



*Research Article*

## **Analysis of physical deformations of reinforced buried pipes under axial loading**

**Hoseinali Bagi<sup>1\*</sup>, Jalal Borhani<sup>2</sup>**

1\*- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

2- Department of Department of Physics, Technical and Vocational University, Tehran, Iran

Received: 17 January 2023; Revised 27 January 2023; Accepted: 29 January 2023; Published: 29 January 2023

### **Abstract**

An understanding of Pressure acting on underground pipes, especially for buried pipes, tunnels and shafts, is often practical and necessary during design. The physical model involves a buried pipe installed in granular soil subjected to strip surface loading. The consequence of introducing a geogrid reinforcement layer above the pipe on the distribution of contact pressure is also survived. The results of laboratory investigations to measure the pressure on pipes have been investigated using tactile sensor technology. This method allows a continuous pressure profile to be measured around the pipes using flexible sheets. Geogrids or flexible sheets are used as reinforcement to improve the strength of soil or other materials. The numerical analysis is first validated using the experimental results and then used to investigate the comprehensive behavior soil-pipe system.

### **Keywords:**

Pipe buried, Geogrid, Axial loading

**Cite this article as:** Bagi, H., Borhani, J., (2023). Analysis of physical deformations of reinforced buried pipes under axial loading. Civil and Project Journal, 4(9), 29-37. <https://doi.org/10.22034/CPJ.2023.381999.1172>

**ISSN:** 2676-511X / **Copyright:** © 2023 by the author.

**Open Access:** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Journal's Note:** CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



## نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

# تحلیل تغییر شکل های فیزیکی لوله های مدفون تقویت شده در اثر بارهای محوری

حسینعلی بگی<sup>۱\*</sup>، جلال برهانی

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای تهران، ایران

۲- مربی گروه فیزیک، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران

تاریخ دریافت: ۲۷ دی ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۰۷ بهمن ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۰۹ بهمن ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۹ بهمن ۱۴۰۱

### چکیده

ضرورت فهم اثر گذاری فشار زمین در سازه های مدفون، به خصوص برای لوله های مدفون، تونل ها و شافت ها در زمان طراحی، غیر قابل انکار و ضروری است. در این نوشتار نتایج بررسی های آزمایشگاهی برای اندازه گیری فشار بر روی لوله های سخت با استفاده از فن آوری حسگرهای تاکتیل بررسی شده است. در این مطالعه تاثیر فشار پیوسته در اطراف لوله ها با استفاده از ورق های انعطاف پذیر اندازه گیر شده است. همزمان با افزایش فشار تغییر شکل در بخش های مختلف لوله بررسی شده است. لوله مدفون در مواد دانه ای با خواص مهندسی کنترل شده در جعبه ای نصب شده و در معرض بار نواری سطحی قرار گرفته است. در این راستا از لایه ژئوگرید به عنوان ماده تقویت کننده استفاده شده و اثر فشار سطحی در لوله های مدفون در دو حالت تقویت شده و غیر مسلح بررسی گردیده است.

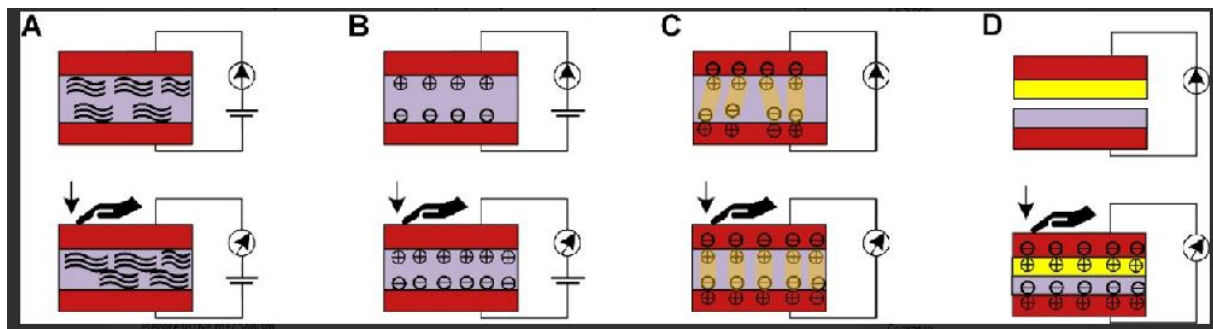
### کلمات کلیدی:

لوله های مدفون، ژئوگرید، بار محوری

## ۱- مقدمه

با شروع روند صنعتی شدن در راستای انتقال گاز، نفت، آب و فراورده های نفتی و لزوم دفن لوله ها در خاک به تدریج آسیب های حاصل از بارگذاری بر لوله های مدفون و لزوم حفاظت از آن برای مهندسی تدریجاً رو به افزایش بوده است. در این راستا راهکارهای هوشمند جهت پایش و تحلیل عددی خسارات احتمالی در لوله های مدفون بوسیله ابزار دقیق به خصوص حسگرهای تاکتیل توسط محققین مختلف ارائه شده است. با عنایت به خسارات مختلف وارد شده به لوله های مدفون در چند دهه اخیر که منجر به انفجار در لوله های حامل فراورده های نفتی، نشت آب در لوله های آب و ... گردیده است، ارزیابی وضعیت تنش های وارده بر لوله های مدفون به ویژه انواع لوله های پلی اتیلین، به کمک حسگرهای لمسی ضرورت پیدا نموده است. لوله های پلیکا یا همان لوله پی وی سی (PVC) یا پلی وینیل کلراید است که از پر مصرف ترین لوله ها در صنعت به شمار می رود [۱].

حسگرهای لمسی دستگاه های جمع آوری داده یا مبدل هایی هستند که برای حس کردن ویژگی های متنوع از طریق تماس فیزیکی مستقیم طراحی شده اند [۱، ۲]. طراحی حسگرهای لمسی بر اساس طیف وسیعی از فناوری های مختلف است که برخی از آنها مستقیماً از تحقیقات روی لمس بیولوژیکی الهام گرفته اند. رشد کاربردهای رباتیک در مراقبت های بهداشتی، مهندسی ژئوتکنیک، سیستم های مستقل و محیط های بدون ساختار نیاز مبرمی به حسگرهای لمسی موثر ایجاد کرده است. استقرار آنها نقش مهمی ایفا می کند و امکان تشخیص، اندازه گیری و تبدیل اطلاعات به دست آمده از تعامل فیزیکی با اشیاء را به شکل مناسب برای پردازش و تجزیه و تحلیل توسط ماژول های سطح بالاتر در یک سیستم هوشمند می دهد. اگرچه، در دهه های اخیر، فناوری حسگرهای لمسی پیشرفت های زیادی را در طراحی و قابلیت نشان داده است، سیستم های حسگر لمسی در مقایسه با فناوری پیچیده ای که در بینایی انجام می شود، هنوز نسبتاً توسعه نیافته اند. رشد نسبتاً کندی که تاکنون به دست آمده است احتمالاً به پیچیدگی ذاتی حس لامسه مرتبط است. یکی دیگر از عوامل محدود کننده این است که حسگرهای لمسی به دلیل ماهیت خود نیاز به تماس مستقیم با سطوح و اشیاء دارند و بنابراین در معرض سایش و خطر آسیب نسبت به سایر انواع سنسورها هستند [۳، ۴]. در تصویر ۱ انواع حسگرها نمایش داده شده است.



شکل ۱. تصاویر شماتیک از چهار مکانیسم حسگر: (الف) مقاومت پیزو؛ (ب) خازنی؛ (ج) پیزوالکتریک؛ و (د) تریبولکتریک [۵]

یکی دیگر از عوامل محدود کننده این است که حسگرهای لمسی به دلیل ماهیت خود نیاز به تماس مستقیم با سطوح و اشیاء دارند و بنابراین در معرض سایش و خطر آسیب نسبت به سایر انواع سنسورها هستند [۶].

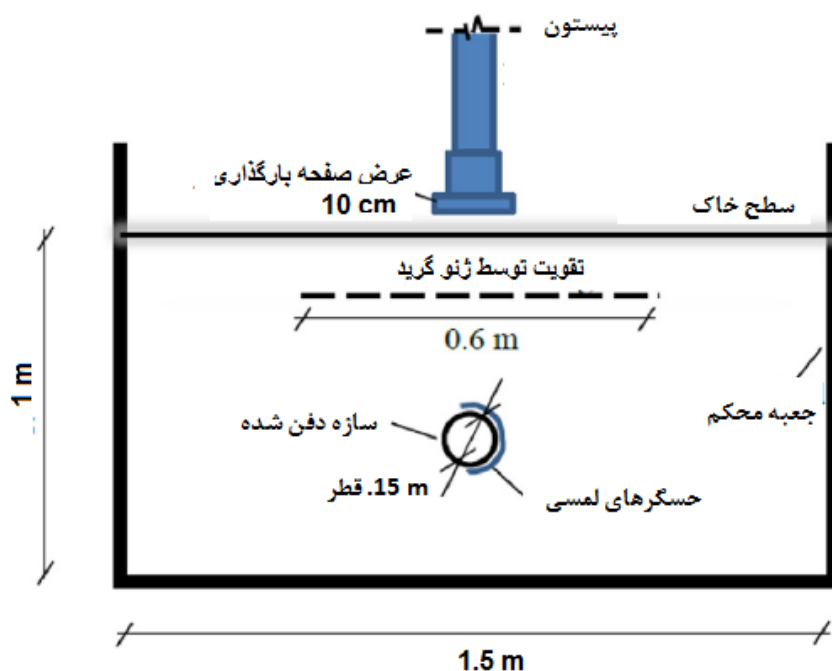
مطالعات نشان داده اند که حسگرهای تاکتیل در ارتباط با اشیاء مدفون هنگام تحمل فشار ممکن است جابجا شوند و منجر به ثبت اطلاعات نامناسبی گردند. لمس لمسی انسان غنی از اطلاعات برای تعامل، کاوش، دستکاری و استخراج ویژگی های جسم مانند بافت، شکل، سختی و دما است این اطلاعات توسط انواع مختلفی از گیرنده ها ثبت می شود، به عنوان مثال. گیرنده های مکانیکی (فشار و ارتعاش)، گیرنده های حرارتی (دما) و گیرنده های درد (درد و آسیب) در سراسر بدن با چگالی متغیر توزیع شده و در لایه های مختلف پوست قرار دارند [۷]. دست های انسان دارای تراکم بالایی از گیرنده های مکانیکی است که یکی از تخصصی ترین بخش های بدن برای ارائه بازخورد لمسی دقیق است [۸].

حس لامسه در سال‌های اولیه رباتیک نسبتاً نادیده گرفته شد، تنها تعداد انگشت شماری از دستگاه‌ها تا پایان دهه ۱۹۷۰ توسعه یافتند و با ادغام نسبتاً محدود این سیستم‌ها در روبات‌ها. در مقابل، دهه ۱۹۸۰ شاهد پیشرفت‌های قابل توجهی در فناوری حسگرهای لمسی بود که با کاهش هزینه‌های تولید همراه بود. پیشرفت در مواد حسگر، فن‌آوری‌های طراحی و ساخت، و روش‌های انتقال برای ادغام در پلت‌فرم‌های رباتیک مختلف حاصل شد [۸]. فناوری‌های اصلی حسگر لمسی که تا این زمان توسعه یافته‌اند عبارت‌اند از: خازنی، پیزومقاومتی، پیزوالکتریک، مغناطیسی، القایی، نوری و ... .

در این پژوهش به منظور تحلیل بارهای پیوسته بر روی لوله‌های مدفون و رصد مداوم اثر بار از سنسورهای تاکتیل یا حسی استفاده شده است، تا با احتمال خطای پایین داده‌های عددی را بتوان تجزیه و تحلیل نمود. اگر چه سنسورهای حسی تا کنون در پروژه‌های مهندسی مختلفی استفاده شده اما به نظر می‌رسد در تفسیر تغییر شکل لوله‌های مدفون در اثر بارهای مختلف می‌تواند برای کارشناسان رهگشا باشد.

## ۲- روش مطالعه

مجموعه آزمایشی از لوله‌ای با دیواره ضخیم تشکیل شده است که توسط خاک دانه‌ای احاطه شده است. این مجموعه مواد و لوله در جعبه‌ای قوی قرار داده شده است. حدود دو سوم لوله از پدهای حسگر لمسی تاکتیل (شکل ۲) پوشیده شده است. سپس بارگذاری نواری به کمک ماشین بارگذاری با ظرفیت حدود ۲۶۵۰ کیلوپاسکال بر روی لوله قابل اجرا است. جعبه مورد آزمایش با ابعاد ۱/۵\*۱\*۵/۵ متر در نظر گرفته شده است. فاصله خاجی لوله از زیر پیستون حدود ۷۰ سانتی‌متر (حدود بیش از ۴ برابر قطر لوله) می‌باشد. لوله مورد استفاده از نوع پی‌وی‌سی با دیواره ضخیم به قطر خارجی ۱۵ سانتی‌متر است.



شکل ۲- طرح کلی از لوله دفن شده و پیستون بارگذاری

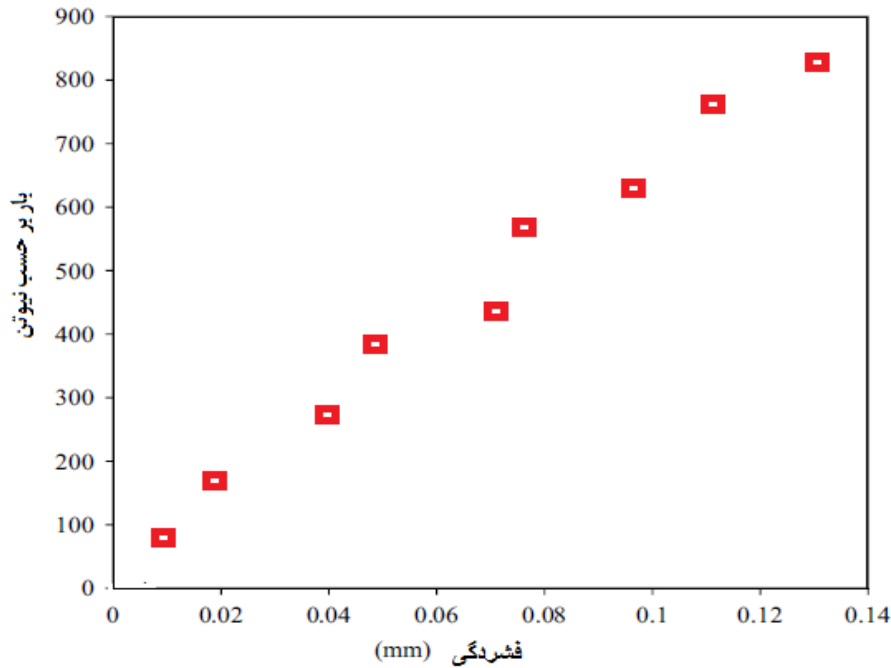
به کمک دستگاه بارگذاری می‌توان فشار زمین وارد بر سازه‌های مدفون را اندازه‌گیری نمود. در واقع برای نظارت بر عملکرد زیرسطحی سازه‌ها بی‌ی از جمله فونداسیون‌ها، آبچکان‌ها، لوله‌های مدفون، نگهدارنده دیوارها و پوشش‌های تونل‌ها می‌توان تاثیر استرس‌ها را تحلیل نمود. از رایج‌ترین ابزار ارتعاشی دستگاه‌های مبتنی بر سیم و کرنش‌سنج می‌باشد و

معمولاً برای اندازه گیری فشار وارد بر زمین استفاده می شود در این راستا از تکنیک هایی متفاوتی برای اندازه گیری فشار زمین استفاده می شود و در پروژه های در مقیاس بزرگ از لودسل های محکم نصب شده می توان استفاده نمود [۹، ۱۰].

### ۳- بحث

عملکرد مناسب سلول های اندازه گیری فشار تماسی مختلف به خصوص تاکتیل در کاربردهای مهندسی ژئوتکنیک توسط محققین مختلفی مانند سپرینگمن (۲۰۲۲) و هابل (۲۰۱۱) [۱۱، ۱] در خاک های دانه ای گزارش شده است. این محققین معتقدند که سلول های سفت و سخت معمولاً سطوح استرس پایین و بالا را که مرتبط با خاک هستند می توانند اندازه گیری نمایند. مدل سازی بارگذاری این مطالعه آزمایشگاهی تشابه زیادی با مدل های سایر پژوهشگران دارد به خصوص هابل دارد [۱۱، ۱].

در این پژوهش لوله پی وی سی در معرض بار حداکثر ۹۰۰ نیوتن قرار داده شده است. و میزان فشردگی مطابق با بار وارده بررسی شده است. در این آزمایش بار عمودی تدریجاً افزایش یافته و میزان واکنش ها بررسی شده است. در بار ۸۲۰ نیوتن میزان فشردگی حدود ۱۳ / میلی متر اندازه گیری شده است (شکل ۳). روند تغییر شکل لوله پی وی سی به صورت تقریباً خطی می باشد.



شکل ۳- تغییرات فشار و تغییر شکل لوله مدفون

در این مطالعه روند جابجایی خاک به کمک حسگرهای تاکتیل تحت نظر بوده است. خاک های شنی- ماسه ای خشک درشت دانه با دانسیته ۱/۶۳ گرم بر سانتی متر مکعب به عنوان ماده پر کننده استفاده شده است.

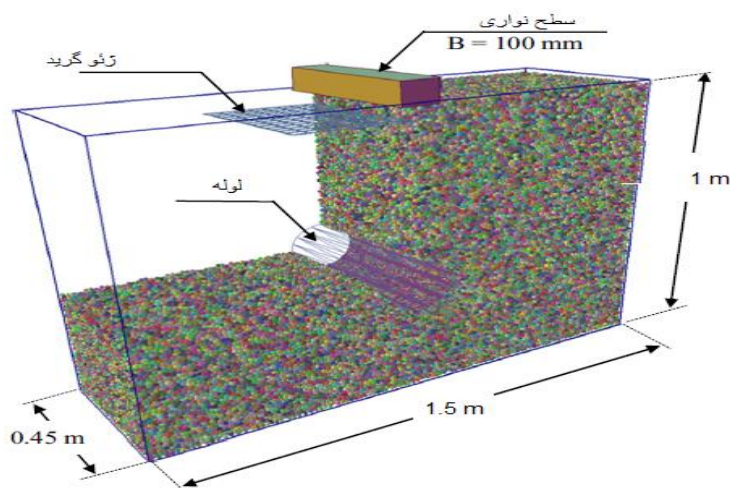
از نظر مهندسی خاک در رده بندی یونیفاید، خاک های مورد استفاده دارای مشخصات دانه بندی و مقاومتی، ۸۰ درصد شن، ۲۰ درصد ماسه با زاویه اصطکاک ۴۰ درجه ارزیابی شده است (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی - مکانیکی خاک پرکننده اطراف لوله

مشخصات خاک	مقدار
وزن مخصوص	2.63
ضریب یکنواختی ( $C_u$ )	2.38
ضریب اتحنا ( $C_c$ )	1.62
دانسیتة حداقل (بست) ( $\gamma_{min}$ )	1.55 ar/cm <sup>3</sup>
دانسیتة حداکثر (کوبیده شده) ( $\gamma_{max}$ )	1.75 ar/cm <sup>3</sup>
دانسیتة طبیعی آزمایشگاهی ( $\gamma_d$ )	1.65 gr/cm <sup>3</sup>
زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ )	40°
چسبندگی ( $c$ )	0

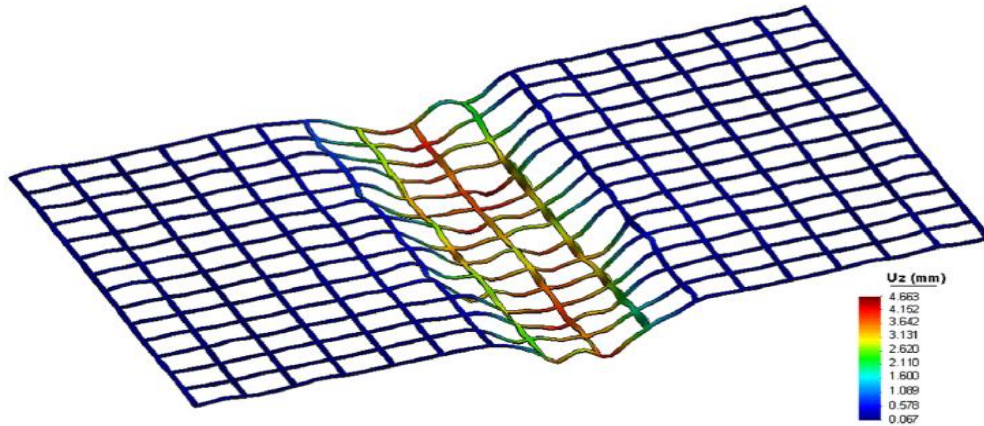
ژئوگرید نوع BX1100 (ماده پلی پروپیلن با مدول کششی ۲۰۵ کیلونیوتن بر متر) با ابعاد ۱۶۵ \* ۱۴۵ / که در عمق ۵ سانتی متری زیر سطح ماسه ها قرار دارد در این آزمایش ها استفاده شده است (شکل ۲). آزمایش ها به دو صورت تقویت شده (با ژئوگرید) و بدون تقویت (فاقد ژئوگرید) انجام گرفت.

بر روی تاج لوله ها ۴۵ سانتی متر ماسه ریخته شد. سپس گسترش فشار بر روی لوله توسط حسگرهای تاکتیل اندازه گیری شد و بار سطحی با استفاده از پلیتی به ابعاد ۱۰ \* ۵۴ / به صورت عمودی بر مرکز لوله وارد گردید. بار به صورت تدریجی به مدت ۳۰۰ ثانیه همزمان با کنترل میزان جابجایی حدود ۱/۳ میلی متر بر دقیقه وارد شد و هنگامیکه جابجایی به ۶/۵ میلی متر رسید، آزمایش متوقف گردید، هر بار که آزمایش به اتمام رسید برای آزمایش بعدی مجدد دستگاه، لوله و مصالح مجدد تنظیم و مونتاژ گردید (شکل ۴).



شکل ۴- نمایی از مدل آزمایشی

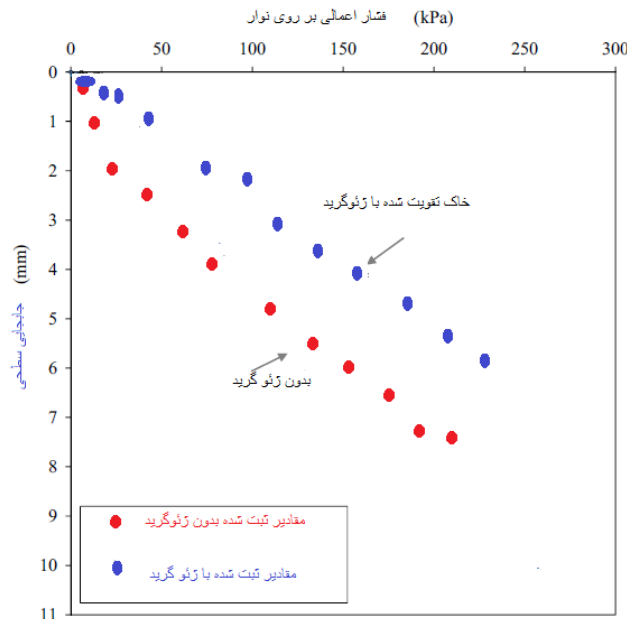
تغییر شکل در ژئوگرید هم به طریق چشمی و هم به کمک حسگرها اندازه گیری شده است. طبق پیش بینی حداکثر تغییر شکل در مرکز یا به عبارتی در محلی که ژئوگرید بر روی تاج لوله قرار گرفته است، انجام شده است. در این آزمایش بعد از بار گذاری ۲۰۰ کیلو پاسکال میزان تغییر شکل ژئوگریدی که در محل تاج لوله متصل بوده حدود ۴/۶ میلی متر اندازه گیری شده است.



شکل ۵- وضعیت تغییر شکل و جابجایی ژئوگرید بعد از بارگذاری ۲۰۰ کیلوپاسکال

در این مطالعه به توجه به استفاده از بارگذاری نواری متمرکز بر روی لوله، فشار بر روی لوله تدریجاً افزایش می‌یابد. بررسی وضعیت ژئوگریدها نشان می‌دهد که تاثیر فشار بر تاج لوله پایین لوله و حداکثر و در محدوده‌های بالایی لوله زیاد می‌باشد. این تصاویر احتمال مفید بودن ژئوگرید در کاهش اثر بار سطحی بر روی لوله‌های مدفون را نشان می‌دهد.

در شکل ۶ سطوح عمل فشار اولیه بر روی لوله نشان داده شده است. در این راستا فشار اعمالی در حالتی که از ژئوگرید استفاده شده یا بدون ژئوگرید بر روی لوله همزمان با میزان جابجایی نشان داده شده است. سنسورهای تاکتیل به طور مداوم تغییرات را در حین فشار اعمالی ثبت نموده‌اند. این نتایج عددی با پژوهش‌های سایر محققین مانند سافتنر (۲۰۰۸)، ولادوآ (۲۰۲۲)، اسمیت (۲۰۲۰) و مگویید (۲۰۱۸) [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵] تطابق کاملی دارند.



شکل ۶- ارتباط جابجایی و بار به خاطر بار روی نوار در خاکهای با ژئوگرید و بدون ژئوگرید.

همچنین تغییر شکل‌های ژئوگریدها با نتایج عددی آزمایشگاهی این مطالعه تطابق دارد. این داده‌ها با فعالیت‌های آزمایشگاهی حاصل از تحقیقات لی و همکاران (۲۰۰۰) و اورپچنگ و همکاران تشابه قابل توجهی دارد. در شکل بالا مشخص است که تغییرات و جابجایی‌های سطحی روند تقریباً خطی در هر دو آزمایش تقویت شده با ژئوگرید و فاقد تقویت دارد و نشانگر تاثیر ژئوگرید در مقاوم‌سازی بویژه در حافظت از لوله‌های مدفون دارد.

#### ۴- تشکر و قدردانی

در پایان بر خود لازم می دانیم که از کمک های بی دریغ مسئولان گروه فیزیک و عمران دانشگاه فنی حرفه ای استان اصفهان سپاسگزاری نماییم.

#### ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

این مطالعه به بررسی توزیع فشار بر روی لوله های مدفون با استفاده از روش های تجربی به کمک حسگر های تاکتیل پرداخته است. فشار از طریق نوار سطحی بر لوله وارد گردید و حسگرهای پیوسته به لوله به طور مداوم تاثیر فشار را مانیتور و ثبت نمودند. با افزایش فشار تغییر شکل در ژئوگریدها تدریجاً آغاز می گردد و نهایتاً حالت گسیختگی مشاهده می گردد. این مطالعه به وضوح اثر مثبت به کارگیری ژئو گریدها در کاهش تنش های وارده بر خاک نشان میدهد.

با توجه به این که پژوهش انجام شده با خاکی یا خواص مهندسی مشخصی انجام گرفته لزوم مطالعات بیشتر در خاک های مختلف ضروری است. با توجه به این که لوله های مورد استفاده در محدوده وسیع در یک پروژه با ویژگی های فیزیکی - مکانیکی یکسان می باشند اما هنگام تحلیل واقعی در یک پروژه باید به ناهمگنی و مقاومت مختلف زمین در طول مسیر توجه داشت. بنابراین عمق زمین تنها عامل تعیین کننده محسوب نمی شود. در این راستا پیشنهاد می شود در لوله های مدفون با اهمیت مهندسی بالا از خاک های انتخاب شده با دانه بندی مشخص در طول و عمق لوله مدفون استفاده شود و در واقع مکعب مستطیلی از خاک انتخاب شده در طول مسیر لوله مدفون را حفاظت نماید.

#### منابع

1. Habel, W. R., & Krebber, K. (2011). Fiber-optic sensor applications in civil and geotechnical engineering. *Photonic sensors*, 1(3), 268-280.
2. Peattie, K.R, Sparrow, R.W. (1954). The fundamental action of earth pressure cells. *Journal of the Mech. and Phys.of Solids* 2, 141-145. Pressure Profile Systems, Tact array distributed pressure measurement system: <http://www.pressureprofile.com/tact-array-sensors/>.
3. Cruden, D. M., P. C. Tsui, and Stanley Thomson. "Mesofabric, Microfabric, and Submicrofabric of Ice-Thrust Bedrock, Highvale Mine, Wabamum Lake Area, Alberta." (1988).
4. Selig, E.T, 1964. A review of stress and strain measurement in soil *Proceedings of the Symposium on Soil-Structure Interaction*. University of Arizona, 1964.
5. Howe, R. D. (1991). *Dynamic tactile sensing*. Stanford University.
6. Robles-De-La-Torre, G. (2006). The importance of the sense of touch in virtual and real environments. *Ieee Multimedia*, 13(3), 24-30.
7. Zhang, Q., Wang, X., Fu, J., Liu, R., He, H., Ma, J., ... & Long, Y. (2018). Electrospinning of ultrafine conducting polymer composite nanofibers with diameter less than 70 nm as high sensitive gas sensor. *Materials*, 11(9), 1744.



9. Talesnick, M. (2005). Measuring soil contact pressure on a solid boundary and quantifying soil arching. *ASTM J. Geotech. Test* 28(2), 171–179.
10. Talesnick, M.L., Xia, H.W., Moore, I.D., (2011). Earth pressure measurements on buried HDPE pipe. *Geotechnique* 61(9), 721–732.
11. Springman, S. M., Nater, P., Chikatamarla, R., & Laue, J. (2022). Use of flexible tactile pressure sensors in geotechnical centrifuges. In *Physical Modelling in Geotechnics* (pp. 113-118). Routledge.
12. Saftner, D. A., Hryciw, R. D., Green, R. A., Lynch, J. P., & Michalowski, R. L. (2008, May). The use of wireless sensors in geotechnical field applications. In *Proceedings of the 15th annual Great Lakes geotechnical/geo environmental conference*.
13. Vladova, A. Y. (2022). Remote Geotechnical Monitoring of a Buried Oil Pipeline. *Mathematics*, 10(11), 1813.
14. Smith, A., & Dixon, N. (2020). Listening for deterioration and failure: towards smart geotechnical infrastructure. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Smart Infrastructure and Construction*, 171(4), 131-143.
15. Meguid, Mohamed A., and Tarik A. Youssef. "Experimental investigation of the earth pressure distribution on buried pipes backfilled with tire-derived aggregate." *Transportation Geotechnics* 14 (2018): 117-125.
16. Lee, K., & Asher, S. A. (2000). Photonic crystal chemical sensors: pH and ionic strength. *Journal of the American Chemical Society*, 122(39), 9534-9537.
17. Orieschnig, C., Venot, J. P., Massuel, S., Eang, K. E., Chhuon, K., Lun, S., ... & Belaud, G. (2022). A Multi-Method Approach to Flood Mapping: Reconstructing Inundation Changes in the Cambodian Upper Mekong Delta. *Journal of Hydrology*, 610, 127902.