

گنجایش تورم‌پذیری خاک شهر یزد

مژده دهقان^{۱*}، عباس سروش^۲، سیدمصطفی صالحی^۳

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- مدیر عامل مهندسین مشاور زمین‌ساخت

mmhdehghan@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۰

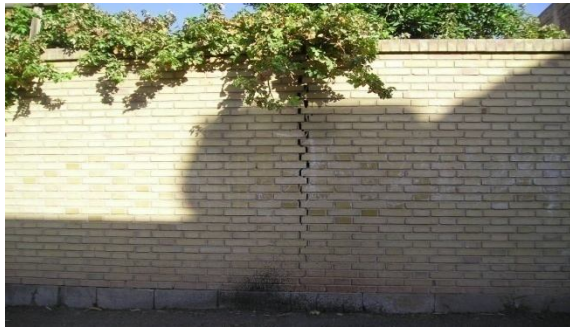
چکیده - آسیب‌های وارد شده به برخی از سازه‌های مستقر در زمین‌های رسی در نقاط کویری کشور به ویژه شهر یزد و ابهام در تفسیر ساز و کار و علت این آسیب‌ها، شناسایی خصوصیات تورمی این خاک‌ها را ضروری می‌سازد. گنجایش تورم خاک شهر یزد با ۳۰ نمونه گرفته شده از اعماق ۱/۵ تا ۳/۵ متری از مکان‌های مختلف ارزیابی شد. آزمایش‌های فیزیکی شامل تعیین حدود اتربرگ، دانه‌بندی به روش هیدرومتری، چگالی خشک طبیعی، درصد رطوبت، چگالی ویژه و درصد و فشار تورم، آزمایش‌های شیمیایی برای تعیین ترکیبات شیمیایی و کاتیون‌های موجود در خاک رس منطقه و آزمایش کانی‌شناسی (XRD) برای تعیین درصد کانی‌های رس موجود در خاک، انجام شده است. بر اساس ارزیابی غیرمستقیم، گنجایش تورم نمونه‌ها، بیشتر در گروه متوسط و پایین قرار گرفته و اندازه‌گیری مستقیم با دستگاه ادومتر نیز این موضوع را تایید کرده است. کانی‌های خاک، شامل ایلیت، و مونت‌موریلونیت و درصد کمی کائولینیت بوده، ولی کمبود کاتیون سدیم و وجود مقدار زیادی کاتیون کلسیم و آهک باعث شده که گنجایش تورم خاک زیاد نباشد. در بررسی عوامل ذاتی موثر بر تورم، ارتباط مستقیم میزان تورم با ویژگی‌های خمیری، درصد رس و درصد کاتیون سدیم و ارتباط معکوس آن با درصد آهک خاک مشاهده شد.

واژگان کلیدی - خاک متورم‌شونده، گنجایش تورم، حدود اتربرگ، آزمایش کانی‌شناسی، آزمایش شیمیایی

۱- مقدمه

لایه‌های رسوبی دوره‌های کواترنری و ترتیاری، بازالت‌ها و شیل‌های هوازده، مواد تشکیل‌دهنده خاک‌های متورم‌شونده شناخته شده است [۱]. خاک‌های تورم‌پذیر در بیشتر نقاط جهان مانند آرژانتین، اسپانیا، استرالیا، آمریکا، ایران، ترکیه، فلسطین اشغالی، کانادا و هند، بسیار یافت می‌شود. در ایران در استان‌های خوزستان، فارس، کرمان، یزد و بخش‌هایی از استان خراسان، این نوع رس بیشتر وجود دارد.

تغییر درصد رطوبت ناشی از تغییر وضعیت آب و هوای فصلی و یا عوامل مصنوعی، باعث تغییر ویژگی‌های مکانیکی برخی خاک‌ها به ویژه خاک‌های رسی می‌شود. خاک متورم‌شونده خاکی است که با افزایش آب، افزایش حجم پیدا کرده و متورم می‌شود. درجه تورم این خاک‌ها وابسته به فعالیت کانی‌های رس است. رس‌های پیش‌تحکیم‌یافته،



شکل (۱) ترک‌های ایجاد شده در دیوار یک ساختمان

روش‌های گوناگون مستقیم و غیرمستقیم آزمایشگاهی و صحرایی برای ارزیابی گنجایش تورم به وسیله‌ی محققین مختلف ارائه شده است. در روش‌های ارزیابی مستقیم، بیشتر از آزمایش ادومتر استفاده می‌شود، که وقت‌گیر است. به کارگیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و طبقه‌بندی گنجایش تورم با استفاده از این پارامترها برای پروژه‌های بزرگ مقرون به صرفه‌تر است.

خاک‌های متورم‌شونده شهر یزد بیشتر در قسمت شرق و شمال شرقی شهر، شامل بلوار صابر یزدی، مسکن و شهرسازی و خیابان کاشانی وجود دارند. به خاطر وجود مشکلات زیر، ویژگی‌های تورمی این خاک‌ها بررسی شد:

- آسیب‌های وارد شده به برخی از سازه‌های مستقر بر مناطق رسی شهر یزد و ابهام در تفسیر ساز و کار و علت این آسیب‌ها
- تنوع کانی‌ها و نبود اطلاعات کانی‌شناسی^۱ این رس‌ها؛ ترکیبات مختلف کانی‌های موجود، تأثیر چشم‌گیری بر ویژگی‌های خاک دارد.
- چهارچوب تحقیق به شرح زیر بوده است:
- نمونه‌گیری دست‌خورده و دست‌نخورده؛
- آزمایش‌های فیزیکی روی ۳۰ نمونه؛
- آزمایش‌های شیمیایی و کانی‌شناسی روی ۱۰ نمونه؛

خاک‌های تورم‌پذیر تا پیش از نیمه دوم دهه ۱۹۳۰ به وسیله مهندسين مکانیک خاک شناخته نشده بود. در آن زمان، استفاده از نماهای آجری در ساختمان‌ها متداول شد و مالکین متوجه ترک‌خوردگی‌هایی در پیوندهای آجری شدند. دلیل خرابی‌ها، روش‌های اجرایی و نشست‌های موضعی پی‌ها در نظر گرفته می‌شد و نقش خاک‌های تورم‌پذیر هنوز ناشناخته بود. مهندسين برای اولین بار در سال ۱۹۳۸ با خاک‌های تورم‌پذیر مواجه شدند و دریافتند که در برخی موارد، علت خرابی، غیر از نشست است. پس از سال ۱۹۴۰، کاربرد روزافزون دال‌های اجرا شده روی زمین به خاطر خاک‌های تورم‌پذیر باعث افزایش خسارت وارد بر ساختمان‌ها شده است [۲].

تغییر حجم ناشی از تغییر رطوبت این خاک‌ها، به‌ویژه آنها که در مناطق آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، خسارت زیادی به پروژه‌های عمرانی روسازی راه‌ها، ریل‌های راه‌آهن و ساختمان‌های سبک وارد کرده است. بدیهی است که اگر بر اثر وزن سازه‌های بنا شده روی خاک‌های متورم‌شونده، امکان افزایش حجم آن‌ها فراهم نباشد، گنجایش تورم تبدیل به فشار تورم از طرف خاک به سازه می‌شود. خسارت‌های ناشی از تورم خاک در آمریکا سالانه هفت بیلیون دلار برآورد شده و نزدیک به دو برابر خسارت‌های ناشی از سیل، طوفان و زلزله است [۱]. خاک‌های متورم‌شونده در شهر یزد نیز سبب ایجاد ترک‌هایی در دیوارهای ساختمان‌های یک طبقه شده که در شکل ۱ نمونه‌ای از این ترک‌ها دیده می‌شود. از آنجا که ارزیابی گنجایش تورم خاک (درصد تورم و فشار تورم) از مهم‌ترین مراحل طراحی شالوده سازه‌ها است، تلاش برای شناسایی خاک‌های متورم‌شونده و برآورد فشار حاصل از تورم و مقدار تورم آن‌ها ضرورت دارد.

1- mineralogy

مصالح، روی نمونه‌ها انجام شد.

• ارزیابی مستقیم گنجایش تورم برای ۳۰ نمونه؛

• ارزیابی غیرمستقیم گنجایش تورم با استفاده از

ویژگی‌های فیزیکی برای ۳۰ نمونه و

• بررسی تأثیر پارامترهایی مانند جرم مخصوص خشک

اولیه، درصد رس و ترکیبات شیمیایی خاک رس بر

گنجایش تورم

۴- نتایج آزمایش‌ها

۴-۱- خصوصیات فیزیکی

دانه‌بندی نمونه‌ها نشان داد که بیشتر خاک محدوده انتخاب شده، ماسه ریز، لای و رس است. همچنین میزان ذرات رس (ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر) ۱۵ تا ۵۲ درصد است. به طور کلی درصد ذرات رس در قسمت شمال غربی منطقه بیشتر و درصد ماسه و لای به سمت جنوب منطقه افزایش می‌یابد.

بر اساس سامانه طبقه‌بندی یونیفاید، ۲۸ نمونه در رده رس با پلاستیسیته پایین (CL) و ۲ نمونه در رده رس با پلاستیسیته بالا (CH) قرار دارد. در بلوار صابر یزدی تنها یک لنز رسی با پلاستیسیته بالا مشاهده شده است. همچنین دامنه تغییرات پارامترهای فیزیکی نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. برای نمونه، نمودار آزمایش تورم و بارگذاری نمونه شماره ۱ در شکل ۲ نشان داده شده است. در این منحنی، فشار متناظر با جابه‌جایی صفر، فشار تورم است و درصد تورم به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\text{swellpercent} = \frac{\Delta h}{H} \times 100 = \frac{0.45}{20} \times 100 = 2.25\%$$

جدول (۱) آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌ها

شماره استاندارد	آزمایش
ASTM-D2216	درصد رطوبت [۲]
ASTM-D854	چگالی ویژه [۳]
ASTM-D422	دانه‌بندی به روش هیدرومتری [۴]
ASTM-D4318	حد روانی و حد خمیری [۵]
ASTM-D4546	تعیین درصد تورم و فشار تورم به روش A [۶]
ASTM-D4452	کانی‌شناسی (XRD) [۷]
ASTM-D4373	آزمایش شیمیایی [۸]

۲- انتخاب محل و نمونه‌گیری

برای انتخاب مکان‌های نمونه‌گیری، از نقشه‌های زمین‌شناسی و مشاهدات عینی استفاده شد. دو منطقه بلوار صابر یزدی، خیابان کاشانی و خیابان مسکن و شهرسازی به مساحت ۶ کیلومتر مربع به ترتیب در قسمت شمال شرقی و شرق شهر انتخاب شد.

نمونه‌گیری به صورت دست‌خورده و دست‌نخورده از ۳۰ نقطه مختلف، در عمق حدود ۱/۵ تا ۳ متری که معمولاً شالوده سازه‌های سبک بنا می‌شود، انجام شد. نمونه‌های دست‌نخورده به صورت کلوخه‌ای تهیه شدند. برای جلوگیری از تغییر رطوبت طبیعی، کلوخه‌ها پس از نمونه‌گیری بی درنگ با پارچه و سپس پارافین مایع پوشانده شده و همراه نمونه‌های دست‌خورده به آزمایشگاه منتقل شدند.

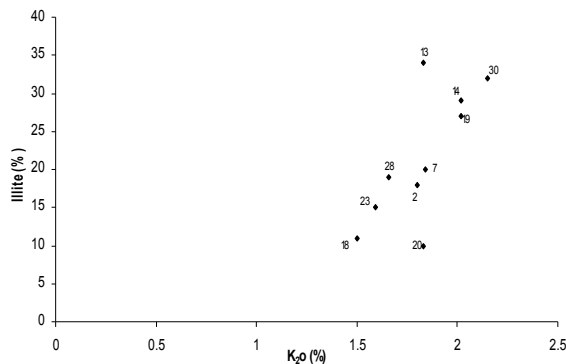
نمونه‌های دست‌خورده برای تعیین حدود اتربرگ، هیدرومتری، درصد رطوبت، آزمایش کانی‌شناسی به روش اشعه ایکس^۱ برای تعیین نوع کانی‌های موجود در خاک و نمونه‌های دست‌نخورده برای انجام آزمایش تورم و وزن مخصوص طبیعی خاک، استفاده شدند.

۳- آزمایش‌ها

آزمایش‌های گفته شده در جدول ۱، طبق استاندارد آزمایش

1- X Ray Diffractometry (XRD)

درصد اکسید پتاسیم نمایش داده شده است. رابطه مستقیم بین این دو پارامتر، وجود کاتیون پتاسیم بین لایه‌های کانی ایلیت را ثابت می‌کند. نتایج آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی برای ۱۰ نمونه در جدول ۳ آمده است. خصوصیات فیزیکی ۲۰ نمونه دیگر نیز در ارزیابی‌های بعدی استفاده شده است.

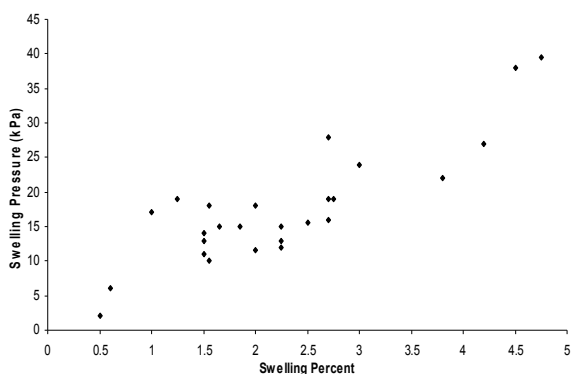


شکل (۳) رابطه درصد کانی ایلیت از آزمایش کانی‌شناسی با درصد اکسید پتاسیم از آزمایش شیمیایی برای ۱۰ نمونه

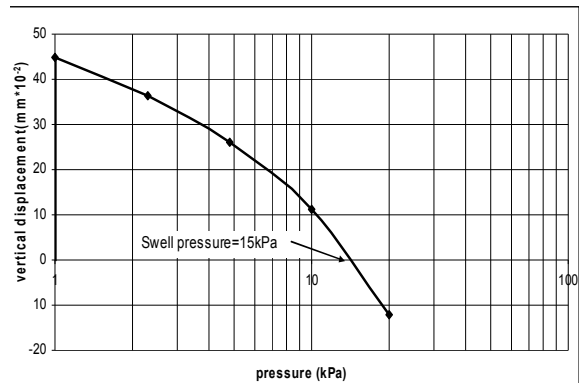
۵- بررسی و تحلیل نتایج

۵-۱- ارزیابی مستقیم گنجایش تورم

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مستقیم درصد و فشار تورم برای ۱۰ نمونه در جدول ۳ آمده است. شکل ۴، ارتباط بین این دو پارامتر را برای همه نمونه‌ها (۳۰ نمونه) نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود، رابطه کلی مستقیمی بین درصد تورم و فشار تورم برقرار است.



شکل (۴) فشار تورم بر حسب درصد تورم برای ۳۰ نمونه



شکل (۲) نمودار آزمایش تورم و بارگذاری نمونه شماره ۱

جدول (۲) دامنه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها

مشخصه فیزیکی	بیشینه	کمینه	میانگین
رطوبت (%)	۱۸/۶	۶/۰	۱۳/۰
چگالی خشک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۹۵	۱/۴۱	۱/۶۵
حد روانی (%)	۵۷	۲۷	۴۰
نشانه خمیری (%)	۳۱	۷	۲۰
درصد رس	۵۲	۱۷	۳۲
عدد فعالیت	۱/۲۷	۰/۲۰	۰/۷۴
درصد تورم	۴/۷۵	۰/۵۰	۲/۲۵
فشار تورم (کیلوپاسکال)	۴۰/۵	۲/۸	۱۸/۵

۴-۲- خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی

نتایج آزمایش‌های کانی‌شناسی به روش اشعه ایکس روی ۱۰ نمونه انتخابی از خاک محدوده، وجود کانی‌های کلسیت و کوارتز را به مقدار کم و کانی‌های رس شامل کائولینیت، ایلیت و مونت‌موریلونیت را به مقدار زیادی نشان داد. آزمایش‌های شیمیایی، نشانگر وجود اکسید سیلیسیم (SiO_2)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، اکسید آهن (Fe_2O_3)، اکسید کلسیم (CaO)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید سدیم (Na_2O)، اکسید پتاسیم (K_2O) و آهک (CaCO_3) بود. مطالعه و بررسی اکسیدهای موجود در نمونه‌ها می‌تواند برآوردی از نوع کانی رس به دست دهد. برای نمونه در شکل ۳، تغییرات درصد کانی ایلیت موجود در نمونه‌ها بر حسب تغییرات

۵-۲- ارزیابی غیرمستقیم گنجایش تورم

۵-۲-۱- نشانه خمیری

برای ارزیابی اثر نشانه خمیری بر گنجایش تورم روش چن^۱ و روش اصلاح شده واندرومرو^۲ مورد استفاده قرار گرفتند [۹]. این دو روش با تعیین حدودی برای نشانه خمیری، گنجایش تورم را طبقه‌بندی می‌کنند. روش واندرومرو درصد تورم محتمل برای هر گروه از گنجایش تورم را نیز پیشنهاد می‌دهد.

بر اساس روش چن، ۲۵ نمونه دارای گنجایش تورم متوسط و ۵ نمونه دارای گنجایش تورم کم هستند. بر اساس روش واندرومرو، ۴ نمونه دارای گنجایش تورم پایین، ۱۸ نمونه دارای گنجایش تورم متوسط و ۸ نمونه دارای گنجایش تورم زیاد هستند؛ همچنین درصد تورم پیشنهادی روش واندرومرو برای ۱۵ نمونه با محدوده درصد تورم اندازه‌گیری شده به روش مستقیم مطابقت دارد.

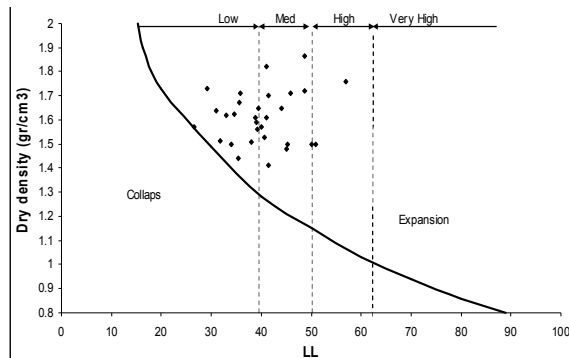
۵-۲-۲- حد روانی

حد روانی و تورم خاک هر دو بستگی به مقدار آب جذب شده توسط رس دارند. به طور کلی انتظار می‌رود برای خاک‌های رسی با دانسیته خشک مساوی، با افزایش حد روانی، گنجایش تورم نیز افزایش یابد. شکل ۵ رابطه بین حد روانی و دانسیته خشک اولیه و همچنین گنجایش تورم‌پذیری نمونه‌ها را بر روی چارت طبقه‌بندی پیشنهاد شده نشان می‌دهد [۱۰]. ملاحظه می‌شود که ۱۴ نمونه دارای گنجایش تورم پایین، ۱۴ نمونه دارای گنجایش تورم متوسط و ۲ نمونه (نمونه‌های ۱۴ و ۳۰) دارای گنجایش تورم بالا هستند.

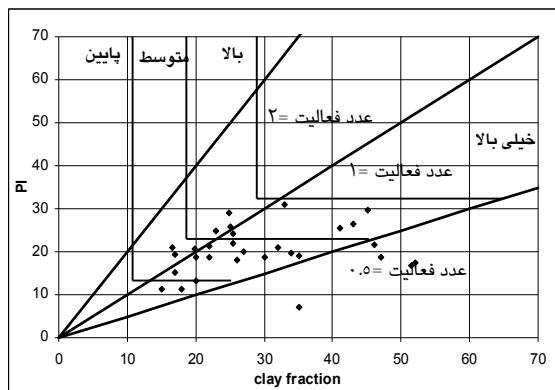
۵-۲-۳- درصد رس، نشانه خمیری و درجه فعالیت

ویلیامز با انجام آزمایش‌های متعدد یک چارت طبقه‌بندی

گنجایش تورم را بر اساس تغییرات نشانه خمیری، درصد رس و عدد فعالیت پیشنهاد نموده است. شکل ۶ موقعیت نمونه‌های آزمایش شده را بر روی چارت پیشنهادی ویلیامز نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که ۸ نمونه در محدوده گنجایش تورم پایین، ۱۵ نمونه در گنجایش تورم متوسط و ۸ نمونه در گنجایش تورم بالا قرار دارند.



شکل (۵) طبقه‌بندی پتانسیل تورم برحسب حد روانی و دانسیته خشک



شکل (۶) طبقه‌بندی پتانسیل تورم نمونه‌ها بر حسب درصد رس،

نشانه خمیری و فعالیت بر اساس چارت پیشنهادی ویلیامز

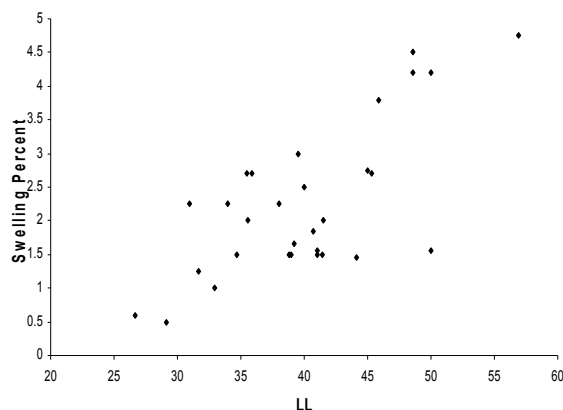
شکل ۷ گنجایش تورم نمونه‌ها را بر حسب درصد رس و درجه فعالیت با استفاده از چارت پیشنهادی سید و همکارانش طبقه‌بندی می‌کند [۱۲]. این نمودار علاوه بر طبقه‌بندی گنجایش تورم از لحاظ کیفی، درصد تورم احتمالی را برای هر گروه از گنجایش تورم به صورت کمی پیشنهاد می‌کند.

1- Chen
2- Van Der Merw

جدول (۳) خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی برای ۱۰ نمونه

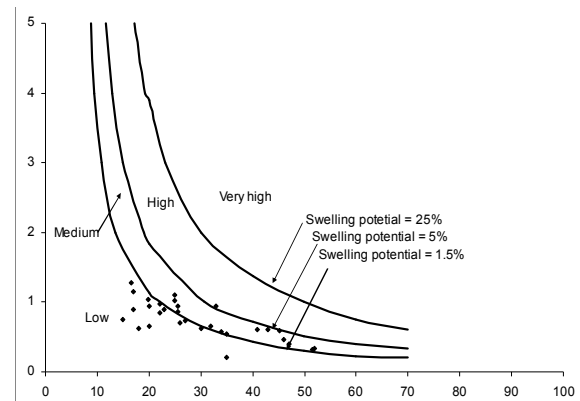
	۲	۷	۱۳	۱۴	۱۸	۱۹	۲۰	۲۳	۲۸	۳۰
حد خمیری	۱۸/۵	۱۸/۳	۱۶/۵	۲۵/۸	۱۰	۲۰/۵	۲۲	۲۲/۷	۲۰/۴	۲۲
حد روانی	۴۰	۳۸	۳۴/۶۶	۵۶/۸۷	۳۰/۹۴	۴۵/۹	۲۹/۱۲	۴۴/۱	۵۰	۵۱
نشانه خمیری	۲۱/۵	۱۹/۷	۱۸/۱۶	۳۱/۰۷	۲۰/۹۴	۲۵/۴	۷/۱	۲۱/۴	۲۹/۶	۲۹
درصد رس	۴۶	۳۴	۲۶	۳۳	۳۲	۴۱	۳۵	۲۲	۴۵	۲۵
عدد فعالیت	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۷	۰/۹۴	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۲	۰/۹۷	۰/۵۹	۱/۱
درصد تورم (SP)	۲/۵	۲/۲۵	۱/۵	۴/۷۵	۲/۲۵	۳/۸	۰/۵	۱/۴۵	۱/۵۵	۴/۲
فشار تورم (kPa)	۱۶	۱۴	۱۲	۴۰/۵	۱۴	۲۲	۲/۸	۲۹	۱۸	۲۰
کاتیون کلسیم (%)	۱۷/۰۳	۱۴/۷۴	۱۳/۹۳	۱۷/۳۵	۱۶/۶۵	۱۲/۷۲	۱۲/۱	۱۶/۶۵	۱۶/۵۱	۱۲/۸۷
کاتیون سدیم (%)	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۸۶	۰/۹	۰/۶۲	۱/۲۶	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۵۶	۱/۱۷
کاتیون پتاسیم (%)	۱/۰۸	۱/۸۴	۱/۸۳	۲/۰۲	۱/۵	۲/۰۲	۱/۸۳	۱/۵۹	۱/۶۶	۲/۱۵
کربنات کلسیم (%)	۲۴/۴	۳۰/۱۲	۳۱	---	۳۱	۲۷/۴۸	۲۵/۷۲	۳۱	۳۲/۸۶	---
کانولینیت (%)	۱۰	۸	۲	۱۵	۵	۲	۲۲	۲۵	۷	۲
ایلیت (%)	۱۸	۲۰	۳۴	۲۹	۱۱	۱۶	۲۷	۱۵	۱۹	۳۲
مونت مریلونیت	۲۷	۲۵	۲۰	۳۴	۲۷	۳۱	۷	۲۹	۳۰	۵۰

درصد ریزدانه خاک به‌ویژه ذرات رس، وجود کانی مونت‌موریلونیت در خاک رس [۱۴] و همچنین وجود کاتیون‌های یک ظرفیتی مثل سدیم در اطراف ذرات رس [۱۵] از پارامترهای موثر بر ویژگی‌های تورمی خاک است و افزایش هر یک باعث افزایش گنجایش تورم خاک می‌شود. برای نمونه‌های خاک منطقه مطالعه شده (شکل‌های ۸ تا ۱۳)، تأثیر تمامی موارد بر گنجایش تورم بررسی شده و با وجود پراکندگی نتایج، روند افزایشی پیش‌بینی شده، مشاهده می‌شود.



شکل (۸) تغییرات درصد تورم بر حسب حد روانی برای ۳۰ نمونه

بر طبق این طبقه‌بندی ۱۴ نمونه در گروه گنجایش تورم پایین، ۱۵ نمونه در رده متوسط و ۱ نمونه در گروه گنجایش تورم بالا قرار دارد. مشاهده شد که برای ۲۲ نمونه بین درصد تورم اندازه‌گیری شده از روش مستقیم در آزمایشگاه و درصد تورم پیشنهادی در نمودار سید و همکاران تطابق وجود دارد.

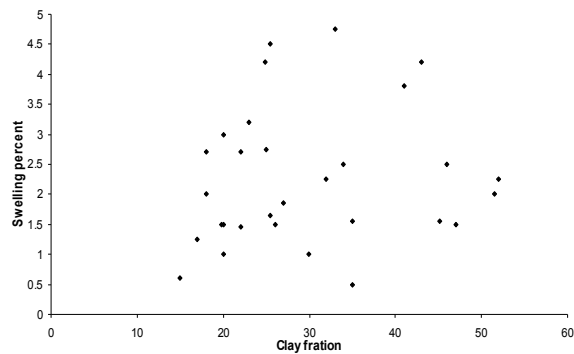


شکل (۷) طبقه‌بندی پتانسیل تورم نمونه‌ها بر حسب عدد فعالیت و

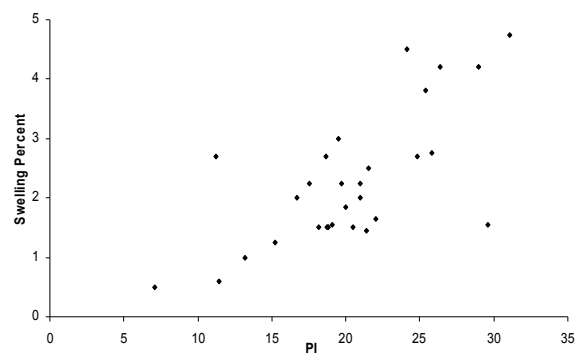
درصد رس براساس چارت پیشنهادی سید و همکاران

۵-۳- عوامل موثر بر تورم

نشانه خمیری، جرم مخصوص خشک اولیه [۱۳]،



شکل (۱۳) تغییرات درصد تورم بر حسب درصد رس برای ۳۰ نمونه



شکل (۹) تغییرات درصد تورم بر حسب نشانه خمیری برای ۳۰ نمونه

۶- نتیجه گیری

آزمایش‌های حدود اتربرگ، دانه‌بندی به روش هیدرومتری، تعیین درصد تورم، آزمایش‌های شیمیایی و آزمایش‌های کانی‌شناسی روی نمونه‌های خاک مناطق "مسکن و شهرسازی" و "بلوار صابر یزدی" شهر یزد انجام شد. خلاصه‌ای از نتایج آزمایش‌ها به قرار زیر است.

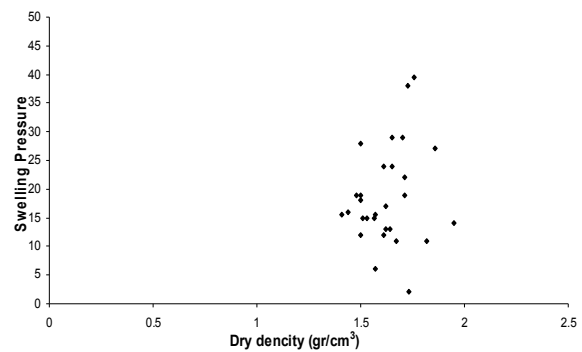
۱. بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید، ۲۸ نمونه در رده CL و ۲ نمونه در رده CH قرار دارد.

۲. همان‌گونه که انتظار می‌رود، افزایش درصد کانی مونت‌مریلونیت در برخی نمونه‌ها باعث افزایش درصد تورم آن‌ها شده است. همچنین با افزایش کاتیون سدیم، درصد تورم نیز افزایش یافته است.

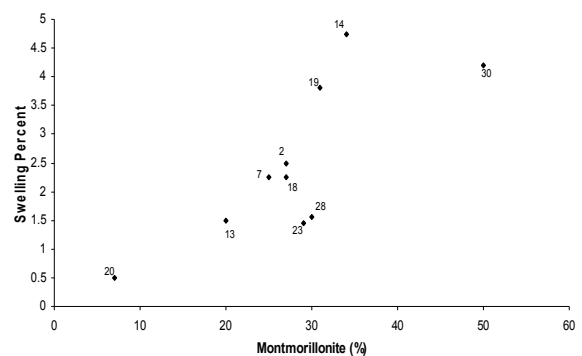
۳. به طور کلی مقدار کاتیون سدیم در خاک منطقه کم و مقدار کاتیون کلسیم زیاد است؛ احتمالاً یکی از دلایل کم بودن گنجایش تورم برخی نمونه‌ها، همین موضوع بوده است.

۴. همان‌گونه که انتظار می‌رود، ویژگی‌های خمیری شامل حد روانی و نشانه خمیری نمونه‌ها به گونه‌ای مستقیم با درصد تورم آزمایشگاهی آن‌ها مرتبط است.

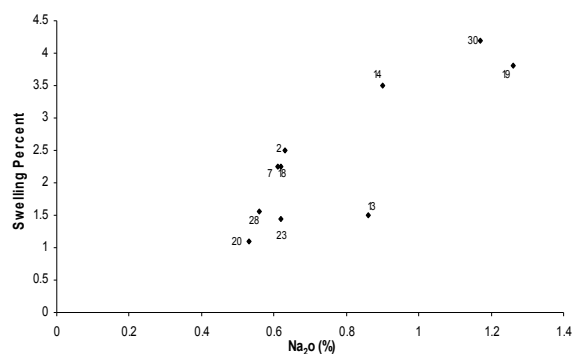
۵. درصد تورم آزمایشگاهی ۲۲ نمونه (۷۵ درصد نمونه‌ها) با درصد تورم پیشنهاد شده بر اساس روش سید هماهنگ است. پس این روش می‌تواند مناسب‌ترین روش برای ارزیابی غیرمستقیم گنجایش تورم خاک شهر یزد باشد.



شکل (۱۰) تغییرات فشار تورم بر حسب دانسیته خشک برای ۳۰ نمونه



شکل (۱۱) تغییرات درصد تورم بر حسب کانی مونت‌مریلونیت ۱۰ نمونه



شکل (۱۲) تغییرات درصد تورم با اکسید سدیم برای ۱۰ نمونه

- [13] Williams, A.B and Donalson, G.W., 1980. Building on expansive soil in South Africa. Proceeding of the conference on expansive soils. Vol. 2, 834-844
- [14] Seed, H.B., 1962. Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal of the soil mechanics and foundation division, ASCE, Vol. 88, No. SM4, 107-131.
- [15] Sridharan, A. and Gurtug, Y., 2004. Swelling behavior of compacted fine-grained soils. Engineering Geology 72, 9-18.
- [16] Seed, H.B. and Woodward, R.J., 1988. Pressure of swelling soil against retaining walls. Soil mechanic and foundation engineering. Vol 25, No. 3, 101-105.
- [17] Abdullah, W.S. and Alshibli, K.A., 1999. Influence of pore water chemistry on the swelling behavior of compacted clays. Applied Clay Science 15, 447-462.
۶. افزایش آهک در خاک منطقه باعث کاهش گنجایش تورم شده است. نمونه‌های شماره ۱۴ و ۳۰ که آهک ندارند، نسبت به دیگر نمونه‌ها گنجایش تورم بالاتری دارند.
۷. وجود کاتیون پتاسیم در خاک، نشان‌دهنده وجود کانی ایلیت است؛ آزمایش کانی‌شناسی این موضوع را تأیید می‌کند.
- ## ۷- مراجع
- [۱] مهرنهاد، پهنه‌بندی لرزه‌خیزی شهر یزد
- [۲] نخعی علی؛ "طبقه‌بندی خاک‌های تورم‌پذیر"؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی دانشگاه تهران، ۱۳۷۳.
- [3] Basma, A.A. and Al-Homoud Husein, A., 1995. Laboratory assessment of swelling pressure of expansive soils. Applied Clay Science 9, 355-368.
- [4] ASTM, 1998. Test method for laboratory determination of water content of soil and rock by mass. Designation: D2216-98.
- [5] ASTM, 1998. Test method for specific gravity of soil solid by water pycnometer. Designation: D854.
- [6] ASTM, 1998. Test method for particle-size analysis of soil. Designation: D422-63.
- [7] ASTM, 1998. Test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils. Designation: D4318.
- [8] ASTM, 1996. One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils. Designation: D4546-96.
- [9] ASTM, 1995. Test method for X-Ray radiography of soil sample. Designation: D4452-85.
- [10] ASTM, 1996. Test method for calcium carbonate content of soils. Designation: D4373-96.
- [11] Hunt, H., 1987. Geotechnical engineering techniques and practice. Mc Graw-Hill Book Company
- [12] Mitchel, J.K. and Gardner, W.S., 1975. In situ measurement of volume change characteristics. state of the art report, proceeding of the ASCE speciality conference on in situ measurement of soil properties

«Research Note»

A Comprehensive Study on Swelling Potential of Yazd Clay

M. Dehghan^{1*}, A. Soroush², M. Salehi³

1- M.S, Geotechnical Engineering of Amirkabir Industrial University

2- Associated Prof. of Civil and Env. Eng. Dep. of Amirkabir Industrial University

3- Head master of Zaminsakht Consultant Engineering

mmhdehghan@gmail.com

Abstract:

Some of the structures founded on clay soils in the desert area of the country, especially in Yazd, have suffered damages, most probably due to swelling of the soil. The ambiguity in the interpretation of the mechanisms and causes of these damages has necessitated studying swelling characteristics of these soils. Thirty soil samples, taken from 1.5m to 3.0m below the ground surface, were tested. Tests included: (a) physical tests including determination of Atterberg Limits, hydrometer method gradation, natural dry density, water content, and swelling pressure/percentage; (b) chemical tests for determining chemical substances and cations of the samples and (c) XRD tests to determine the soil mineralogy. According to the indirect methods of swelling assessment, most of the samples lie in the medium to low swelling potential categories. The direct oedometer test support this notion. The prevailing minerals present in the soil samples are illite and calcium montmorillonite. The paper also presents the relationships between the swelling potential and the Atterberg Limits, clay fraction, sodium and calcium contents of the soil.

Keywords: Swelling soil, Swelling potential, Atterberg Limits, Mineralogy, Chemical tests