ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۱/۰۹/۲۰

تأثیر افزودنی های شیمیایی مدرن و مقایسه با افزودنی های سنتی بر رفتار تورم

رامین احمدزاده خمامی مقدم

[1] کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشگاه آزاد رشت، گیلان، ایران

چکیده

هدف پژوهش حاضر، تأثیر افزودنی های شیمیایی مدرن و مقایسه با افزودنی های سنتی بر رفتار تورم می باشد. روش توصیفی-تحلیلی و روش گردآوری اطلاعات کتابخانه ای است، ابتدا با جستجو در پایگاه ها و سایت های اینترنتی و بانک های اطلاعاتی و استنادی مانند پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران، SID، مگ ایران می باشد در بین منابع مختلف با توجه به موضوع انتخابی و تحقیقات انجام شده است. در این تحقیق از روش کتابخانه ای استفاده شده، نوع داده ها ونحوه اجراء هم به روش کتابخانه ای است. روش در تحقیقاتی که ماهیت کتابخانه ای دارند تقریبا تمام تلاش محقق در کتابخانه ها صورت می پذیرد. حتی در تالیفات و تصنیفات نیز از این روش استفاده می شود. گام اول در مهارت تحقیق کتابخانه ای آشنایی با نحوه استفاده از کتابخانه است برای اینکار محقق باید از روش های کتابداری نحوه استفاده از برگه دان و ثبت مشخصات کتاب، نحوه جستجوی کتاب در کتابخانه و رایانه و ... اطلاع حاصل نماید. اسناد عمده در مطالعات کتابخانه ای عبارتند از : کتاب؛ مقاله ها و مجله ها؛ سایت ها، دیسک های رایانه؛ اسناد اصل؛ اسناد دولتی؛ نشریه های رسمی دولتی-اسناد شخصی و خصوصی؛ مطبوعات؛ آمار نامه ها. ابزار گردآوری اطلاعات از طریق فیش‌برداری از منابع بود. بدین صورت که بعد از مأخذشناسی و گردآوری منابع مطالب موردنیاز استخراج و در فیش ثبت شد.روش تجربه و تحلیل و بررسی اطلاعات به صورت توصیفی – تحلیلی می‌باشد.

واژه گان کلیدی: افزودنی های شیمیایی مدرن، افزودنی های سنتی، رفتار تورم

-مقدمه

خاک متورم شونده یا منبسط شونده[1] گروهی از خاک های مسئله دار هستند که عموما جزء گروه خاک های ریزدانه بوده و به طور معمول مخلوطی از کانی های رسی و غیر رسی اند. مشخصات ژئوتکنیکی این خاک ها توسط بخش رسی آن ها کنترل می شود. این گروه از خاک ها دارای مقدار قابل توجهی کانی مونت موریلونیت هستند که با آبگیری متورم شده و بر اثر از دست دادن آب منقبض می شوند . امروزه خاک های رسی متورم شونده (-آماسی-) در بسیاری از نقاط دنیا به ویژه نواحی خشک و نیمه خشک همانند کشور ایران پراکنده شده اند. وجود سطح مخصوص قابل توجه، نفوذپذیری بسیارکم و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد رس ها سبب شده که این مصالح در پروژه های ژئوتکنیک زیست محیطی به طور وسیع مورد استفاده قرار گیرد. خاک های متورم شونده از نوع خاک های مشکل زایی هستند که با تغییر رطوبت، دچار تغییر حجم میشوند. این خاک ها معمولاً حاوی مقادیر زیادی رس بوده و مقدار تورم آنها بستگی کامل به نوع کانی های رسی و پیوندهای مولکولی دارد. همچنین نوع مواد شیمیایی که با این نوع خاک در تماس است، بر نحوه رفتار آن بسیار تأثیرگذار می باشد.

روش های متعددی برای تشخیص خاک های متورم شونده وجود دارد که شامل روش های استفاده از مشخصات فیزیکی خاک مثل حدود اتربرگ، شاخص خمیری و عدد فعالیت، روش های کانی شناسی مثل آزمایش اسکن الکترونیکی[2] و همچنین آزمایش تورم آزاد اشاره کرد. در آزمایش اندازه گیری پتانسیل تورم توسط آزمایش تورم آزاد از دستگاه ادومتر استفاده میشود به طوری که نمونه خاک مورد نظر به حالت اشباع زیر گیج تورم آزاد به مدت ۲۴ ساعت قرار میگیرد. چنانچه خاک در حین اشباع شدن تغییر حجم دهد، با توجه به اعداد روی گیج متورم بودن آن مشخص خواهد شد. هدف از انجام این تحقیق بررسی نحوه اثرگذاری مواد تثبیت کننده شیمیایی (رزین اپوکسی)به همراه سیمان بر به سازی مشخصات مهندسی از قبیل رفتار تورم و مقاومت برشی خاک های رسی متورم شونده است. خاک مورد استفاده در این تحقیق از نوع خاک رس متورم شونده با دانه بندی حدوداً یکنواختی می باشد.

این خاک از منطقه ثامن مشهد (حرم مطهر رضوی) تهیه شده و به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی سجاد منتقل می شود. خاک مذکور از لحاظ ظرفیت باربری جزء خاک های ضعیف و مسئله دار محسوب می شود و از آنجا که در محل برداشت خاک (محدوده حرم مطهر رضوی)ساخت و ساز وسیعی در حال انجام است و همچنین با توجه به اینکه اکثر نقاط این محدوده از خاک مشابه برخوردارند، این خاک جهت انجام تحقیقات انتخاب شده است. از مشکلات این خاک می توان به ظرفیت باربری کم، مقاومت برشی کم و افزایش حجم زیاد اشاره کرد که در پروژه های عمرانی مشکلات فنی و مهندسی زیادی را به همراه خواهد داشت.

در این پژوهش ابتدا به بررسی دقیق و تشخیص نوع خاک نمونه گیری شده از محدوده حرم مطهر رضوی توسط آزمایش های دانه بندی و حدود اتربرگ پرداخته، سپس پتانسیل تورم خاک بهسازی شده توسط آزمایش تورم آزاد در دستگاه ادومتر تعیین شده و در نهایت پارامترهای مقاومت برشی خاک در شرایط متفاوت و درصد وزنی های مختلف توسط آزمایشات برش مستقیم بدست می آیند. جدول شماره(۱) مقادیر پیشنهادی رزین اپوکسی و سیمان را نمایش میدهد. این مقادیر با توجه به نتایج آزمایشات قابل

[1] Expansive Soil
[2] SEM

تغییر خواهند بود. تمامی آزمایشات مطابق با استاندارد های زیر در آزمایشگاه تخصصی مکانیک خاک دانشگاه صنعتی سجاد انجام خواهند گردید:

۱) آزمایش حدود اتربرگ(استانداردASTM D4318)
۲) آزمایش هیدرومتری(استانداردASTM D4221)
۳) آزمایش برش مستقیم (استانداردASTM D3080)
۴) آزمایش تحکیم (استانداردASTM D2435( )
۵) آزمایش تورم آزاد(استانداردASTM D4546)

آزمایش های شاخص خاک	دانه بندی	حدود اتربرگ	تعیین درصد رطوبت	تعیین دانسیته خشک	چگالی ویژه
آزمایش شناسایی پتانسیل تورم زایی خاک	هیدرومتری		تحکیم		آنالیز شیمیایی
درصد های افزودنی جهت آزمایش برش مستقیم باقالب ۱۰×۱۰ و آزمایش تحکیم با دانسیته طبیعی در ۱۰۰ گرم خاک	رزین اپوکسی ۲ جزئی ۵ گرم سیمان ۲۰ گرم	رزین اپوکسی ۲ جزئی ۱۰ گرم سیمان ۲۵ گرم	رزین اپوکسی ۲ جزئی ۱۵ گرم سیمان ۳۰ گرم	رزین اپوکسی ۲ جزئی ۲۰ گرم سیمان ۳۵ گرم	

جدول(۱) مقادیر پیشنهادی رزین اپوکسی و سیمان[7]

دستگاه های آزمایش برش مستقیم و ادومتر در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی سجاد موجود میباشد. قبل از شروع آزمایشات تمامی دستگاه ها احتیاج به کالیبراسیون و راه اندازی خواهند داشت. آزمایش تحکیم اصولا برای تعیین مطالعه قابلیت فشرده شدن و خصوصیات تحکیم خاک و میزان نشست تحکیمی در خاک های رسی اشباع صورت میگیرد. عمل خارج شدن آب از خاک تحت اثر فشارهای هیدرواستاتیکی اضافی تحکیم نام دارد. عمل تحکیم مادامی که فشار نام برده به ذرات خاک منتقل نشده است انتقال می یابد، در اثر عمل تحکیم و خارج شدن آب از خاک حجم نمونه کاهش یافته و سطح آن پایین می آید .روش آزمایش به این صورت است که خاک رسی تحت یک سیکل بارگذاری افزایشی و 24 ساعته قرار گرفته و میزان نشست آن طی این مدت اندازه گیری می شود و پس از تجزیه تحلیل نتایج و رسم نمودار های تحکیم پارامتر هایی از قبیل نسبت پیش تحکیمی و ضریب فشردگی خاک تعیین میگردد. در این پژوهش جهت اندازه گیری پارامترهای تحکیمی خاک مورد مطالعه، چندین آزمایش تحکیم

بر روی نمونه های خاک متورم شونده و نمونه های بهسازی شده صورت خواهد گرفت. در این پژوهش از آزمایش تورم آزاد (استاندارد ASTM D4546)جهت بررسی پتانسیل تورم خاک های متورم شونده بهسازی شده استفاده میگردد. نمونه خاک متورم شونده در درصد رطوبت نرسیده به درصد رطوبت بهینه متراکم گردیده و سپس نمونه متراکم شده در قالب آزمایش تورم قرار میگیرد.

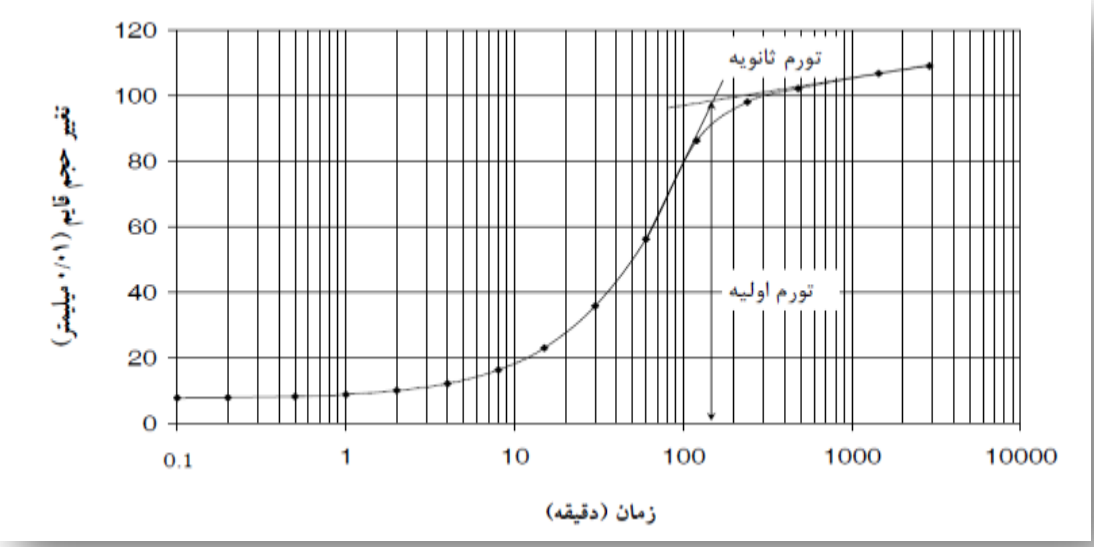
سپس قالب ادومتر به آرامی پر از آب شده به نحوی که نمونه داخل قالب کاملا در آب قرار گیرد .با توجه به اینکه نمونه از طرفین محصور می باشد بنابراین تغییر حجم فقط در جهت ارتفاع نمونه اتفاق افتاده و قابل اندازه گیری خواهد بود پس از اینکه نمونه آب را به خود جذب کرد شروع به ثبت تغییرات ارتفاع نمونه میکنیم. آزمایش تا زمانی که تورم کوتاه مدت (تورم اولیه) به پایان برسد ادامه دارد .در برخی نمونه ها، آزمایش تا رسیدن به تورم ثانویه ادامه پیدا خواهد کرد. شکل(۱) طریقه مشخص کردن مقدار تورم اولیه یا تورم کوتاه مدت نشان می دهد.

با توجه به نمودار شکل(۱) و کمک گرفتن از رابطه ی(۱) می توان مقدار تورم آزاد اولیه را بدست آورد:

$$S_{wp} = \frac{\Delta h}{H} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه Δh تغییرات ارتفاع نمونه و H ارتفاع اولیه نمونه است.

در انتها با توجه به شکل شماره(۱) تورم اولیه و ثانویه برای هر نمونه از نتایج آزمایش تورم آزاد به دست می آید.



شکل(۱) به دست آوردن تورم اولیه و ثانویه از نتایج آزمایش تورم آزاد[4]

آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه های خاک متورم شونده و بهسازی شده برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی نمونه ریمولد شده در شرایط کنترل کرنش انجام میگردد. تعداد ۳ نمونه یا بیشتر جهت تعیین پارامترهای مقاومتی برشی (زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی) و پوش گسیختگی موهر-کلمب مورد آزمایش قرار میگیرد. از مهمترین ضعف های آزمایش برش مستقیم تحمیل کردن صفحه افقی به عنوان صفحه گسیختگی میباشد، در حالیکه در طبیعت خاک در راستای ضعیفترین صفحه دچار گسیختگی برشی میگردد. علیرغم این ضعف، به دلیل سهولت اجرا و زمان کوتاه آزمایش برش مستفیم، این آزمایش یکی از پرطرفدارترین آزمایش های بررسی مقاومت برشی خاک میباشد.

-بحث تحقیق

عوارض ناشی از تورم پذیری خاک ها

همانطور که اشاره شد مشکل اساسی در رابطه با خاکهای تورم پذیر تغییر حجم قابل توجه و تاثیر آن بر سازه های مجاور به صورت تغییر شکل (در صورت وجود امکان ایجاد تغییر شکل یا جابجایی) و یا اعمال فشار (در صورت عدم امکان تغییر شکل) می باشد. این دو پدیده یعنی تغییر شکل یا اعمال فشار موجب جابجایی (اغلب بالازدگی) یا اعمال تنش به سازه ها شده و در صورت سبکی سازه و یا مقاوم نبودن آنها، خسارت هایی مانند جابجایی، کج شدگی، ترک خوردن و در بعضی مواقع تخریب کلی سازه را موجب می گردد[8]عوارض ناشی از پدیده تورم - انقباض خاک ها، بسته به نوع و شرایط سازه، به صورت‌های مختلفی بروز پیدا می‌کند. در شرایط طبیعی خاکهای تورم پذیر واقع در سطح زمین پس از کاهش رطوبت و انقباض، دارای شبکه وسیع و عمیقی از ترک و شکاف بصورت موزائیکی (که به اصطلاح سله بستن خاک نامیده می‌شود) می‌گردند.

در اجزاء بیرونی سازه

ایجاد ترک های قطری یا پلکانی در دیوارهای آجری، این ترک ها ممکن است از آجر بگذرد و یا فقط ملات این آجرها را شامل شود.

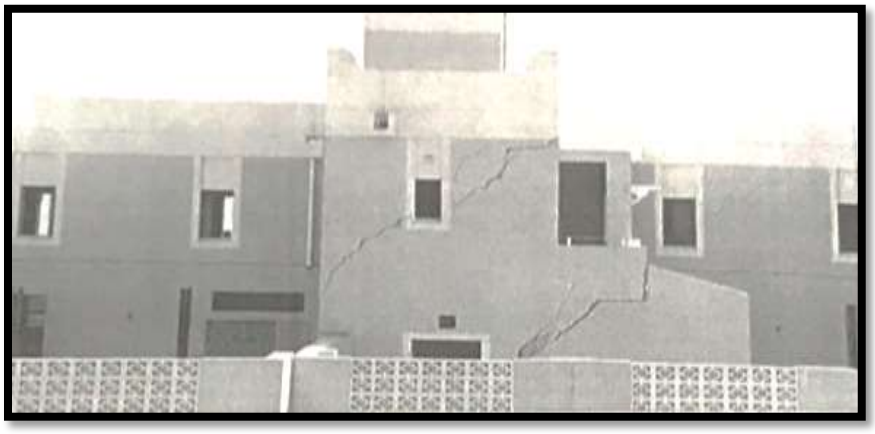
- شکم دادن خطوط آجر، هنگامی که در امتداد سطح دیوار نگریسته شود.
- کج شدگی اجزا غیر قائم سازه،
- جداشدگی درز قطعات چوبی در گوشه‌ها،
- جداشدگی رویه رمپ های ورودی از پی،
- کج شدن دیوارهای حائل فضای سبز،

در اجزاء داخلی سازه

- ایجاد ترک در دیوارهای داخلی و سقف،
- کج شدگی یا شکم دادن اجزای غیرقائم،
- جدا شدن دیوار از کف سازه،

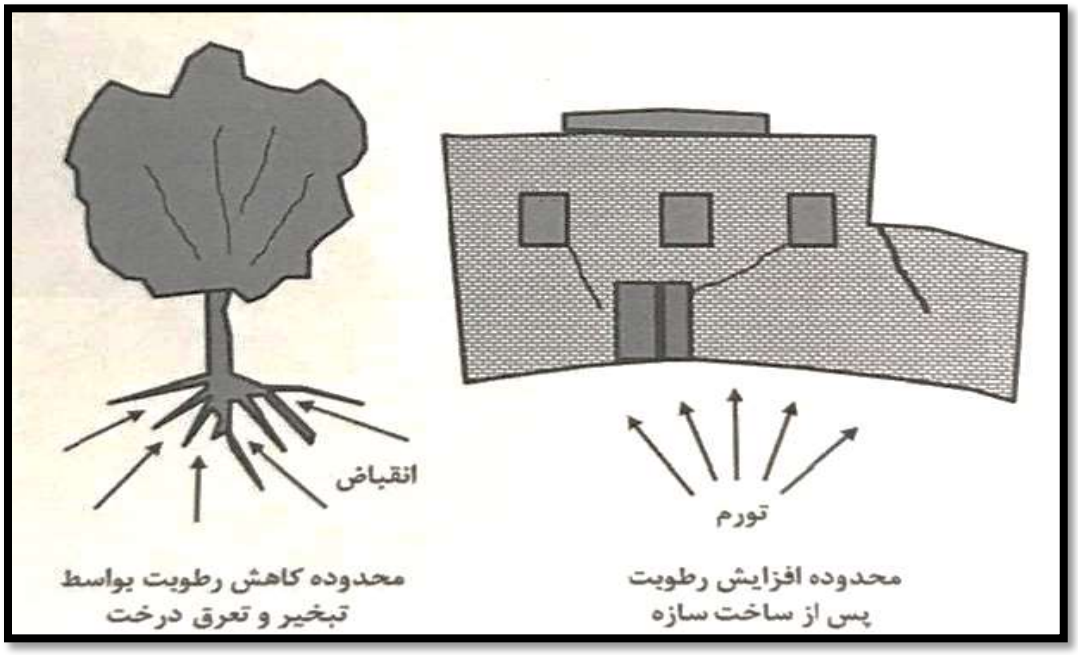
- ایجاد ترک در گوشه های دیوار داخلی،
- ایجاد ترک در بالای درب ها،
- گیر کردن درب‌ها (پیچ خوردن چارچوب‌ها)،
- گیر کردن پنجره‌ها،
- شیب دار شدن سطح کف ها،
- ایجاد ترک در پوشش های سرامیکی یا کاشی کاری ها،
- ایجاد ترک در گوشه‌ای کف سازه،

در شکل های زیر برخی از عوارض ناشی از تورم - انقباض خاک ها در سازه های مختلف به صورت تصویری نشان داده شده است.در شکل (۲-۲) تصویری از ترک های برشی ایجاد شده در دیوارهای یک سازه مسکونی سبک دیده می شود.



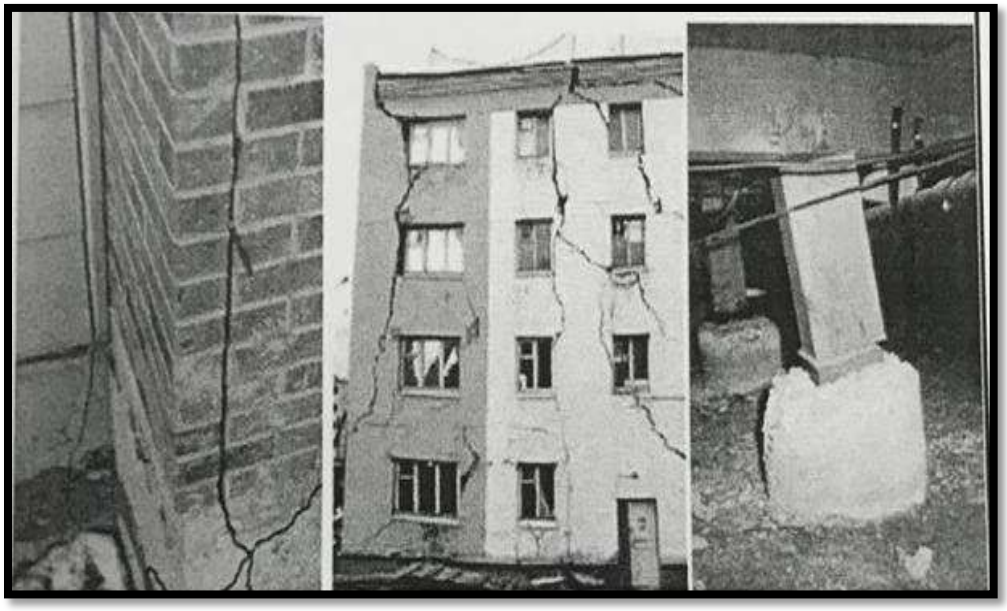
شکل (۲): ترک خوردگی دیوار ناشی از تورم خاک پی[9]

شکل (۳-۲) مکانیزم تورم، ایجاد تغییر شکل‌ها و بروز ترک های برشی در سازه نشان داده شده است.



شکل (۳): ترک خوردگی دیوار ناشی از تورم خاک پی[10]

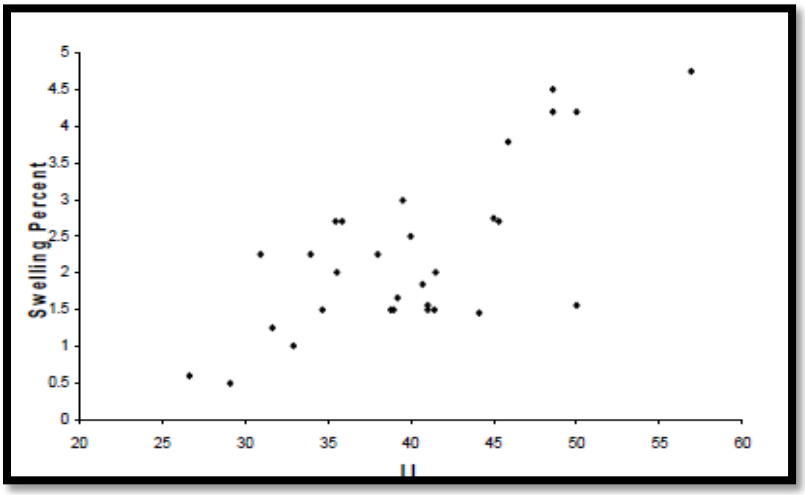
در شکل (2-4) اثرات تخریبی تورم خاک بر اجزاء سازه را مشاهده می کنید.



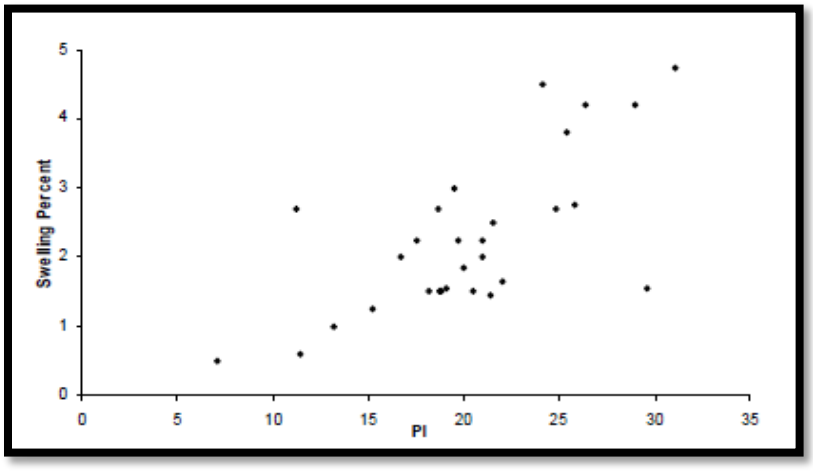
شکل (۴): ترک خوردگی دیوار ناشی از تورم خاک

عوامل موثر بر تورم

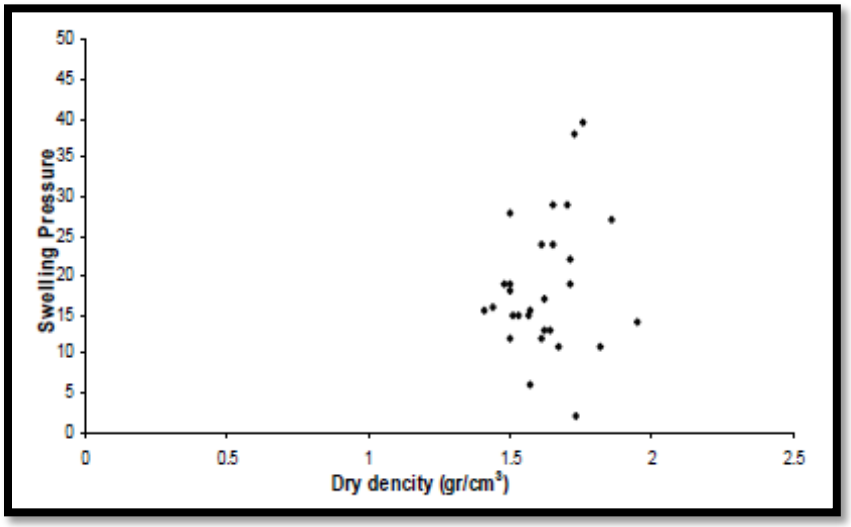
نشانه خمیری، جرم مخصوص خشک اولیه[13]، درصد ریزدانه خاک به ویژه ذرات رس، وجود کانی مونتموریلونیت در خاک رس [14]و همچنین وجود کاتیون های یک ظرفیتی مثل سدیم در اطراف ذرات رس [15]از پارامترهای موثر برویژگی های تورمی خاک است و افزایش هر یک باعث افزایش گنجایش تورم خاک می شود .برای نمونه های خاک منطقه مطالعه شده (شکل های ۱۶ تا۲۱)، تأثیر تمامی موارد بر گنجایش تورم بررسی شده و با وجود پراکندگی نتایج، روند افزایشی پیش بینی شده، مشاهده میشود.



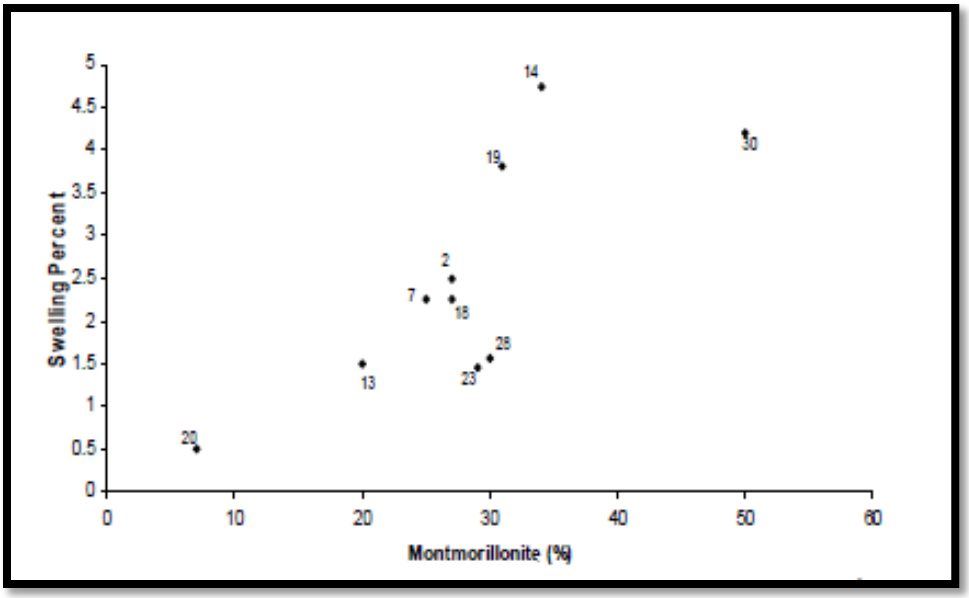
شکل(۱۶) تغییرات درصد تورم بر حسب حد روانی برای ۳۰ نمونه[13]



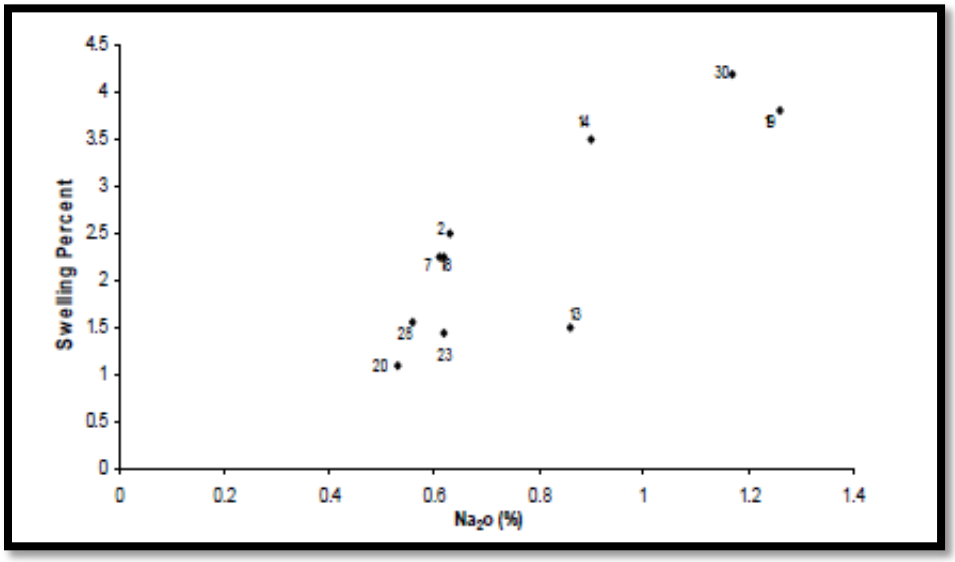
شکل(۱۷) تغییرات درصد تورم بر حسب نشانه خمیری برای ۳۰ نمونه[15]



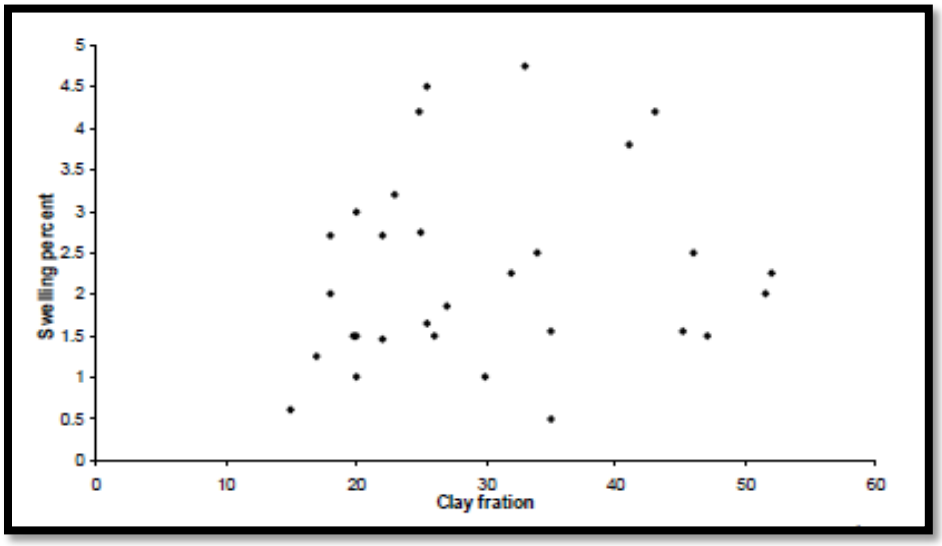
شکل(۱۸) تغییرات فشار تورم بر حسب دانسیته خشک برای ۳۰ نمونه[15]



شکل(۱۹) تغییرات درصد تورم برحسب کانی مونتمریلونیت ۱۰ نمونه[15]



شکل(۲۰) تغییرات درصد تورم با اکسید سدیم برای ۱۰ نمونه[15]



شکل(۲۱) تغییرات درصد تورم بر حسب درصد رس برای ۳۰ نمونه[15]

خلاصه ای از نتایج آزمایش ها به قرار زیر است.

۱. بر اساس طبقه بندی یونیفاید، ۲۸ نمونه در رده CD و ۲ نمونه در رده CH قرار دارد.

۲. همان گونه که انتظار می رود، افزایش درصد کانی مونت مریلونیت در برخی نمونه ها 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 نمونه ها، همین موضوع بوده است.
۴. همان گونه که انتظار میرود، ویژگی های خمیری شامل حد روانی و نشانه خمیری نمونه ها به گونه ای مستقیم با درصد تورم آزمایشگاهی آنها مرتبط است.
۵. وجود کاتیون پتاسیم در خاک، نشان دهنده وجود کانی ایلیت است؛ آزمایش کانیشناسی این موضوع را تأیید می کند.
۶. افزایش آهک در خاک منطقه باعث کاهش گنجایش تورم شده است. نمونه های شماره 14 و 30 که آهک ندارند،
۷. نسبت به دیگر نمونه ها گنجایش تورم بالاتری دارند[15]

همچنین در مطالعات بهروزی در سال ۱۳۹۳، در خاک های ریزدانه به علت نفوذپذیری پایین و جاذب آب بودن کانی های رس، خروج آب از خاک پس از گذشت مدت زمانی طولانی انجام می پذیرد، در این خصوص برآورد نشست حاصل از تحکیم ضروری می باشد. بدیهی است، در صورت عدم پیش بینی، نشست موجب خسارات جبران ناپذیری می گردد. قبل از اجرای هر پروژه باید پتانسیل خاک از نظر مقدار و نوع نشست مشخص گردد. یکی از روش های محاسبه نشست حاصل از تحکیم، استفاده از ضرایبی است که از طریق آزمایش تحکیم بدست می آیند. این ضرایب عبارتند از: شاخص فشردگی، CC، شاخص تورم، CS و شاخص پیش بارگذاری Cr. لذا در این تحقیق از ترمیم کننده بتن ویژه که ماده ای بر پایه سیمان است، برای تثبیت خاک گچی استفاده شده است و این ضرایب محاسبه گردید. برای تثبیت خاک، ترمیم کننده بتن ویژه با درصدهای ۱، ۲، ۳، ۵ و۷ به خاک اضافه گردید. آزمایشات دانه بندی، تعیین چگالی نسبی، تراکم، تعیین حدود اتربرگ و تحکیم طبق استانداردهای موجود بر روی خاک شاهد و بهسازی شده، انجام گردید. همچنین آزمایش آنالیز شیمیایی برای تعیین مقدار عناصر موجود در خاک صورت پذیرفت. پس از انجام آزمایش های ژئوتکنیکی و تعیین خصوصیات فیزیکی و آنالیز شیمیایی نمونه های خاک شاهد و بهسازی شده، مشخص گردید که ضریب در تراکم ٪۸۵ برای تمام درصدهای اضافه شده از ترمیم کننده بتن ویژه، کاهش یافته است.

در تراکم ٪۹۵ بجز در درصدهای ۱ و ۵ از ماده افزودنی ترمیم کننده بتن ویژه، مقدار ضریب کاهش یافته است. همچنین در تراکم ٪۱۰۰ بجز در درصدهای ۲ و ۵ از ماده ترمیم کننده بتن ویژه، مقدار ضریب کاهش یافته است. در تراکم ٪۸۵ ضریب Csدر بهترین حالت ٪۷۶ کاهش یافته است. این ضریب در تراکم ٪۹۵ و در بهترین حالت ٪۶۳ کاهش داشته است. زمانی که تراکم ٪۱۰۰ اجرا گردید، مقدار ضریب Csکاهش نیافت.

-جمع بندی و نتیجه گیری

عوامل مختلفی بر بروز پدیده تورم و مقدار آن موثر هستند که در مجموع می‌توان آنها را در دو گروه عوامل درونی و بیرونی (محیطی) تقسیم بندی کرد. برخی عوامل اجرایی همچون مقدار و شیوه تراکم خاک، رطوبت اختلاط، و چرخه های تر و خشک شدن بر پتانسیل تورم پذیری خاک های رسی موثر می باشند. روش های آزمایشگاهی شناسایی خاک های متورم شونده شامل آزمایش‌های شیمیایی، کانی شناسی و آزمایش‌های ارزیابی مستقیم و غیرمستقیم پتانسیل تورم هستند. شناسایی کانی رس یکی

از مبانی اولیه و اصلی برای تشخیص خاک های تورم پذیر محسوب می گردد. برای تشخیص نوع کانی های رسی روش های مختلف وجود دارد.

منابع و ماخذ

1. M.R. Abdi, A.R. Zandieh, H. Mirzaeifar, 2017, Effects of geogrid and grain size on pullout in clays with geogrid embedded in coarse soil, International Journal of Physical Modelling in Geotechnics. (Awaiting Decision)
2. M.R. Abdi, H. Mirzaeifar, 2017, Experimental and PIV evaluation of grain size and distribution on soil – geogrid interactions in pullout test, Soils and Foundation Journal, (Accepted- To be published in November 2017).
3. H. Ghasemzadeh, M.R. Abdi, N. Ganjian, K. Shakiba Nia, 2017, A Methdology for Estimation of Soil Water Charactreristic Curve for Unsaturated Cohesive Soils, Linnaeus Eco-Tech Journal, 1046-1054.
4. M.R. Abdi, H. Mirzaeifar, 2016, Effects of discrete short polypropylene fibers on behavior of artificially cemented kaolinite, International Journal of Civil Engineering, 14(4), 253-262.
5. M. Zeinoddini, S. Kakasoltani, M.R Abdi, I. Ahmadi, 2016, Model testing of upright and tapered suction caissons in sand, Ships and Offshore Structures, 11(1), 50-63.
6. M.R. Abdi, N. Bohlooli, 2015, Influence of basic oxygen slag (bos) on strength and volumetric stability characteristics of lime stabilized kaolinite, Sharif Civil Enineering Journal, 31(2), 39-50.
7. M.R. Abdi, A.R. Zandieh, 2014, Experimental and numerical analysis of large scale pull out tests conducted on clays reinforced with geogrids encapsulated with coarse material, Geotextiles and Geomembranes, 42 (5), 494-504.
8. M.R. Abdi, M.A. Arjomand, 2011, Pullout tests conducted on clay reinforced with geogrids embedded in thin layers of sand, Geotextiles and Geomembranes 29, 588-595.
9. M.R. Abdi, 2011, Effects of Basic Oxygen Steel Slag (BOS) on Strength and Durability of Kaolinite, Int. Jour. Of Civil Eng. , No. 20,Vol. 9, 81-90.
10. M.R. Abdi, 2011, Effects of basic Oxygen steel slag (BOS) on strength and durability of kaolinite, International Journal of Civil Engineering, 9(2), 81-89.
11. M.R. Abdi, M.A. Arjomand, 2010, Feasibility study of improving clay-geogrid interaction by using thin layers of sand, Journal of Civil Engineering, 21(2), 85-100.
12. M. Zeinoddini, S.A. Mousavi, M.R. Abdi, 2011, Simulation of suction caisson penetration in seabed using an adaptive mesh technique, Procedia Engineering, 14, 1721-1728.
13. M.R. Abdi, A. abdi , M.A. Arjomand, 2009, Strength Enhancement of clay by encapsulating geogrids in thin layers of sand , Geotextiles & Geomembranes 27 , 447 – 445.

14. M.R. Abdi, A. abdi, M.A. Arjomand, 2009, Clay Reinforcement Using Geogrid Embedded In Thin Layers of Sand, Int. Jour. Of Civil Eng. 4 (7), 221 – 232.
15. M.R. Abdi, A. Parsa Pajouh, 2009, Use of bentonite and lime for decreasing the permeability of liner and cover in landfills, Civil Engineering Infrastructures Journal, 43(1), 61-70.
16. M.R. Abdi, A. Parsapajouh, M.A. Arjomand, 2008, Effects of Random Fiber Inclusion on Consolidation, Hydraulic Conductivity, Int. Jour. Of Civil Eng. 4, 284 – 292.
17. A. Sanayei, S.F. Mousavi, M.R. Abdi, A. Mohaghar, 2008 , An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming, Journal of the Franklin Institute, 345 (7), 731-747.
18. M.R. Abdi, S. Wild, 1993, Sulphate expansion of lime stabilized kaolinite: I. Physical characteristics, Clay Minerals 28 (4), 555 – 566.
19. S. Wild, M. R. Abdi, G. Leng-Ward, 1993, Sulphate expansion of lime stabilized kaolinite: II. Reaction products and expansion, Clay Minerals 28 (4), 569 – 583.
20. M.R. Abdi, 1992, Effect of calcium sulphate on lime-stabilised kaolinite, Ph.D. Thesis, Polytechnic of Wales, University of South Wales.