با افزایش دانسیته خشک، تورم اولیه افزایش می یابد اما تورم ثانویه تغییر چندانی نمی کند. با افزایش دانسیته درصد تورم نیز افزایش پیدا می کند و این افزایش به صورت خطی است. روند تغییرات فشار تورم در روش اول (بارگذاری پس از تورم کامل) به صورت غیر خطی و نمایی می باشد.



تغییرات فشار تورم در روش دوم (فشار تورم در حجم ثابت) از پراکنندگی زیادی برخوردار می‌باشد و در کل روند افزایشی دارد. آزمایش درصد تورم بر روی نمونه‌های با درصد و نوع کانی رسی متفاوت نشان می‌دهد که پتانسیل تورم به جنس کانی رسی و درصد آن بستگی دارد. علت افزایش درصد تورم و فشار تورم بر اثر دانسیته اولیه را می‌توان به نسبت پوکی اولیه نسبت داد؛ به عبارتی در نمونه‌هایی که تخلخل اولیه زیادی دارند، تورم و فشار ناشی از آن در فضای خالی بین دانه‌ها تحلیل می‌رود.

مراجع:

- ۱- طاحونی، شاپور (۱۳۸۰)، «اصول مهندسی ژئوتکنیک» جلد اول-مکانیک خاک، مؤسسه انتشارات پارس آئین
- ۲- عشایری، ایمان (۱۳۸۲)، «ارزیابی میزان تأثیر خصوصیات فزیک و شیمیایی خاک و شرایط تراکم بر پتانسیل تورم»، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس
- 3- K. Mitchell, "Fundamentals of soil Behavior", John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- 4- F. Shuai, "Simulation of swelling pressure measurements on expansive soils", doctoral thesis of civil engineering, university of Saskatchewan Saskatoon, Canada. 1996.
- 5- Abdullah I. Al-Mhaidib, "Swelling Behaviour of Expansive Shales from the Middle Region of Saudi Arabia", *Geotechnical and Geological Engineering* 16: 291-307, 1999.
- 6- "ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS", section four: construction, volume 04.08, soil and rock (1): D420-D5779, 2001.