

بررسی آزمایشگاهی و صحرایی تثبیت خطوط لوله مدفون در زمین های اشباع

محسن نجیمی ورزنه^۱ و حسین رجایی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

(تاریخ دریافت ۸۴/۶/۱۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۶/۸/۶، تاریخ تصویب ۸۶/۸/۱۲)

چکیده

لوله های مدفون در ترانشه های کم عمق مستقر در زمین های اشباع، غالباً تحت تأثیر تغییر مکان های نسبتاً بزرگ ناشی از نیروی برکنش قرار گرفته و گزارش های مختلف از خسارات قابل توجه به لوله های مدفون حکایت دارد. در این مقاله روش های موجود تثبیت لوله ها در محیط های اشباع مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و با عنایت به مزایا و معایب هر یک از آن ها، روش نوینی به منظور استقرار لوله ها در محیط های اشباع ارائه و مطالعه شده است. در این رابطه استفاده از ژئوتکتایل به منظور مهار لوله ها با اقطار بزرگ مورد توجه قرار گرفته و با انجام مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی مدل پیشنهادی ارزیابی شده است. پارامترهای مهم و مؤثر در تثبیت لوله ها برای روش پیشنهادی با توجه به نمودارهای نیرو-تغییر مکان بررسی گردیده و نتایج بدست آمده توسط مشاهدات صحرایی برای لوله های گاز فلزی مدفون با قطر ۳۰ اینچ تأیید شده است. نهایتاً با عنایت به نتایج آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی، روش اجرایی تثبیت لوله ها در محیط اشباع از طریق مسلح نمودن خاک توسط ژئوتکتایل به عنوان روش اجرایی مناسب با توجه به مزایا و معایب روش های موجود توصیه شده است.

واژه های کلیدی: برکنش - ژئوتکتایل - خطوط لوله مدفون - لوله

مقدمه

هرچند نیروی برکنش وارد بر خط لوله با عبور آب از تراز بالای خط لوله ثابت می ماند ولی بدیهی است با افزایش سطح تراز آب زیرزمینی، خاک بالای خط لوله به تدریج شناور شده و جرم حجمی و مقاومت برشی آن کاهش می یابد و نتیجتاً باعث جا به جایی لوله به سمت بالا و در مواقعی حتی باعث خروج لوله از ترانشه می شود [۶]. در این رابطه باید توجه داشت که نیروی وزن خاک بالای لوله، مقاومت برشی سطح گسیختگی خاک و وزن لوله از عوامل مقاوم در برابر نیروی برکنش می باشند. در شکل (۱) نیروهای مؤثر بر شناوری خط لوله نشان داده شده است. با توجه به اینکه نیروی شناوری با حجم سیال جا به جا شده توسط خط لوله متناسب می باشد، مقدار نیروی شناوری با مجذور شعاع لوله ارتباط مستقیم داشته و لذا تأثیر نیروی شناوری در لوله های با قطر بزرگ بیشتر از لوله های با قطر کم می باشد [۱]. محققان متعدد مسئله کنترل نیروی برکنش وارد بر خطوط لوله را مورد مطالعه قرار داده و روش های مختلفی برای تثبیت خطوط لوله در زمین های آب دار پیشنهاد نموده اند که ذیلاً روش های متداول توضیح داده می شود [۵-۱۰]:

خطوط لوله آب و نیرو از شریانهای حیاتی جامعه شهری می باشند و صدمه و اختلال در آنها از یک می تواند سو لطمه اقتصادی قابل توجه و از سوی دیگر وقفه در بهره برداری و خطر آتش سوزی و گسترش آن را در پی داشته باشد. گزارش های متعدد حاکی از صدمات وارده بر خطوط لوله مدفون به علت تغییر شکل های بزرگ ناشی از شکست شیب ها، زلزله، حرکت گسل ها و شناور شدن لوله ها در ترانشه های کم عمق می باشد [۱، ۲، ۳، ۴]. به علت گسترده بودن خطوط لوله در مناطق با شرایط مختلف، بایستی عوامل مختلف ایجاد کننده خرابی در آنها در طراحی در نظر گرفته شود. شناور شدن خطوط لوله مدفون خصوصاً در ترانشه های کم عمق از جمله عوامل مخرب بوده که بعضاً خسارات قابل ملاحظه ای ناشی از آن به ثبت رسیده است [۵].

در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بطور دائم و یا موقتی در تراز بالاتر نسبت به تراز قرارگیری لوله قرار دارد، و در لوله های گاز و یا سایر خطوط لوله (با توجه به نحوه بهره برداری) وزن سیال داخل لوله قابل صرف نظر کردن باشد، متناسب با وزن سیال جابجا شده، سیال نیروی شناوری به سمت بالا را بر خط لوله اعمال می کند.

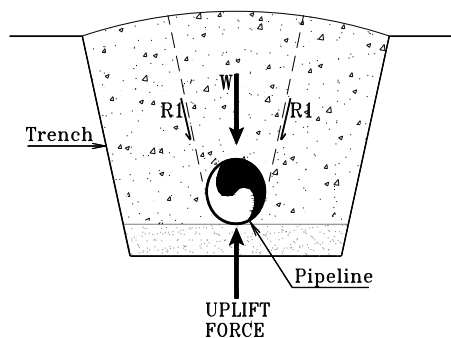
روش تراکم خاک الزامی می باشد که هزینه روش را افزایش می دهد [۷، ۱۰-۱۳].

بر اساس تحقیقات انجام شده در موارد فوق الذکر، پارامترهای مؤثر بر نیروهای مقاوم عبارتند از: عمق دفن خط لوله، نسبت عرض به عمق ترانشه، نوع خاک، میزان تراکم خاک، قطر لوله و نوع روش مقابله با نیروی برکنش. با توجه به تحقیقات انجام شده بر روی روش های متعارف و مشکلات و هزینه اجرایی آنها، و با عنایت به گسترش مصالح جدید در مهندسی عمران، ایده استفاده از نیروهای غیر فعال^۱ در خاک جهت تثبیت لوله ها مطرح گردید و در این رابطه دو مدل اجرایی جهت اعمال نیروی غیر فعال در خاک، که با اعمال نیروی برکنش فعال می شوند، جهت مطالعه پیشنهاد گردیده است: که یکی روش استفاده از ژئوتکستایل و روش دیگر استفاده از لاستیک های فرسوده خودرو می باشد. قبل از مطالعات به منظور بررسی اجرایی بودن مدل ها، بدو قابلیت روش های اجرایی مدل ها در آزمایشگاه بررسی شده و نهایتاً به منظور اطمینان از نتایج آزمایشگاهی، مطالعات صحرایی انجام گرفته است.

مدل پیشنهادی تثبیت لوله ها در محیط اشباع توسط ژئوتکستایل

در محیط های اشباع قبل از اعمال نیروی برکنش به لوله های مدفون، لزوم فعال شدن سیستم سازه ای جهت تثبیت لوله ها الزامی نمی باشد. لذا با توجه به گسترش استفاده از ژئوسینتتیک ها در مهندسی عمران، استفاده از ژئوتکستایل به عنوان یک مصالح جدید به منظور تثبیت خط لوله جهت ارضای ایده ارائه شده، مورد توجه قرار گرفته است. ژئوتکستایل با مقاومت مکانیکی و شیمیایی بالا، قابلیت شکل دهی مناسب و وزن کم، امکان استقرار آسان بر روی خط لوله را بدون اعمال بار فعال امکان پذیر می نماید. شکل (۲) روش پیشنهادی استفاده از ژئوتکستایل جهت تسلیح خاک را نشان می دهد. عدم ایجاد صدمه بر پوشش خط لوله، سازگاری با محیط زیست و روش اجرایی سریع از مزایای قابل توجه روش می باشد. روش پیشنهادی بر مبنای روش های معمول استقرار لوله در ترانشه ها استقرار می یابد و نیاز به کاربرد وسیله خاصی برای تثبیت ژئوتکستایل مطرح نمی باشد و لذا به غیر از هزینه تهیه ژئوتکستایل، هزینه عملیات

الف - استفاده از قطعات بتنی: این روش که بیشترین کاربرد را در خطوط انتقال مدفون دارد، مبتنی بر قرار دادن وزنه های بتنی دائمی ناپیوسته بر روی خط لوله می باشد. از مزایای این روش می توان به قابل اعتماد بودن آن اشاره نمود ولی دارای معایب جدی نظیر هزینه های تهیه مصالح و ساخت قطعات بتنی، حمل و نقل، تجهیزات و ماشین آلات، آسیب بر خطوط لوله در حین اجرا، ایجاد یک نیروی دائمی غیر ضروری و تخریب پوشش لوله به علت حرکت های در طی زمان می باشد.



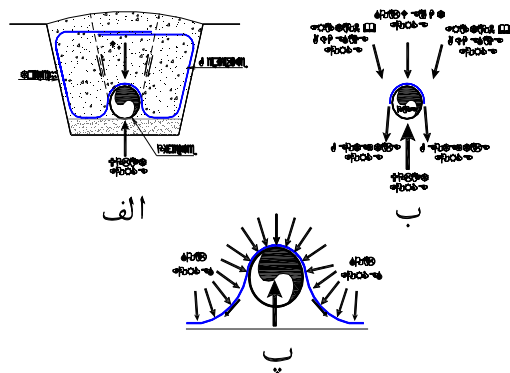
شکل ۱: نیروهای مؤثر بر شناوری.

ب - استفاده از پوشش پیوسته بتنی: این روش بیشترین کاربرد را در هنگام عبور لوله ها از مسیل ها و رودخانه ها دارد [۸]. در این روش قسمتی از خط لوله را که از آب رو رد می شود به طور پیوسته با پوشش بتنی می پوشانند تا باعث افزایش وزن و مقاومت در برابر جریان آب گردد.

ج - استفاده از میل مهار خاص: در این روش خط لوله توسط مهارهای فلزی خاص به زمین متصل می شود به طوری که وزن قابل توجه خاک اشباع بر میل مهار چسبیده و تثبیت آن را تضمین می نماید. این روش در خاکهای چسبنده کارایی مناسب داشته و به منظور جلوگیری از خوردگی فلز تمهیدات خاصی لازم می باشد [۸].

د - تقویت مقاومت برشی خاک ترانشه: این روش با گسترده تر شدن استفاده از ژئوسینتتیک ها مورد توجه قرار گرفته است. در این روش که به تازگی مورد تحقیق واقع شده، خاک بالای لوله را با ژئوگرید به طوری مسلح می کنند که مقاومت برشی سطح گسیختگی افزایش یابد و باعث کنترل خروج لوله از ترانشه گردد. برای کارایی این

به طور خلاصه، شکل (۳-ب) نیروهای وارده بر خط لوله شامل نیروی برکنش، نیروی مقاوم وزن لوله، نیروی مقاوم اصطکاک در سطح برش خاک و مقاومت ایجاد شده توسط ژئوتکستایل و شکل (۳-پ) عملکرد کابلی ژئوتکستایل را در مقابل تغییر شکل عمودی لوله نشان می دهد. درصد تراکم خاک بالای لوله، عمق دفن شدن لوله، قطر لوله، درصد سطح نگهداری شده توسط ژئوتکستایل، نسبت عرض ترانشه به عمق دفن شدن لوله از پارامترهای مهم و مؤثر می باشند.

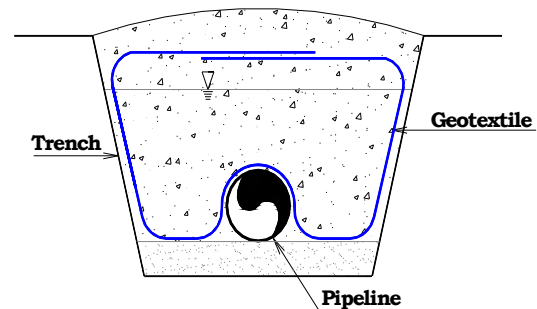


شکل ۳: نمودار آزاد نیروها.

بررسی مدل پیشنهادی در آزمایشگاه

با توجه به طویل بودن خطوط لوله و استفاده از قطره‌های مختلف در عملیات اجرایی، انجام آزمایش‌های گسترده در مقیاس واقعی امکان پذیر نمی باشد و لذا مطالعات مدل آزمایشگاهی روی لوله‌های با قطر کم تمرکز داده شده است. در این رابطه، شرایط مرزی آزمایش و مقیاس آن از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. به این منظور برای انجام مطالعات آزمایشگاهی، جعبه‌ای به عنوان محدوده آزمایش پیش بینی گردیده که برای کاهش اثرات شرایط مرزی، لازم است دیواره‌های جعبه به اندازه کافی از نمونه فاصله داشته باشد. به منظور تخمین این فاصله بدو مدل عددی مسئله توسط نرم افزار ANSYS5.4 تهیه و تحلیل گردیده است. شکل (۱۸) نمودار نیروی عمودی لازم برای تغییر مکان عمودی لوله به میزان ۵ میلی‌متر را برای نسبت‌های مختلف عرض جعبه به قطر لوله را نمایش می دهد. مقادیر نیرو بر مقدار نیروی عمودی لازم برای همان میزان تغییر شکل وقتی عرض جعبه پنج برابر قطر لوله می باشد تقسیم شده است. نتایج نشان می دهد، اگر ابعاد جعبه آزمایش طوری انتخاب شود که طول آن بیش از ۶ برابر قطر و عرض آن

اجرای استقرار لوله‌ها در محیط اشباع نسبت به محیط‌های غیر اشباع افزایش نمی یابد.



شکل ۲: روش ابداعی نگهداری لوله توسط ژئوتکستایل - مقطع ترانشه.

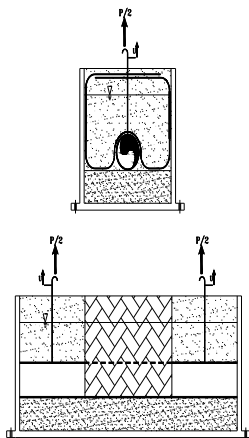
در روش متعارف اجرای خطوط لوله، ابتدا آب داخل ترانشه تخلیه شده و لوله در ترانشه استقرار می یابد. در روش پیشنهادی برای محیط‌های اشباع، پس از استقرار لوله، ژئوتکستایل در فواصل مشخص شده توسط محاسبات، بر اساس طراحی مقاومتی نیروی داخلی ژئوتکستایل، و به عرض مبنای محاسبات، بر روی خط لوله مطابق شکل (۲) قرار گرفته و ترانشه تا عمق قابل پذیرش با خاک پر می شود. نهایتاً لوله ژئوتکستایل به روی خاکریز ترانشه هدایت شده و ترانشه به طور کامل پر می گردد. همان‌طور که ملاحظه می شود، در صورتی که ژئوتکستایل تحت نیروی کشش ابتدایی قرار داشته باشد، پس از ریختن خاک در درون ترانشه، نیروی پیش تنیدگی رو به پایین بر خط لوله اعمال می گردد.

هنگام اعمال نیروی برکنش، خط لوله متناسب با تراز آب به سمت بالا جا به جا شده و متعاقباً با جا به جایی خط لوله، به علت وجود ژئوتکستایل با طول مهارتی کافی در طرفین لوله، نیروی کششی مقاوم داخلی در درون ژئوتکستایل متناسب با نیروی برکنش و مقدار حرکت لوله به سمت بالا ایجاد می گردد. بدیهی است مقدار نیروی کششی ایجاد شده با احتساب ضریب اطمینان کافی نبایستی از حد مجاز مقاومت کششی ژئوتکستایل بیشتر شود. مقاومت ژئوتکستایل با توجه به مشخصات کارخانه سازنده، در دسترس طراح بوده ولی به علت تحکیم خاک بالای لوله و حرکت‌های ناشی از آن، مطالعه بر رفتار اندرکنش خاک، ژئوتکستایل و لوله لازم می باشد. شکل (۳) نمودار آزاد نیروها بر روی ژئوتکستایل، شکل (۳-الف) نمودار آزاد نیروهای داخلی را

ماسه پر کننده جعبه را ارائه داده است.

د - ابزار اندازه گیری: میزان نیروی بارگذاری عمودی توسط فشار سنج^۲ موجود در دستگاه اعمال نیرو قابل اندازه گیری می باشد. جا به جایی عمودی خط لوله نیز توسط جا به جایی سنج هایی (LVDT) به دقت ۰/۰۱ میلی متر که در محل های مختلف روی جداره لوله نصب شده اند، قابل اندازه گیری است.

ه - جمع آوری داده ها: داده های خروجی دستگاه نیرو سنج و جا به جایی سنج به صورت ولتاژ به دستگاه جمع آوری اطلاعات وارد و در آن پردازش گردیده است.



شکل ۴: مدل آزمایشگاهی نمونه های تقویت شده با ژئوتکستایل.

جدول ۲: مشخصات ماسه استفاده شده در مدل های آزمایشگاهی.

نوع ماسه	ϕ (درجه)	دانسیتته γ (kg/m^3)
ماسه شل	۳۲	۱۶۵۰
ماسه متراکم	۳۸	۱۷۷۰

و - دستگاه اعمال نیرو: از آن جایی که مقدار نیروی برکنش ناشی از آب بر روی لوله های با قطر پایین کم می باشد، نیروی برکنش مصنوعی توسط سیستم اهرمی شکلی مطابق شکل (۵) به منظور حذف وزن لوله بر سیستم اعمال می گردد. نیروی رو به پایین توسط دستگاه اعمال نیرو بر اهرم وارد و متعاقباً، اهرم نیروی رو به بالای مورد نظر را بر لوله وارد می آورد.

روش انجام آزمایش

ابتدا به میزان ۳ سانتی متر ماسه در کف جعبه

بیش از ۲/۵ برابر قطر لوله باشد، آثار شرایط مرزی قابل صرف نظر کردن می باشد. در شکل (۴) مدل آزمایشگاهی مسئله ارائه گردیده است. ضمن این که تجهیزات آزمایشگاهی ذیلاً تشریح می شود:

الف - جعبه آزمایش: جعبه آزمایش محدوده انجام آزمایش می باشد و علاوه بر در نظر گرفتن اثر شرایط مرزی، عمق جعبه آزمایش باید محدوده مطالعات را پوشش داده و امکان دفن لوله در عمق دلخواه را فراهم نماید. ابعاد جعبه آزمایش برابر ۱۲۰ سانتی متر عرض، ۱۰۰ سانتی متر ارتفاع و دو متر طول در نظر گرفته شده است.

به منظور مشاهده رفتار ماسه اطراف لوله، دیواره جانبی جعبه از مصالح شیشه ای با ضخامت کافی ساخته شده تا بتوان تغییر مکان مصالح خاکی در جعبه را به همراه تغییر مکان لوله در حین آزمایش تعقیب نمود. رفتار لوله در جعبه نمونه با توجه به اصطکاک کم بین ماسه و دیواره جعبه و هم چنین تغییر شکل کم لوله و دیواره جعبه در حین بارگذاری را می توان حالت کرنش صفحه ای فرض نمود.

جعبه آزمایش در ارتفاع ۳۰ سانتی متر بالاتر از سطح زمین استقرار داده شده و دریچه ای در زیر جعبه به منظور تخلیه مصالح خاکی و لوله ای جهت تخلیه آب لحاظ گردیده است.

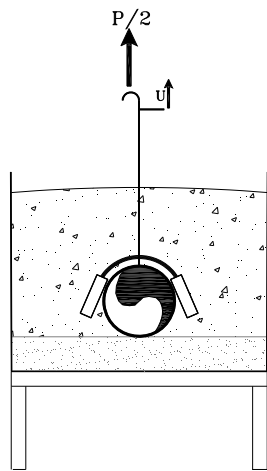
ب - لوله: جدول (۱) ابعاد و مشخصات لوله های مورد آزمایش را نشان می دهد. برای جلوگیری از نفوذ آب و ماسه به داخل لوله، ابتدا و انتهای لوله ها کاملاً آب بندی شده است.

جدول ۱: مشخصات مصالح لوله های مورد آزمایش.

قطر لوله (mm)	جنس لوله	طول لوله (متر)	وزن لوله (kg)
۲۰	پلیکا	۱۳۰	۲/۵
۲۰	فلزی	۱۰۰	۱۸/۵
۲۸	فلزی	۱۰۰	۳۸/۷

ج - مصالح خاکی: به منظور دست یابی به خاک یک نواخت بر روی لوله در مطالعات آزمایشگاهی و سهولت در پر و تخلیه نمودن جعبه آزمایش، جنس مصالح خاکی مورد استفاده در آزمایش ها ماسه با دانه بندی یکنواخت و بدون چسبندگی انتخاب شده است. جدول (۲) مشخصات

در جدول (۳) برنامه انجام آزمایش ها با توجه به تغییر در درصد پوشش ژئوتکستایل، مقدار تراکم و عمق دفن شدن لوله ارائه گردیده است.



شکل ۶: مدل لاستیک نگه دارنده.

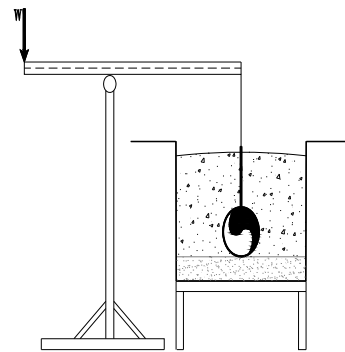
مشاهدات آزمایشگاهی

با اعمال نیروی برکنش روی لوله، ژئوتکستایل تحت نیروی کشش قرار می گیرد و لذا پتانسیل نیروی غیرفعال در داخل ژئوتکستایل به تدریج با افزایش نیروی برکنش به نیروی فعال تبدیل می شود. در این رابطه مشاهده می گردد وجود ژئوتکستایل تأثیر قابل توجهی بر ماسه اطراف نمونه، واقع شده بر لبه های ژئوتکستایل، می گذارد. به تدریج با افزایش جا به جایی با توجه به عمق دفن شدن لوله دو رفتار مجزا در ماسه روی لوله مشاهده می گردد.

در نمونه های با عمق کم، ماسه روی خط لوله به اطراف حرکت کرده و در ژئوتکستایل، به علت نیروی عمودی کم وارد بر آن، جا به جایی قابل ملاحظه ای رو به بالا مشاهده می شود ولی به علت نگهداری ژئوتکستایل در اطراف لوله مقدار جا به جایی نسبت به حالت تقویت نشده کمتر می باشد و پس از تغییر مکان اولیه، حرکت ژئوتکستایل محدود می گردد.

لکن در نمونه های دفن شده در عمق زیاد، ژئوتکستایل بسیار با ثبات بوده و برای حرکت زیاد لوله به سمت بالا نیاز به گسیختگی ژئوتکستایل می باشد. در این حالت پس از ایجاد برش اولیه در خاک، به علت قرار گرفتن وزن قابل توجه خاک بر روی لبه های ژئوتکستایل، بلافاصله متناسب با نیروی برکنش، ژئوتکستایل تحت نیروی کشش قرار می گیرد و این نیرو متعاقباً جا به جایی

نمونه ریخته شده و لوله بر روی آن قرار می گیرد. حداقل دو عدد مهار در فواصل یک سوم طول، به منظور حداقل تغییر شکل خمشی در لوله، جهت اعمال نیرو به آن متصل شده که نیرو را از دستگاه اعمال نیرو به لوله منتقل می نمایند. سپس ژئوتکستایل مطابق شکل (۴) بر روی لوله قرار گرفته و ماسه تا ارتفاع مناسب در جعبه و بر روی مجموعه لوله و ژئوتکستایل پخش می شود. روش پخش ماسه در درون جعبه نمونه از طریق قیف بالای جعبه آزمایش و به نحوی می باشد که به طور یک نواخت بر روی لوله گسترده شود. قیف به طور دستی پر شده و بر روی نمونه حرکت رفت و برگشتی انجام می دهد و ماسه از ارتفاع ۵۰ سانتی متری بر روی نمونه پاشیده می شود. به منظور دست یابی به تراکم متوسط یک نواخت از چکش استاندارد با تعداد یکسان استفاده شده است. برای دست یابی به تراکم زیاد از چکش استاندارد با تعداد دوبرابر کوبش نسبت به حالت تراکم متوسط استفاده گردیده و به ازای هر ۱۰۰ میلی متر ماسه ریزی، تراکم انجام پذیرفته است. هنگامی که به سطح مورد نظر برای عمق دفن شدن لوله رسیدیم، سطح ماسه صاف شده و آب با نرخ آرام به ماسه افزوده می شود. به منظور دست یابی به اشباع کامل در ماسه و با توجه به تجربیات نتایج آزمایش بر روی ماسه، پس از اضافه نمودن آب حداقل به مدت دو ساعت اجازه داده می شود تا هوا از داخل ماسه خارج شده و اشباع گردد و سپس دستگاه های بارگذاری، اندازه گیری و جمع آوری اطلاعات به لوله متصل و بارگذاری با نرخ آرام اعمال گردیده و دستگاه اعمال نیرو با سرعت ۰/۵ میلی متر بر ثانیه نیروی برکنش مصنوعی را بر نمونه اعمال نموده است. پس از هر آزمایش بدیهی است که آب درون جعبه آزمایش توسط لوله از کف جعبه خارج شده و سپس ماسه از دریچه کف جعبه تخلیه می گردد.



شکل ۵: اهرم اعمال نیروی مصنوعی برکنش.

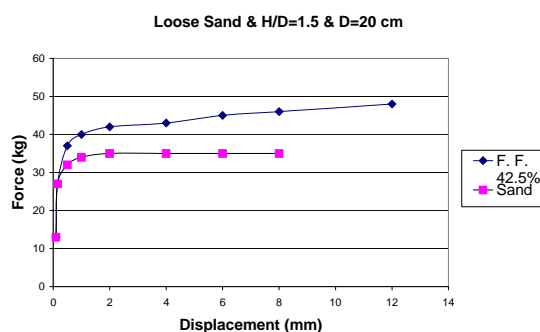
جدول ۳: برنامه انجام آزمایش ها.

تغییر در درصد پوشش مصالح تسلیح	تغییر در قطر لوله	تغییر در عمق دفن لوله	تغییر در درصد تراکم	نوع آزمایش
-	X	X	X	حالت تسلیح نشده
X	X	X	X	استفاده از روش تسلیح ژئوتکستایل
-	X	X	X	استفاده از روش تسلیح لاستیک های فرسوده

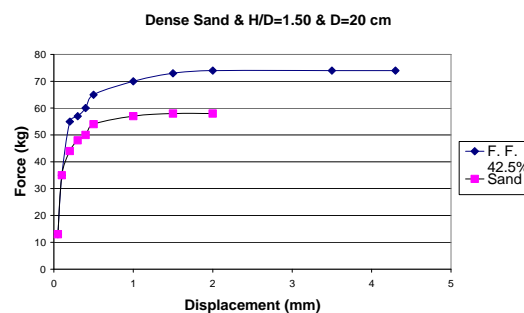
شکل های (۱۰) تا (۱۴) نمودار نیروی اعمالی در برابر تغییر مکان عمودی لوله را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می گردد در ابتدای حرکت وجود ژئوتکستایل تأثیری بر نیروی مقاوم نداشته ولیکن با افزایش جا به جایی لوله در اثر نیروی برکنش، نیروی پتانسیل غیر فعال در درون ژئوتکستایل به نیروی فعال تبدیل شده و مجموعه نیروی مقاوم بیشتری را در برابر نیروی برکنش اعمال می کند. در مقایسه بین شکل های (۷) و (۸) مطابق آنچه در شکل (۱۱) نمایش داده شده است، میزان تراکم تأثیر قابل توجهی در افزایش نیروی مقاوم در برابر نیروی برکنش در دو حالت تقویت شده و تقویت نشده دارد. همین مسئله در شکل های (۹) و (۱۰) هم مشاهده می گردد. هم چنین با مقایسه شکل های (۷) و (۹) و یا (۸) و (۱۰) دیده می شود افزایش میزان پوشش لوله با ژئوتکستایل باعث افزایش نیروی مقاوم در برابر برکنش شده است. هم چنین از اختلاف نیروی مقاوم در دو حالت تقویت نشده و تقویت شده در همین شکل ها مشاهده می گردد که افزایش میزان پوشش لوله با ژئوتکستایل رابطه مستقیم با مقدار نیروی مقاوم افزوده شده دارد.

شکل های (۱۲) تا (۱۴) تأثیر پارامترهای قطر لوله، میزان تراکم خاک و عمق دفن شدگی لوله را در میزان نیروی مقاوم در برابر برکنش نمایش می دهد. به علاوه افزایش عمق دفن شدن خط لوله، افزایش تراکم خاک و افزایش قطر لوله باعث افزایش مقدار نیروی مقاوم در برابر برکنش می گردد. قابل ذکر است هرچند افزایش قطر باعث افزایش مقاومت در برابر نیروی برکنش می گردد ولی مقدار نیروی برکنش هم متناسب با تغییر حجم لوله افزایش پیدا می نماید که برآیند آنها به سمت بالا می باشد.

خط لوله را محدود می نماید به طوری که حتی اعمال جا به جایی های کم برخط لوله، نیروی بسیار بیشتری نسبت به حالت تقویت نشده لازم داشته و در حالت حدی برای جا به جایی بیشتر خط لوله لازم است ژئوتکستایل گسیخته شود که در این حالت به علت کم بودن پارامترهای دخیل در طراحی، ثبات خط لوله توصیه می شود.



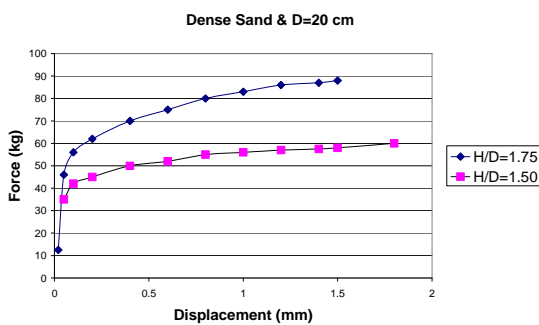
شکل ۷: مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در حالت تقویت شده با ژئوتکستایل و تقویت نشده.



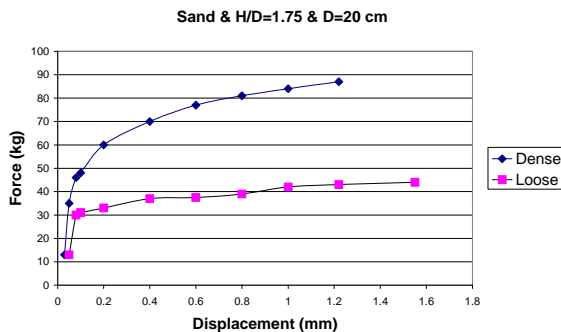
شکل ۸: مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در حالت تقویت شده با ژئوتکستایل و تقویت نشده.

به تبع آن سطح گسیختگی و وزن خاک بالای لوله افزایش پیدا کرده است.

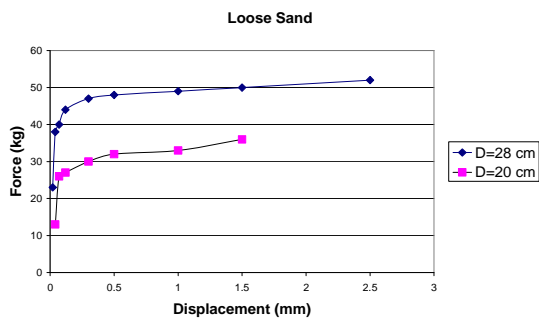
با توجه به فراوانی لاستیکهای فرسوده در کشور و امکان دست یابی ارزان قیمت به آن، استفاده از لاستیک به صورت خورجینی بر روی خط لوله در مدل های آزمایشگاهی مطرح گردید. با قرارگیری لاستیک ها به صورت شکل (۶) بر روی خط لوله، دامنه وزن خاک بالای لوله افزایش پیدا می نماید. در این روش دو عدد لاستیک به وسیله اتصال دهنده مناسب به یک دیگر متصل شده و به طور خورجینی بر روی خط لوله استقرار می یابند.



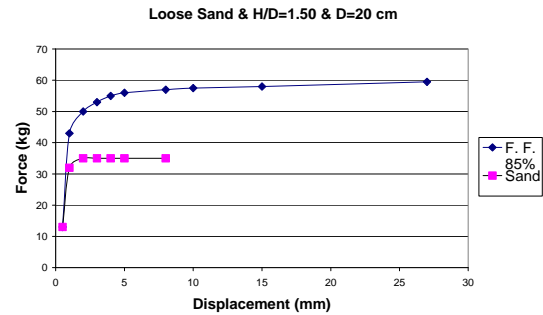
شکل ۱۲ : مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در عمقهای مختلف دفن شدن لوله در ماسه متراکم.



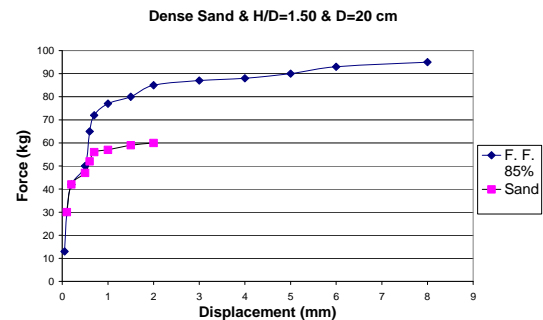
شکل ۱۳ : مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در تراکم های متفاوت ماسه.



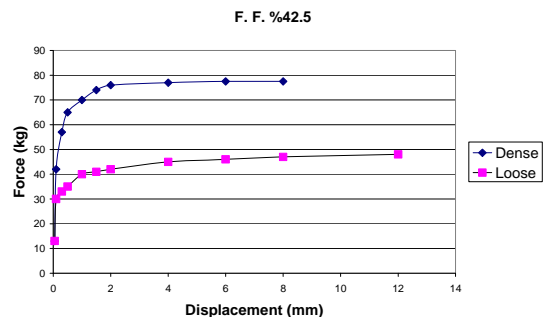
شکل ۱۴ : مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله برای قطرهای مختلف لوله در ماسه شل.



شکل ۹ : مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در حالت تقویت شده با ژئوتکستایل و تقویت نشده.



شکل ۱۰ : مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در حالت تقویت شده با ژئوتکستایل و تقویت نشده.

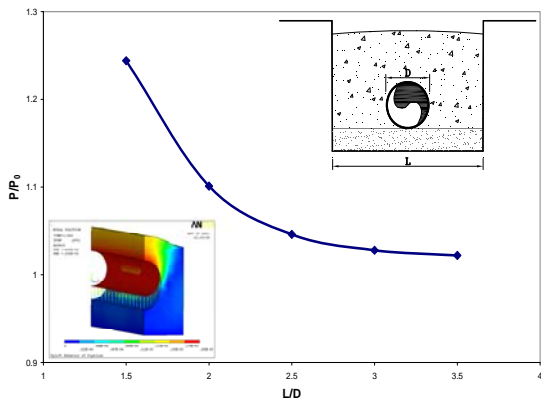


شکل ۱۱ : مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در حالت تقویت شده با ژئوتکستایل در ماسه شل و متراکم.

مدل پیشنهادی استفاده از لاستیک های مستعمل خودرو

با توجه به نتایج مناسب بدست آمده از روش نگهداری خطوط لوله در زمین های اشباع با ژئوتکستایل، امکان استفاده از مصالح دیگر مطالعه گردید و استفاده از لاستیک های مستعمل خودرو به عنوان یک گزینه جدید مورد توجه قرار گرفت. در این روش ابعاد جانبی خط لوله به طور مجازی توسط لاستیک خودرو افزایش پیدا کرده و

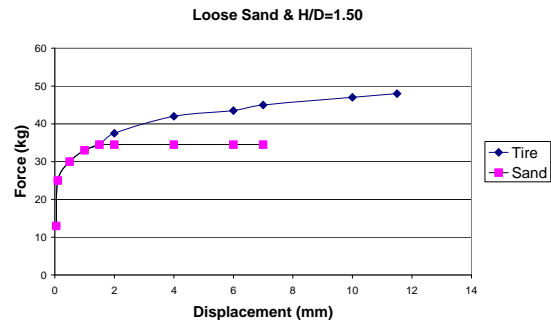
حرکت کرده و باعث نشست سطح خاکریز می گردد. هنگامی که خاک اشباع می شود، مقاومت برشی خاک کاهش یافته و حرکت خاک به درون حفره ها تشدید می گردد. از مشکلات اجرایی دیگر این روش پوسیدگی مهار لاستیک ها بوده که نتیجتاً کارآیی این روش را کاهش می دهد. نتایج مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی این روش و مقایسه آن با روش تقویت خاک با ژئوتکستایل در مطالعات آتی ارائه خواهد گردید.



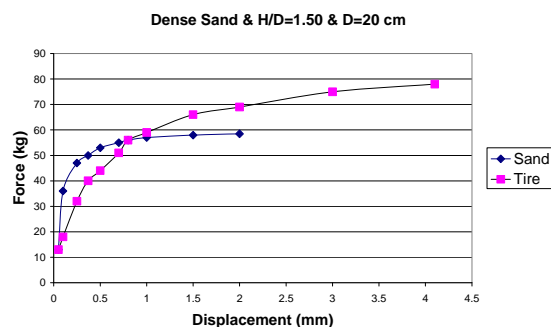
شکل ۱۸: نیروی لازم برای ۵ میلی متر جا به جایی عمودی بر نیروی لازم برای ۵ میلی متر جا به جایی عمودی در حالت (42.5% COVER-H/D=1.5) L/D=5.

مشاهدات صحرایی

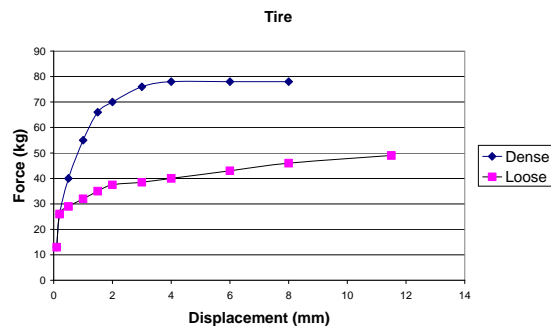
پس از مطالعات آزمایشگاهی و به منظور تایید کارآیی روش، لوله ای به قطر ۳۰ اینچ و به طول ۱۲ متر مورد مطالعه صحرایی در مقیاس واقعی قرار گرفته است. در آزمایش ابتدا و انتهای لوله به طور کامل آب بندی شده تا امکان نفوذ آب به داخل آن نباشد. به منظور استقرار لوله، ابتدا آب رودخانه برای مدتی منحرف و لوله طوری در زمین دفن گردید که بالای لوله در عمق ۰/۵ متری از سطح زمین قرار گیرد. سپس مطابق شکل (۲) ژئوتکستایل بر روی لوله قرار گرفته و ترانشه به وجود آمده با خاک، پر و جا به جایی لوله توسط جا به جایی سنج ها و از طریق میله هایی که به لوله متصل گردیده بودند، اندازه گیری شده است. در گام بعد آب به مسیر اصلی بازگردانده شده و به مدت دو ساعت به منظور اطمینان از اشباع خاک زمان داده شده است. در این فاصله جا به جایی کمی در لوله مشاهده گردیده، که علت آن فعال شدن ژئوتکستایل مطابق نتایج آزمایشگاهی بوده است. سپس خاک روی لوله به آرامی و توسط بیل مکانیکی



شکل ۱۵: نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در ماسه شل در حالت تقویت شده با لاستیک و حالت بدون تقویت.



شکل ۱۶: نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در ماسه متراکم در حالت تقویت شده با لاستیک و حالت بدون تقویت.



شکل ۱۷: مقایسه نمودار نیروی عمودی برکنش در برابر جا به جایی عمودی نقطه میانی لوله در ماسه شل و متراکم در حالت تقویت شده با لاستیک.

در شکل های (۱۵) تا (۱۷) که نتایج آزمایش را نشان می دهند. مشاهده می شود که به علت وجود لاستیک بر خط لوله یک نیروی فشاری رو به پائین بر خط لوله اعمال می گردد. این نیرو تأثیر قابل توجهی بر جلوگیری از حرکت خط لوله تحت نیروی برکنش دارد و مانند نیروی پیش تنیدگی عمل می نماید. به علت وجود حفره های بزرگ در درون لاستیک، خاک به داخل آن

مقدار نیروی مقاوم در برابر نیروی برکنش رابطه مستقیم دارد.

- با افزایش میزان تراکم خاک روش نگه دارنده ژئوتکستایل عمل کرد بهتری از خود نشان می دهد و با درصد پوشش یکسان، مقاومت بیشتری را بروز می دهد.
- با افزایش عمق دفن شدن لوله، روش نگه دارنده ژئوتکستایل عمل کرد بهتری و با درصد پوشش یکسان، مقاومت بیشتری را از خود بروز می دهد.
- افزایش قطر لوله باعث افزایش نیروی مقاوم در برابر نیروی برکنش می شود ولی از آن جایی که مقدار نیروی برکنش با توان دوم قطر لوله متناسب است، نتیجتاً لوله های با قطر بالا در معرض خطر بیشتری برای خروج از ترانشه قرار دارند.
- روش نگه دارنده پوشش ژئوتکستایل نه تنها باعث کاهش حرکت لوله در اثر نیروی برکنش می گردد، بلکه باعث می شود که در حالت حدی خرابی با تغییر شکل زیاد پایداری خط لوله را به مقدار بسیار زیادی افزایش دهد.

برداشته شده و مشاهده گردید، حتی زمانی که خاکی روی لوله باقی نمانده، به علت تکیه لوله به ژئوتکستایل، پایداری مجموعه کماکان حفظ شده است. نهایتاً با گسیخته نمودن ژئوتکستایل خروج انفجاری لوله از محیط که ناشی از نیروی برکنش وارد بر آن می باشد، مشاهده گردید. این مطلب مؤید توانایی بالای روش پیشنهادی در کنترل تغییر شکل های وارده بر لوله به علت نیروی برکنش می باشد. هم چنین مطالعات صحرایی بر روی مدل استفاده از لاستیک نگهدارنده انجام شده است که تأیید کننده مطالعات آزمایشگاهی می باشد.

نتیجه گیری

مطابق مطالعات آزمایشگاهی انجام شده روی دو مدل پیشنهادی و آزمایش صحرایی در مقیاس واقعی موارد زیر را می توان نتیجه گیری نمود:

- استفاده از پوشش ژئوتکستایل عمل کرد بسیار مناسبی را به عنوان نگهداری خطوط لوله از خود نشان داده است و افزایش درصد پوشش ژئوتکستایل با افزایش

مراجع

- 1 - ASCE, (1984). "Guidelines for the seismic design of oil and Gas pipeline system." *American Society of Civil Engineers*, New York.
- 2 - Koseki, Junichi; Matsuo, Osamu and Tanaka, Shuji, (1998). "Uplift damage to sewer pipes in Towada city caused by the 1994 Sanriku-Haruka-oki earthquake." *Proceedings of the Second Japan-UK Workshop on Implications of Recent Earthquakes on Seismic Risk*, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, PP. 97-108.
- 3 - Nieto, F. (1993). "Uplift of lifeline facilities induced by soil liquefaction during an earthquake." *Individual Studies by Participants at the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, Vol. 29, PP. 201-208
- 4 - Shimamura, K., et al. (1998). "An experimental study of the flotation of buried gas steel pipe due to liquefaction." *Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering*, A. A. Balkema, Rotterdam.
- 5 - Trautmann, C. H., O'Rourke, T. D. and Kulhawy, F. H. (1985). "Uplift Force-Displacement Response of Buried Pipe." *J. of Geotechnical Engineering*, Vol. 111, No. 9, PP. 1061-1076.
- 6 - Dickin, E. A. (1994). "Uplift resistance of buried pipelines in sand." *J. of Soils and Foundations*, Vol. 34, No. 2, PP. 41-48.
- 7 - Selvadurai, A. P. S. (1989). "The enhancement of the uplift capacity of buried pipelines by the use of geogrids." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 8.
- 8 - Murry, E. J. and Geddes, J. D. (1987). "Uplift of anchor plates in sand." *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol. 113, No. 3, paper 21301, PP 202-215.

- 9 - Troutman, C. H., O'Rourke, T. D. and Kullhawy, F. H. (1985). "Uplift Force-Displacement Response of Buried Pipe." *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 111, No. 9, Paper 19986, PP 1061-1075.
- 10 - Mohri, Y., Kawabata, T., Fujita, N., and Ling, H. I. (1998). "Full-Sized Experiments on Floatation of Buried Pipeline Reinforced with Geogrid." *Proceedings of 33rd Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, Yamaguchi, Japan, PP. 2029-2030.
- 11 - Mohri, Y., Kawabata, T. and Ling, H. I. "Geosynthetic reinforcement in the mitigation of pipeline flotation." *Advances in Reinforced soil, research and practice*, Dekker Inc., NewYork.
- 12 - Mohri, Y., Kawabata, T., Ling, H. I., and Okabe, Y. (1998). "Shaking Table Tests on Uplift of Buried pipes: 2. Effectiveness of Stabilizing with Crushed Rock and Geogrid." *Proceedings of 33rd Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, Yamaguchi, Japan, PP. 985-986.
- 13 - Mohri, Y., Kawabata, T. and Ling, H. I. (2001). "The use of geosynthetic in mitigating pipeline flotation during soil liquefaction." *10th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Philadelphia, PP. 135.
- 14 - Mohri, Y., Kawabata, T. and Ling, H. I. (1998). "Shaking Table Tests on Uplift of Buried pipes: 1. Vertical Shaking Effect." *Proceedings of 33rd Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, Yamaguchi, Japan, PP. 983-984.
- 15 - Mohri, Y., Kawabata, T. and Ling, H. I. (1998). "Experiments on Uplift Resistance of Buried Pipe." *Proceedings of 33rd Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, Yamaguchi, Japan, PP. 2027-2028.
- 16 - Mohri, Y., Kawabata, T. and Ling, H. I. (1997). "Uplift Force-Displacement Characteristics of Shallow Embedded Pipe." *Proceedings of 32nd Japan National Conference on Geotechnical Engineering*, Kumamoto, PP. 2185-2186.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Passive
- 2 - Pressure Cell