

# کاهش فشار تورمی وارد بر لوله های انعطاف پذیر مدفون در خاک منبسط شونده با استفاده از ژئوفوم

سیدامیرحسین جباری<sup>۱</sup>، عبدالحسین حداد<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

ahadad@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۸/۲/۱۹]

تاریخ دریافت: [۹۷/۲/۲۳]

## چکیده

خاک‌های با پتانسیل تورمی بالا از جمله خاک‌های مسئله‌داری به شمار می‌آیند که در اثر جذب آب تغییر حجم داده و در نتیجه قابلیت ایجاد فشار زیادی را به محیط اطراف خود دارند. از این رو این نوع خاک‌ها می‌توانند آسیب‌های زیادی را به ابنیه و تاسیسات مجاور و به ویژه تاسیسات مدفون وارد سازند. از جمله آسیب‌های قابل مشاهده و با تکرار فراوان در مجاورت خاک‌های منبسط‌شونده می‌توان به تورم کف در سازه‌های سبک، انحراف دیوارهای نگهبان و تغییر شکل و یا شکستن لوله‌های مدفون اشاره کرد. در این مقاله نتایج پژوهش‌های آزمایشگاهی برای کاهش فشار تورمی وارد بر لوله‌های مدفون و آسیب‌های ناشی از آن در محیط خاک منبسط‌شونده با استفاده از لایه محافظ ژئوفوم (EPS) ارائه شده است. در این پژوهش چهار سری آزمایش روی یک نمونه لوله انعطاف‌پذیر مدفون شده در خاک منبسط‌شونده از نوع بتونیت انجام شد. در آزمایش اول لوله به تنهایی در خاک مدفون بوده و در آزمایش‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب لوله از طریق ژئوفوم به ضخامت‌های ۴ و ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر مورد محافظت قرار گرفت. آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از لایه محافظ ژئوفوم می‌تواند تا حدود ۹۰ درصد فشار تورمی وارد بر لوله و در نتیجه تغییر شکل آن را کاهش دهد.

**واژگان کلیدی:** ژئوسنتتیک، ژئوفوم (EPS)، خاک منبسط‌شونده، کاهش فشار تورمی.

## ۱- مقدمه

ایجاد می‌کند که به آن فشار تورمی گفته می‌شود. فشار تورمی می‌تواند باعث ایجاد تغییر مکان و همچنین وارد کردن آسیب‌ها و خساراتی به سازه‌های مجاور یا مدفون در این نوع خاک شود و سالانه هزینه‌های زیادی برای بازسازی و تعمیر این خسارت‌ها و آسیب‌ها باید پرداخت که این هزینه‌ها بیش از هزینه‌های

خاک منبسط‌شونده در اثر تغییر رطوبت تغییر حجم می‌دهد و به همین دلیل در گروه خاک‌های مسئله‌دار قرار می‌گیرد. این خاک در اثر جذب آب تمایل به افزایش حجم دارد و در صورتی که به آن اجازه افزایش حجم داده نشود فشاری را

ایلماز و همکاران [11] با افزودن این ماده به خاک منبسط شونده میزان تاثیر آن را بررسی کردند. خاکستر زغال سنگ نوعی دیگر از مصالح پایدارکننده سنتی است که کوکا [12] با استفاده از خاکستر زغال سنگ کلاس (C) به پایدارسازی خاک منبسط شونده پرداخت. پس از آن پونتوتائیکا و همکاران [13] با استفاده از ترکیب خاکستر و فیبر به پایدار سازی خاک منبسط پرداخت. همچنین فانیکومار و شارما [14] میزان تاثیر خاکستر را در کاهش تغییرات حجمی خاک منبسط شونده بررسی کرد.

۲-۱) پایدار کننده‌هایی که از گرد و خاک کوره بوجود می‌آیند. از جمله افرادی که در این زمینه کار تحقیقاتی انجام داده اند می‌توان به زورلوئر و همکاران [15] اشاره کرد.

۳-۱) پایدارکننده غیر سنتی همچون آنزیم‌ها، پلیمرها و سایر مواد شیمیایی هستند که از جمله افرادی که در این زمینه کار پژوهشی انجام داده‌اند می‌توان به لویز لارا و همکاران [16] که به بررسی میزان تاثیر این نوع افزودنی‌ها بر رفتار تورمی خاک‌های منبسط شونده پرداخت اشاره کرد. همچنین پتری و همکاران [17] نیز در مقاله خود به بررسی تاثیر این نوع پایدارکننده‌ها بر رفتار تورمی خاک منبسط‌شونده پرداخته است. روش‌های پایدارسازی فیزیکی شیمیایی اگرچه در بیشتر مقالاتی که در قسمت فوق به آنها اشاره شد بر رفتار خاک منبسط‌شونده تاثیر مثبتی داشته است ولی باید عنوان کرد این روش پایدارسازی هم زمان‌بر و هم هزینه‌بر است و هم در درازمدت می‌تواند آثار سوی زیست محیطی داشته باشد.

#### ۲) روش‌های پیشگیرانه

اقدامات پیشگیرانه نیز شامل حفاری و جایگزین کردن خاک منبسط‌شونده با خاک غیرمنبسط‌شوند و عایق کردن خاک است. از جمله افرادی که در این زمینه کار پژوهشی انجام می‌دهند می‌توان به چن و همکاران [18] و هودیمما و همکاران [19] اشاره کرد. اگرچه این روش هم می‌تواند در کنترل رفتار تغییر حجم خاک منبسط‌شونده مناسب باشد ولی استفاده از این روش‌ها نیازمند صرف زمان و هزینه زیادی است.

#### ۳) پایدارسازی مکانیکی

روش پایدارسازی مکانیکی مشخصات شیمیایی خاک را

وارد شده بر اثر سایر پدیده‌ها همچون زلزله است. به طور نمونه خسارت‌های ناشی از تورم خاک در آمریکا سالانه هفت بیلیون دلار برآورد شده که نزدیک به دو برابر خسارت‌های ناشی از سیل، طوفان و زلزله است [1]. عموماً بالغ بر ۶۰٪ از سازه‌های ساخته شده بر روی این نوع خاک متحمل خسارات جزئی از قبیل ترک و حدود ۱۰٪ از آنها به شدت آسیب می‌بینند [2]. فشار ناشی از خاک منبسط شونده می‌تواند باعث جابه‌جایی و یا حتی شکست لوله‌های مدفون در این نوع خاک شود. اگرچه تاکنون گزارش رسمی از میزان خسارات آسیب‌های وارد شده به لوله‌های مدفون در این نوع خاک‌ها در کشور ما ارائه نشده است ولی سالانه هزینه‌های زیادی صرف تعمیر و ترمیم خسارت‌های ناشی از جابه‌جایی و شکست این لوله‌ها در اثر فشار تورم خاک منبسط شونده می‌شود.

راه‌حل‌های متفاوتی برای مقابله با خاک‌های منبسط‌شونده وجود دارد که می‌توان آنها را به سه گروه زیر تقسیم کرد [4]:

#### ۱) پایدارسازی فیزیکی شیمیایی

پایدارسازی فیزیکی شیمیایی به صورت تزریق عامل پایدارکننده در خاک است که تزریق عامل پایدارکننده باعث عکس‌العمل شیمیایی و بهبود خواص مهندسی خاک می‌شود. پایدارسازی فیزیکی شیمیایی را می‌توان به ۳ گروه تقسیم کرد: ۱-۱) پایدارکننده سنتی و معمول همچون آهک، سیمان، گچ و خاکستر زغال سنگ است که باعث می‌شوند رفتار تورمی خاک‌های منبسط‌شونده بهبود یابند.

بسما و تونسر [5] روی میزان تاثیر آهک بر فشارپذیری و تغییر حجم خاک منبسط‌شونده پژوهشهایی انجام دادند. همچنین نادری [6] علاوه بر آهک از سربار کوره ذوب‌آهن برای تثبیت خاک رس در مجاورت سولفات استفاده کرد. آراواز و همکاران [7] میزان تاثیر آهک، سیمان و ساروج بر روی تثبیت خاک منبسط‌شونده را بررسی کردند و مشخص کردند ترکیب این مصالح بیش از تاثیر هریک از آنها به تنهایی است. میلر و همکاران [8] و آراواز و همکاران [9] نیز روی تثبیت خاک منبسط‌شونده با استفاده از سیمان پژوهش‌هایی انجام دادند. همان‌گونه که پیش از این عنوان شد گچ نیز از دیگر عوامل پایدارکننده سنتی است که لویز و همکاران [10] و

اگرچه مصالح دیگری همچون بسته‌های کاه یا پنل‌های مقوا وجود دارند که می‌توانند به عنوان یک توده قابل تراکم در مجاورت خاک منبسط‌شونده به کار روند ولی استفاده از ژئوفوم به دلیل مشخص بودن پارامترهای فیزیکی و همچنین طول عمر بیشتر آن در داخل خاک منبسط‌شونده نسبت به سایر مصالح برتری و مزیت دارد [4].

هدف از این مقاله بررسی میزان تاثیر ژئوفوم در کاهش فشار تورمی وارد بر لوله انعطاف‌پذیر مدفون در خاک منبسط‌شونده است. در این پژوهش ۴ آزمایش انجام شده است که در آزمایش اول لوله لاستیکی به تنهایی در داخل خاک بنتونیت قرار گرفته است و در آزمایش‌ها دوم، سوم و چهارم لوله به ترتیب همراه با ژئوفوم به ضخامت ۴ میلی‌متر، ۲۰ میلی‌متر و ۴۰ میلی‌متر در داخل خاک بنتونیت جایگذاری شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مشخصات خاک منبسط‌شونده

برای انجام آزمایش‌ها از خاک بنتونیت حفاری شرکت زرین خاک قاین استفاده شد. مشخصات ژئوتکنیکی این خاک با انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه سمنان بدست آمد که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) روی این خاک در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران صورت پذیرفته است که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات خاک بنتونیت مورد استفاده در آزمایش‌های

مدل فیزیکی

Properties of Bentonite	Value
Plastic limit(%)	48/6
Liquid limit(%)	176/5
Optimum water content(%)	35
Maximum dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	14/5
Free Swell Index(ml/2gr)	80 (Very high)
water absorption(%)	700
montmorillonite content(%)	86

Table 1. Physical properties of the expansive soil for the physical model test

تغییر نمی‌دهد و شامل روش‌هایی همچون تراکم کنترلی، از پیش مرطوب کردن خاک، ترکیب خاک با ماسه و تقویت خاک با استفاده از ژئوستتیک‌ها است.

در زمینه کنترل تراکم اس‌ریدهاران و همکاران [20] به انجام کار پژوهشی پرداختند. با این روش اگرچه می‌توان رفتار انبساطی و انقباضی خاک منبسط‌شونده را کنترل نمود ولی استفاده از آن نیازمند صرف توام انرژی، زمان و هزینه است. از پیش مرطوب کردن خاک نیز روش دیگر پایدارسازی مکانیکی خاک منبسط‌شونده است که در این زمینه چن و همکاران [18] به کار پژوهشی پرداختند. بزرگترین مشکل استفاده از این روش مصرف آب قابل توجه است که با توجه به شرایط خشکسالی کشوری همچون ایران استفاده از این روش مقرون به صرفه نیست. ترکیب خاک با ماسه نیز از جمله روش‌های پایدارسازی مکانیکی خاک منبسط‌شونده است که از جمله افرادی که در این زمینه کار پژوهشی انجام داده‌اند می‌توان به هودیما و همکاران [19] اس‌ریدهاران و همکاران [20]، رائو و همکاران [21] و میشر و همکاران [22] اشاره کرد. استفاده از این روش نیز نیازمند صرف زمان و هزینه قابل توجه است. اما یکی از به روزترین روش‌های پایدارسازی مکانیکی خاک منبسط‌شونده استفاده از ژئوستتیک است که در این زمینه وسلی و همکاران [23] و شارما و همکاران [24] کارهای پژوهشی انجام دادند. استفاده از ژئوستتیک‌ها نیازمند صرف زمان کمتری نسبت به سایر روش‌های پایدارسازی است. همچنین استفاده از این روش گاهی می‌تواند باعث کاهش چشمگیر هزینه‌ها نسبت به سایر روش‌های پایدارسازی شود.

یکی از مصالح پایدارکننده نوین که به صورت مکانیکی باعث پایدارسازی خاک‌های منبسط‌شونده می‌شود، ژئوفوم (EPS) است. ژئوفوم (EPS) نوعی ژئوستتیک است که امروزه در مهندسی عمران کاربردهای وسیعی دارد. ژئوفوم هنگامی که در مجاورت خاک‌های منبسط‌شونده به کار می‌رود به صورت یک توده قابل تراکم عمل می‌کند و به این ترتیب از فشار و کرنش‌های ناشی از فشار تورمی خاک منبسط‌شونده می‌کاهد.

## ۲-۲- مشخصات جعبه های آزمایش

برای انجام این آزمایش ها از دو جعبه آهنی متداخل به ابعاد  $۴۰\text{cm} \times ۵۰\text{cm} \times ۵۰\text{cm}$  و  $۴۰\text{cm} \times ۶۲/۵\text{cm} \times ۶۲/۵\text{cm}$  استفاده شده است.

ایجاد فشار تورمی در خاک، این لوله دچار تغییر شکل شود تا بتوان تغییر شکل های ناشی از تورم خاک را اندازه گیری کرد. مدول الاستیسته لاستیک مورد استفاده برای ساخت این لوله  $۸۰\text{MPa}$  است. شکل (۲) لوله لاستیکی مورد استفاده در این آزمایش را نمایش می دهد.

جدول ۲. نتیجه انکسار X-ray خاک بنتونیت مورد استفاده در آزمایش ها

Element	Value(%)
SiO <sub>2</sub>	69/8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11/88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/73
MgO	1/42
Na <sub>2</sub> O	2/1
K <sub>2</sub> O	0/47
CaO	0/96
TiO <sub>2</sub>	0/1

Table 2. The result of X-ray diffraction

شکل ۲. لوله لاستیکی مورد استفاده در این آزمایش



Fig. 2. The rubber tube used in this experiments

برای جلوگیری از تورم خاک، جعبه کوچکتر دارای درب است که این درب دارای بازویی است تا از طریق آن بتوان کرنش های داخل لوله را اندازه گیری کرد. برای نفوذ آب به خاک در دیواره جعبه کوچکتر سوراخ هایی به قطر ۲ میلی متر ایجاد شده است. فاصله سوراخ ها در راستای افقی و قائم از یکدیگر ۴ سانتی متر در نظر گرفته شده است. همچنین فاصله ردیف اول سوراخ ها تا کف و لبه بالای جعبه ۲ سانتی متر است. همچنین برای جلوگیری از زنگ زدن، بدنه جعبه با رنگ روغنی رنگ آمیزی شده است. تصویر جعبه آزمایش در شکل (۱) قابل مشاهده است.

## ۲-۴- مشخصات ژئوفوم (EPS)

مشخصات مکانیکی ژئوفوم (EPS) مورد استفاده در این آزمایش ها که توسط شرکت سازنده ارائه شده است در جدول (۳) قابل مشاهده است.

جدول ۳. مشخصات ژئوفوم در آزمایش ها

Item	Value
Density(Kg/m <sup>3</sup> )	12
Volume of water absorption (after 7 days)(%)	5
Melting temperature (°C)	150
Minimum flexural strength (kPa)	70
Poisson's ratio	0-0/5

Table 3. Physical properties of EPS geofom

## ۲-۵- اندازه گیری تغییر شکل لوله

برای اندازه گیری تغییر شکل لوله ناشی از تورم خاک، از ساعت اندیکاتور استفاده شده است. این وسیله از سه بخش صفحه مدرج، پایه و وسیله اندازه گیری تشکیل شده است. تصویر کامل این وسیله اندازه گیری در شکل (۳) نمایش داده شده است. دقت اندازه گیری این وسیله تا  $۰/۰۱$  میلی متر است. برای تسریع در انتقال آب به خاک از ۸ عدد لوله فلزی مشبک

شکل ۱. نمایی از جعبه های آهنی در مدل فیزیکی



Fig. 1. The steel boxes used in the physical model

## ۲-۳- لوله لاستیکی

انجام این آزمایش ها نیازمند لوله ای انعطاف پذیر بود به گونه ای که در ابتدای آزمایش پس از ریختن و کوبیدن خاک در اطراف آن، لوله بتواند ایستایی خود را حفظ کند و تغییر شکل ندهد و همچنین پس از نفوذ آب به خاک و

پلان و مقطع شماتیک مدل فیزیکی به ترتیب در شکل‌های (۶)، (۷ و ۸) قابل مشاهده است. در این آزمایش‌ها برداشت تغییر مکان‌ها در دو نقطه (یکی در بالا و دیگری در وسط) و در هر نقطه در دو جهت (یکی در راستای قطر و دیگری در راستای بدنه جعبه) صورت گرفت (که نام اختصاری هر برداشت در جدول (۴) نمایش داده شده است). فاصله زمانی برداشت‌ها در ابتدا هر ۶ ساعت بود که به تدریج تا ۲۴ ساعت افزایش یافت. دلیل این افزایش زمان برداشت، مقادیر ناچیز برداشت شده در فواصل کمتر از ۲۴ ساعت است. برداشت‌ها برای هر آزمایش تا ۳۲ روز ادامه یافت که دلیل آن ثابت بودن نرخ جابه‌جایی پس از ۳۰ تا ۳۲ روز است.

شکل ۵. لوله حفاظت شده با ژئوفوم به ضخامت ۴۰ میلی متر



Fig. 5. Protected tube with 40mm thickness geofoam

شکل ۶. تصویر شماتیک مدل فیزیکی

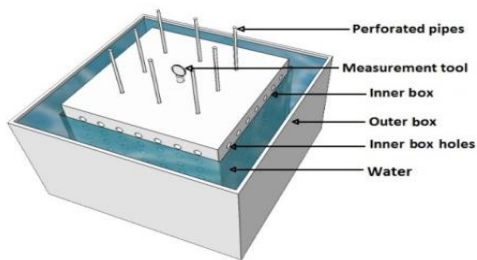


Fig. 6. Three dimensional Schematic image of the setup

شکل ۷. تصویر شماتیک از مقطع آزمایش

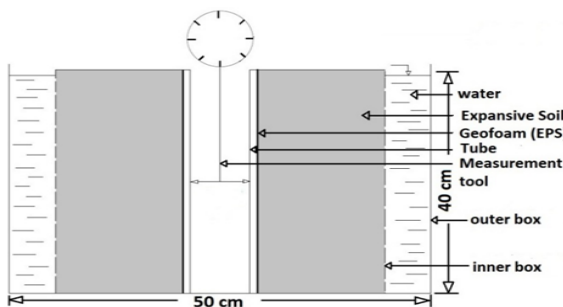


Fig. 7. Schematic image of experimental setup cross section

شده در داخل خاک استفاده شده است که قطر این لوله‌ها ۸ میلی‌متر است و آب به وسیله سرنگ هر ۶ ساعت به داخل این لوله‌ها تزریق شد. شکل (۴) نمایی از این لوله را نمایش می‌دهد. در شکل‌های (۵ و ۶) چگونگی قرارگیری این لوله‌ها نمایش داده شده است.

شکل ۳. تصویر وسیله اندازه‌گیری تغییرمکان



Fig. 3. The measurement tool used in this experiments.

شکل ۴. لوله فلزی مشبک برای اشباع خاک



Fig. 4. The Perforated pipe used in the physical model

۲-۶- ساخت نمونه‌ها و روش انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا جعبه کوچکتر را برای از بین بردن اصطکاک بین خاک و بدنه جعبه (قبل از ریختن خاک در جعبه) چرب نموده و سپس این جعبه در داخل جعبه بزرگتر قرار می‌گیرد. در ادامه با اضافه کردن آب به خاک درصد رطوبت خاک به درصد رطوبت بهینه رسانده می‌شود. پس از آن برای آزمایش اول فقط لوله لاستیکی و برای آزمایش‌های دوم، سوم و چهارم لوله لاستیکی و ژئوفوم (که لوله را محاط کرده) در مرکز جعبه کوچکتر قرار می‌گیرد و خاک که دارای درصد رطوبت بهینه است در ۱۶ مرحله در اطراف آن ریخته و متراکم می‌شود. هرلایه با ۱۷۵ ضربه چکش ۴/۵ کیلوگرمی که از ارتفاع ۴۶ سانتی‌متری رها شده و کوبیده می‌شود تا انرژی تراکم  $597 \text{ kJ/m}^3$  برای هر لایه تامین شود و ضخامت هر لایه پس از تراکم ۲/۵ سانتی‌متر است. شکل (۵) یک نمونه ساخته شده با ژئوفوم به ضخامت ۴۰ میلی‌متر را نمایش می‌دهد. فضای بین دو جعبه و لوله‌ها را از آب پر کرده و با ساعت اندیکاتور اندازه‌گیری اولیه داخل لوله انجام گرفت. تصویر،

جدول ۴. معرفی مقاطع نقاط برداشت

Point and direction of measurement	Nick name of measurement	Schematic image
upper part of the box in direction of the box diameter	Sec A-A	
upper part of the box in direction of the box wall	Sec B-B	
middle part of the box in direction of the box diameter	Sec C-C	
middle part of the box in direction of the box wall	Sec D-D	

Table 4. Introduction of Point and direction of measurement

شکل ۹. نمودار تغییر شکل لوله محافظت نشده بر حسب زمان

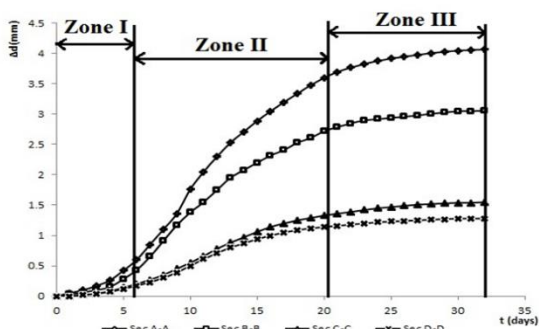


Fig. 9. Swelling displacement versus time for tube without geofilm

شکل ۱۰. نمودار تغییر شکل لوله محافظت شده با لایه ژئوفوم به ضخامت ۴ میلی متر بر حسب زمان

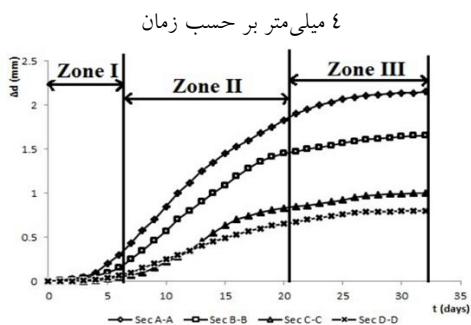


Fig. 10. Swelling displacement versus time for protected tube with 4mm thickness geofilm

شکل ۸. پلان شماتیک سیستم آزمایش

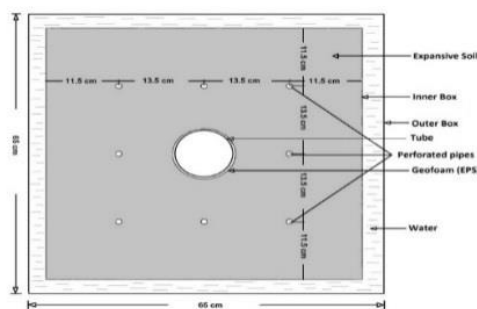


Fig. 8. Plane view the experimental setup

به عبارتی دیگر پس از ۳۰ تا ۳۲ روز در این آزمایش‌ها تغییر گنج ساعت اندیکاتور بسیار ناچیز و تقریباً صفر است. در ابتدای آزمایش میزان درصد رطوبت خاک ۳۵٪ بود و پس از پایان هر آزمایش درصد رطوبت خاک اندازه گیری شد که میزان آن بطور میانگین حدود ۸۴٪ بود که می توان بیان کرد خاک تقریباً اشباع است.

### ۳- بررسی و تفسیر نتایج

#### ۳-۱- نمودارهای جابه جایی بر حسب زمان

نمودارهای ارائه شده در ذیل میزان جابه جایی نسبت زمان را برای هر آزمایش در چهار نقطه برداشت نمایش می دهد. در این نمودارها محور افقی t زمان انجام آزمایش (بر حسب روز) و محور قائم  $\Delta d$  همان میزان فشردگی لوله (تغییر قطر لوله) در اثر تورم خاک (بر حسب میلی متر) است.

نمودارهای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به ترتیب مربوط به نتایج آزمایش صورت گرفته بر روی لوله محافظت نشده با ژئوفوم، لوله محافظت شده با ژئوفوم به ضخامت ۴ میلی متر، لوله محافظت شده با ژئوفوم به ضخامت ۲۰ میلی متر و لوله محافظت شده با ژئوفوم به ضخامت ۴۰ میلی متر است. بیشترین مقدار تغییر مکان برداشت شده در این آزمایش‌ها ۰/۷ میلی متر است که مربوط به آزمایش لوله محافظت نشده و کمترین مقدار ۰/۱۷ میلی متر است که مربوط به آزمایش لوله محافظت شده با ژئوفوم به ضخامت ۴۰ میلی متر بود. بیشینه مقدار جابه جایی برداشت شده برای هر آزمایش به تفکیک مقطع در جدول (۵) گزارش شده است.

شیب قسمت اولیه نسبت به شیب قسمت ثانویه تفاوت دارد و شیب قسمت دوم نمودار بطور چشمگیری بیشتر از شیب قسمت اول نمودار است. در واقع می‌توان عنوان کرد هنگامی که ضخامت ژئوفوم نسبت به عرض خاک پشت آن افزایش می‌یابد و ده برابر می‌شود میزان جابه‌جایی ناشی از تورم به طور بسیار چشمگیری کاهش می‌یابد.

همچنین در تمام نمودارها مشاهده می‌شود که تورم در راستای قطر جعبه نسبت به راستای بدنه جعبه بیشتر است. علت را می‌توان چنین بیان کرد که چون در راستای قطر نسبت به راستای بدنه جعبه، خاک بیشتری در اطراف لوله وجود دارد و ژئوفوم نیز به صورت یکنواخت فضای دور لوله را احاطه کرده است به همین دلیل تورم در راستای قطر نسبت به راستای بدنه جعبه بیشتر است. به عبارت دیگر به دلیل اینکه خاک موجود در این راستا تقریباً  $1/4$  برابر خاک موجود در راستای بدنه جعبه است و عامل ایجاد کننده فشار، خاک منبسط‌شونده می‌باشد بنابراین فشار توری بیشتری در راستای قطری به لوله و ژئوفوم وارد می‌شود.

همچنین نکته دیگری که در نمودارهای فوق مشخص هست این است که بیشترین جابه‌جایی ایجاد شده ناشی از فشار توری در هر آزمایش در قسمت فوقانی لوله است. می‌توان عنوان کرد علت تورم بیشتر در قسمت فوقانی نسبت به قسمت میانی لوله، سختی بیشتر خاک در بخش میانی و کف جعبه به علت اثر سربار بیشتر است. همچنین با بررسی نتایج بدست آمده مشاهده شد که میزان تغییر شکل لوله بسیار کوچک و در محدوده الاستیک است.

### ۳-۱- تاثیر نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاکریز در کاهش جابه‌جایی

برای درک بهتر میزان تاثیر ژئوفوم در کاهش فشار و جابه‌جایی توری، شکل (۱۳) ارائه شده است. این نمودار درصد کاهش جابه‌جایی ناشی از تورم در مقابل نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاک منبسط‌شونده پشت ژئوفوم را نمایش می‌دهند. در این نمودارها tg ضخامت ژئوفوم و bs عرض خاکریز پشت ژئوفوم است.

شکل ۱۱. نمودار تغییر شکل لوله محافظت شده با لایه ژئوفوم به ضخامت ۲۰ میلی‌متر بر حسب زمان

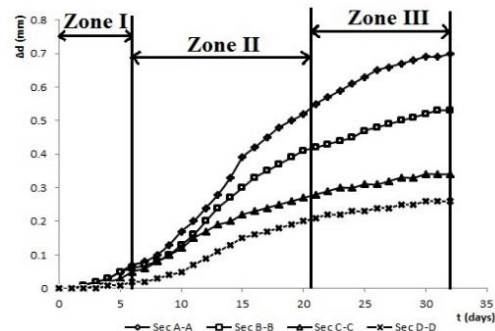


Fig. 11. Swelling displacement versus time for protected tube with 20mm thickness geofoam.

همانطور که در (۴) نمودار مشاهده می‌شود، در ناحیه اول که مربوط به ۶ روز اول آزمایش است مقدار تغییر مکان برداشت شده کم است ولی به تدریج با گذر زمان و جذب آب توسط خاک میزان تغییر مکان برداشت شده افزایش می‌یابد که این امر در ناحیه دوم قابل مشاهده است و در نهایت در ناحیه سوم این نرخ افزایشی به تدریج کاهش یافت تا در روزهای انتهایی آزمایش به صفر برسد که انتظار چنین فرآیندی با توجه به پژوهش‌های پیشین که در مراجع [4] و [25] ذکر شده است قابل پیش‌بینی است.

شکل ۱۲. نمودار تغییر شکل لوله محافظت شده با لایه ژئوفوم به ضخامت ۴۰ میلی‌متر بر حسب زمان

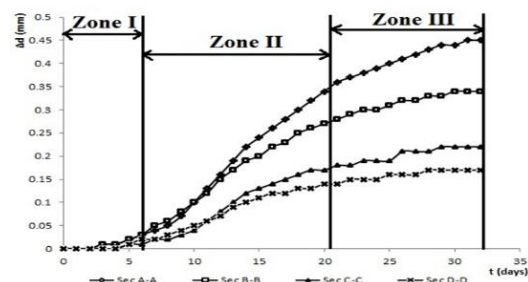


Fig. 12. Swelling displacement versus time for protected tube with 40mm thickness geofoam.

درصد کاهش جابه‌جایی ناشی از تورم را در مقابل نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاک پشت ژئوفوم را نمایش می‌دهند. در این نمودارها همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت ژئوفوم (افزایش نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاک پشت ژئوفوم) میزان درصد کاهش جابه‌جایی ناشی از تورم افزایش می‌یابد. در این نمودارها می‌توان مشاهده کرد

شکل ۱۵. لوله برش خورده و دیاگرام فشار اطراف آن

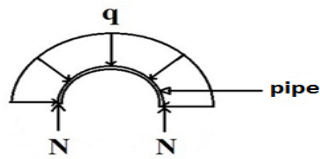


Fig. 15. Schematic image of cross section

برای بدست آوردن مقدار  $q$ ، اطراف لوله را مطابق شکل (۱۵) در نظر گرفته و با استفاده از روابط زیر مقدار آن محاسبه می شود:

$$2N = q * d \Rightarrow N = \frac{q*d}{2} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{N}{b*t_p} \rightarrow b = 1 \rightarrow \sigma = \frac{(q*d)}{(2*1*t_p)} \quad (2)$$

$$\epsilon_d = \frac{\sigma}{E_p} \rightarrow \epsilon_d = \frac{\Delta d}{d} = \frac{(q*d)}{(2*1*t_p*E_p)} \quad (3)$$

با توجه به روابط (۱، ۲ و ۳) مقدار فشار متوسط وارد به لوله به صورت زیر بدست می آید:

$$q = \frac{(2*t_p*E_p*\Delta d)}{(d^2)} \quad (4)$$

در رابطه بالا  $t$  ضخامت جداره لوله  $\epsilon$  میلی متر،  $E$  مدول الاستیسیته لوله  $80 \text{ Mpa}$ ،  $d$  قطر لوله  $100$  میلی متر و  $\Delta d$  میزان فشردگی لوله (تغییر قطر لوله) در اثر تورم خاک است که از نتایج آزمایشگاهی مقدار آن پیش از این بدست آمده است. با توجه به مقادیر فشردگی بدست آمده و روابط بالا مقدار فشار تورمی برای هر آزمایش محاسبه و در جدول (۵) ارائه شده است.

در شکل (۱۶) برای نشان دادن میزان تاثیر نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاک منبسط شونده پشت آن، در کاهش نیروی تورمی ارائه شده است. در این نمودار محور افقی نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاکریز پشت آن و محور قائم نیروی تورمی در واحد طول لوله است. هر یک از این نمودارها مربوط به یک نقطه برداشت در آزمایشها است. در شکل

شکل ۱۳. نمودار درصد کاهش جابه جایی بر حسب نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاکریز

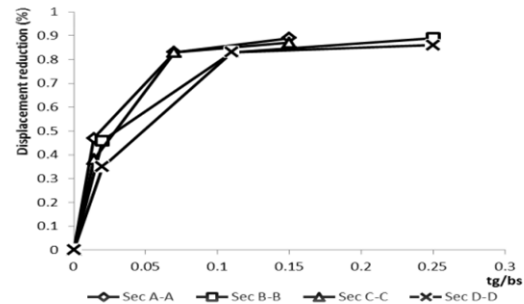


Fig. 13. Reduction of swelling displacement versus the ratio of the geofoam thickness to the width of embankment

همان گونه که مشاهده می شود با افزایش ضخامت ژئوفوم (افزایش نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاک پشت ژئوفوم) میزان درصد کاهش جابه جایی ناشی از تورم افزایش می یابد. هنگامی که ضخامت ژئوفوم نسبت به عرض خاک پشت آن افزایش می یابد میزان جابه جایی ناشی از تورم به طور بسیار چشمگیری کاهش می یابد. در اندازه گیری در راستای قطر جعبه هنگامی که نسبت  $0.07 \text{ tg/bs}$  است مشاهده می شود که میزان تورم بطور چشمگیری کاهش داشته است و برای اندازه گیری در راستای بدنه جعبه در صورتی که نسبت  $0.11 \text{ tg/bs}$  است این کاهش چشمگیر مشاهده می شود. البته باید به این نکته هم توجه کرد که هنگامی که ضخامت ژئوفوم از  $20$  میلی متر به  $40$  میلی متر می رسد تغییر خیلی چشمگیری در کاهش میزان فشردگی مشاهده نمی شود بنابراین افزایش بیش از حد ضخامت ژئوفوم تاثیر زیادی در کاهش فشردگی ندارد.

#### ۴- محاسبه فشار و نیروی تورمی وارد به لوله

با توجه به شکل جعبه و لوله می توان مقدار فشار تورمی متوسط وارد به لوله را مطابق شکل های (۱۴ و ۱۵) به صورت یکنواخت فرض کرد. در این تصاویر توزیع نیروی تورمی متوسط وارد بر لوله با شدت  $q$  قابل مشاهده است.

شکل ۱۴. توزیع فشار تورمی  $q$  در اطراف لوله

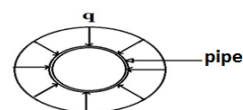


Fig. 14. Schematic image of distribution of swelling pressure around the pipe



جعبه است بنابراین فشار تورمی بیشتری در راستای قطر جعبه لوله و ژئوفوم وارد می‌شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین جابه‌جایی ایجاد شده ناشی از فشار تورمی در هر آزمایش در قسمت فوقانی جعبه است. علت تورم بیشتر در قسمت فوقانی جعبه نسبت به قسمت میانی و تحتانی لوله، تاثیر وزن خاک و سربار ناشی از وزن آن است که فشار تورمی در بخش انتهایی جعبه و انتهایی لوله را مهار کرده است.

افزایش ضخامت ژئوفوم مورد استفاده در آزمایش‌ها می‌تواند مقدار جابه‌جایی و فشار ناشی از تورم خاک را بین ۸۶٪ تا ۸۹٪ کاهش دهد. در واقع می‌توان عنوان کرد هنگامی که نسبت ضخامت ژئوفوم مورد استفاده به عرض خاک موجود در دور لوله برابر با ۰/۲۵ باشد یا در صورتی که نسبت ضخامت ژئوفوم محاط کننده لوله به ارتفاع خاک منبسط شونده حدود ۰/۱ باشد مقدار فشار و جابه‌جایی ناشی از تورم خاک بسیار ناچیز و در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد فشار و جابه‌جایی در شرایط عدم استفاده از ژئوفوم می‌شود.

در صورتی که نسبت ضخامت ژئوفوم مورد استفاده به عرض خاک موجود در دور لوله برابر با ۰/۲۵ باشد یا در صورتی که نسبت ضخامت ژئوفوم محاط کننده لوله به ارتفاع خاک منبسط‌شونده حدود ۰/۰۱ باشد مقدار فشار و جابه‌جایی ناشی از تورم خاک بین ۳۵ تا حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

(۱۶)، محور افقی  $t_g$  (ضخامت ژئوفوم) به  $b_s$  (عرض خاکریز) است. محور قائم نیز نیروی تورمی اعمالی در واحد طول لوله را نمایش می‌دهد. به طور کلی همان‌گونه که در نمودار و جدول ذیل مشاهده می‌شود با توجه به ضخامت ژئوفوم مورد استفاده در آزمایش‌ها مقدار جابه‌جایی و فشار ناشی از تورم خاک می‌تواند بین ۸۶٪ تا ۸۹٪ کاهش یابد

شکل ۱۶. نمودار نسبت ضخامت ژئوفوم به عرض خاکریز - نیروی تورمی در واحد طول لوله

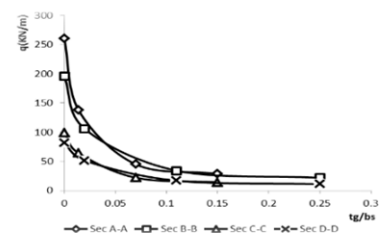


Fig. 16. Reduction of swelling pressure versus the ratio of the geofabric thickness to the width of embankment

## ۵- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد تورم در هر نقطه در راستای قطر جعبه نسبت به راستای بدنه جعبه بیشتر است. علت این موضوع را می‌توان چنین بیان کرد که چون در امتداد قطر جعبه نسبت به اضلاع جعبه، خاک با طول بیشتری در اطراف لوله وجود دارد پس جابه‌جایی ناشی از تورم خاک در راستای قطر نسبت به راستای بدنه جعبه بیشتر است. به عبارت دیگر به دلیل اینکه طول خاک موجود در این راستا تقریباً ۱/۴ برابر طول ضلع بدنه

جدول ۵. میزان بیشینه نیروی تورمی در واحد سطح و میزان تاثیر ژئوفوم در کاهش نیروی تورمی

Test	Measurement section	Max. displacement (mm)	Max. swelling Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Reduction of swelling force (%)
First test (tube without geofabric)	Sec A-A	4.07	260.5	0
	Sec B-B	3.06	195.84	0
	Sec C-C	1.55	99.2	0
	Sec D-D	1.28	81.92	0
Second test (tube with 4mm thickness geofabric)	Sec A-A	2.15	137.6	47
	Sec B-B	1.65	105.6	46
	Sec C-C	1.0	64	35
	Sec D-D	0.8	51.2	37
Third test (tube with 20mm thickness geofabric)	Sec A-A	0.7	44.8	83
	Sec B-B	0.53	33.92	82
	Sec C-C	0.34	21.76	83
	Sec D-D	0.26	16.64	82
Fourth test (tube with 40mm thickness geofabric)	Sec A-A	0.45	28.8	89
	Sec B-B	0.34	21.76	89
	Sec C-C	0.22	14.08	86
	Sec D-D	0.17	10.88	87

Table 5. The maximum amount of swelling per unit area and the effect of GPS on reduction swelling Force

pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman. *Building and Environment*, 40, No. 5, 681–687.

[7] Naderi H., 2009 The Effect of slag of Isfahan Steel Furnace (GGBS) on the Resistance and swelling Specifications of clay which Stabilized by Sulfate Lime, Master's Thesis, Booolisina University of Hameda, Iran

[8] Miller, G. & Azad, S. (2000). Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust. *Construction and Building Materials*, 14, No. 2, 89–97.

[9] Al-Rawas, A. A., Taha, R., Nelson, J. D., Beit Al-Shab, T. & Al-Siyabi, H. A. (2002). Comparative evaluation of various additives used in the stabilization of expansive soils. *Geotechnical Testing Journal*, 25, No. 2, 199–209.

[10] Lopez-Lara, T., Zepeta- Garrido, J. A. & Castario, V. M. (1999). A comparative study of the effectiveness of different additives on the expansion behavior of clays. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 4, No. 5, paper 9904.

[11] Yilmaz, I. and Civelekoglu, B. , (2009), “Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils”, *Applied Clay Science*, 44, pp 166-172.

[12] Cokca, E. (2001). “Use of class C fly ashes for the stabilization of an expansive soil”. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127, No.7, 568–573.

[13] Punthuthaecha, K., Puppala, A. J., Vanapalli, S. K. & Inyang H. (2006). Volume change behaviors of expansive soils stabilized with recycled ashes and fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18, No. 2, 295–306.

[14] Phanikumar, B. R. & Sharma, R. S. (2007). Volume change behavior of fly ash-stabilized clays. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19, No. 1, 67–74.

[15] Zorluer, I. & Usta, M. (2003). Stabilization of soils by waste marble dust, Tu`rkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı, 305–311.

[16] Lopez-Lara, T., Zepeta- Garrido, J. A. & Castario, V. M. (1999). A comparative study of the effectiveness of different additives on the expansion behavior of clays. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 4, No. 5, paper 9904.

[17] Petry, T. M. & Little, D. N. (2002). Review of stabilization of clays and expansive soils in pavements and lightly loaded structures- history, practice, and future. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14, No. 6, 447–460.

[18] Chen, F. H. (1988). *Foundations on Expansive Soils*. Elsevier Scientific, New York, NY, USA, p. 463.

[19] Hudyma, N. & Avar, B. B. (2006). Changes in swell behavior of expansive clay soils from dilution with sand. *Environmental & Engineering Geoscience*, 12, No. 2, 137–145.

[20] Sridharan, A. & Gurtug, Y. (2004). Swelling behaviour of compacted fine-grained soils. *Engineering Geology*, 72, No. 1–2, 9–18.

[21] Rao M. K., GiriBabu, G. & Rani Suda, Ch. (2006).

در نتایج ارائه شده در مرجع [26] ملاحظه می شود که هنگامی که نسبت ضخامت ژئوفوم به ضخامت خاک ۰/۲ باشد مقدار فشار تورمی به طور چشمگیری کاهش می یابد، در حالی که در پژوهش انجام شده حاضر این نسبت در حدود ۰/۱ است. علت این امر احتمالاً به تفاوت خاک تورمی مورد استفاده در این پژوهش با مصالح مورد استفاده در مرجع [26] بر می گردد.

ضمناً پس از بررسی نتایج آزمایش های انجام شده در این پژوهش می توان نتیجه گرفت هنگامی که ضخامت ژئوفوم از ۲۰ میلی متر به ۴۰ میلی متر می رسد تغییر چشمگیری در کاهش میزان فشردگی لوله مشاهده نمی شود. بنابراین افزایش بیش از حد ضخامت ژئوفوم تاثیر زیادی در کاهش فشردگی لوله ندارد.

## – تشکر و قدردانی

خاک بتونیت مورد استفاده در این پژوهش محصول شرکت زرین خاک قاین است که در این فرصت از مساعدت این شرکت در تامین خاک مورد نیاز تشکر و قدردانی به عمل می آید.

## References

## ۶- مراجع

- [1] Basma, A.A. and Al-Homoud Husein, A., 1995, Laboratory assessment of swelling pressure of expansive soils. *Applied Clay Science* 9, 355-368.
- [۲] Khaksar Najafi E., Eslami A., Chagini A. H., “Investigation of damage caused by interaction of water and soil on technical structure and optimal way to control it”, 5th National Congress on Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, [https://www.civilica.com/Paper-NCCE05-NCCE05\\_316.html](https://www.civilica.com/Paper-NCCE05-NCCE05_316.html)
- [3] LUCIAN, ch. (2008). “Geotechnical Aspects of Buildings on Expansive Soils in Kibaha, Tanzania”, Doctoral Thesis, Division of Soil and Rock Mechanics, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [4] S. B. Ikizler, M. Aytakin and M. Vekli. 2009 “Reductions in swelling pressure of expansive soil stabilized using EPS geofom and sand” , *Geosynthetics International* , 16 , pp 216-221.
- [5] Basma, A. A. & Tuncer, E. R. (1991). Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays. *Transportation Research Record*, 1295, 52–61.
- [6] Al-Rawas, A. A., Hago, A. W. & Al-Sarmi, H. (2005). Effect of lime, cement and Sarooj (artificial

- [24] Sharma, R. S. & Phanikumar, B. R. (2005). Laboratory study of heave behavior of expansive clay reinforced with geopiles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131, No. 4, 512–520.
- [25] Joshi, R. P., Katti, R. K., 1980. Lateral pressure development under surcharges. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Expansive Soils*, Denver, USA, pp. 227–241.
- [26] S. B. Ikizler, M. Aytakin and E. Nasb, 2008, "Laboratory study of expanded polystyrene (EPS) geofoam used with expansive soils", *Geotextiles and Geomembranes*, 26, (2008), pp189–195.
- Influence of coarse fraction on swelling characteristics. *Electrical Journal of Geotechnical Engineering*, 11, No. 5, paper 0627.
- [22] Mishra, A. K., Dhawan, S. & Rao, M. S. (2008). Analysis of swelling and shrinkage behavior of compacted clays. *Geotechnical and Geological Engineering*, 26, No. 3, 289–298.
- [23] Vessely, M. J. & Wu, J. T. H. (2002). Feasibility of geosynthetic inclusion for reducing swelling of expansive soils. *Transportation Research Record No. 1787*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., USA, pp. 42–52.

## Reduction of swelling pressure and displacement of flexible buried pipe in expansive soil using geof foam

S. A. Jabbari<sup>1</sup> and A. Haddad<sup>2\*</sup>

1- M.Sc. Graduate, Faculty of Civil Eng., Semnan University, Semnan, 35131-19111, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Civil Eng., Semnan University, Semnan, 35131-19111, Iran

\*ahadad@semnan.ac.ir

### Abstract:

Engineering problem related to Expansive soils is their changes in volume by moisture. This soil tends to expand by absorbing water, so if they are not allow to expand and constrained pressure swelling pressure will create. Swelling pressure can cause settlement and damage to structures which are supported by this soil. There are different solutions for overcoming on this problem but utilizing of Geofoams (EPS) is one of the most innovative approaches. In this paper, the results of tests were conducted on buried flexible pipe which supported by geof foam in the expansive soil are presented.

In these experiments, two boxes have been used in such a way that a smaller box is placed inside a larger box and space between two box was filled by water. Flexible pipe and geof foam (EPS) were located in the center of small box and then expansive soils were poured around the geof foam (EPS) and flexible pipe. The expansive soil which was used in this research was sodium bentonite. Sodium bentonite expands when wet, absorbing as much as several times its dry mass in water. Because of its excellent colloidal properties, it is often used in drilling mud for oil and gas wells and boreholes for geotechnical and environmental investigations. The property of swelling also makes sodium bentonite useful as a sealant, since it provides a self-sealing, low permeability barrier. It is used to line the base of landfills, for example

To investigating the influence of geof foam (EPS) in reduction of the swelling pressure and displacement was purpose of this experimental study. Four tests were done on flexible pipe, in the first test, flexible pipe was buried in expansive soil alone and in other tests geof foam (EPS) was used. Geofoams which used for protection of buried pipe, have 4 mm, 20 mm and 40 mm thickness respectively. each test was conducted in 32 days, because after 32 days the dial gage did not show any changes.

By comparison on the values of obtained swelling pressure and displacement, it became clear that using a geof foam (EPS) with thickness of 4mm and 20mm can decrease swelling pressure and displacement up to 50 and 80 percent, respectively. Also value of swelling pressure and displacement reduction for test with 40 mm thickness geof foam (EPS) was negligible. So it was found that increasing in geof foam (EPS) thickness can partially reduce swelling pressure and displacement of expansive soil, however, there is no direct correlation with increaseing the geof foams thickness.

**Keywords:** Geosynthetic, Geofoam(EPS), Expansive soil, reduction of swelling pressure