مطالعه عددی تاثیر استفاده از ژئوتکستایل بر نشست ناشی از حفاری تاسیسات شهری

نیکو ضیایی[1]، سید احسان سیدی حسینی نیا[2]

1- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی و کارشناس شهرداری مشهد

2-استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

ziai-n@mashhad.ir

خلاصه

عملیات حفاری در معابر برای جایگذاری تاسیساتی همچون برق، آب، فاضلاب، گاز و یا فیبرهای نوری مخابرات در زیر سطح خیابان‌ها و همچنین برای تعمیر تاسیسات موجود انجام می‌شود. در اثر این عملیات و به دلیل اجرای ناصحیح و غیر اصولی آن، محل حفاری شده و اطراف آن دچار نشست سطحی شده و عمر رویه آسفالتی کاهش میابد. در این مطالعه، شبیه سازی عددی منطقه پر شده با استفاده از نرم افزار المان محدود Plaxis 2D انجام شده است. با استفاده از مدلسازی ایجاد شده و تعریف مصالح و پارامترها در آن، ابتدا شبیه سازی وضع موجود حفاری ها انجام شده، سپس با ارائه راهکار اصلاحی استفاده از ژئوتکستایل یا ژئوگرید نتایج بررسی و مقایسه شده است. بر اساس نتایج شبیه سازی ها، با افزایش تراکم لایه ها و همچنین سخت تر شدن خاک محلی، میزان نشست کاهش پیدا می کند. استفاده از یک لایه ژئوتکستایل میزان نشست را حدودا هشت درصد کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی : حفاری در معابر شهری، نشست سطحی، شبیه سازی عددی، ژئوتکستایل

1. مقدمه

برای جایگذاری تاسیساتی همچون برق، آب، فاضلاب، گاز و یا فیبرهای نوری مخابرات در زیر سطح خیابان‌ها و همچنین برای تعمیر تاسیسات موجود در معابر حفاری‌هایی انجام می‌شود. پس از حفاری و عملیات ترمیم، سطح رویه آسفالتی در معبر دارای وصله می‌شود و یکپارچگی اولیه خود را از دست می‌دهد. عملیات حفاری معابر نه تنها باعث آسیب به رویه آسفالت می‌شود، بلکه مصالح خاکریز و تراکم آنها را نیز دچار مشکل می‌کند. اگر مصالح خاکریز با شرایط موجود در محل حفاری سازگار نباشد باعث ایجاد نشست در رویه می‌شود. بر اساس تحقیقات انجام شده بیشترین خسارت وارده به خیابانهای با آسفالت نو، حفاری در آن است که عمر مفید آسفالت را به شدت کاهش می‌دهد. سالانه هزینه بسیار بالایی برای نگهداری و تعمیرات این تاسیسات مصرف می‌شود که با مرمت صحیح و اصولی هزینه ها بسیار کاهش می‌یابد. تعداد عملیات حفاری با افزایش جمعیت رو به افزایش است. با افزایش نیاز به مرمت حفاریها، این مسئله به یکی از مسائل مهم برای مطالعه و تحقیق در آمده است.

2. روشهای ترمیم حفاری

نوارهای حفاری تاسیسات مختلف را می‌توان به یکی از روشهای ذیل ترمیم نمود: [1]

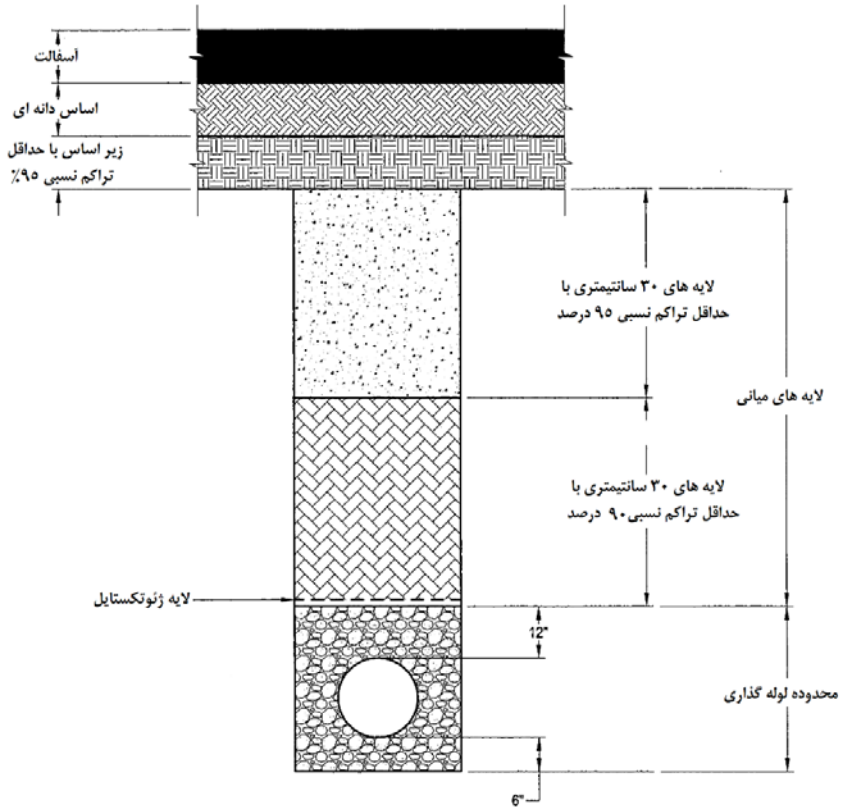
---

[1] کارشناس ارشد مهندسی عمران، مکانیک خاک و پی و کارشناس شهرداری مشهد- ziai-n@mashhad.ir

[2] استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد eseyedi@um.ac.ir

- **استفاده از مصالح خاکی به روش متراکم نمودن :** در این روش که فقط در ترانشه های باز قابل اجرا است. ابتدا در صورتی که در تراز بستر زیرین محل حفاری خاک نامناسب قرار داشته باشد، می‌توان آن را با مصالح قابل قبول تا عمق لازم تعویض نمود که این مصالح جایگزین باید تا حصول تراکم مناسب کوبیده شود. نحوه خاکریزی بسته به طول و عمق حفاری، شرایط جوی، شرایط اجرا، نوع تاسیسات جایگذاری شده، شرایط ترافیکی معبر و غیره در شهرهای مختلف متفاوت است. به عنوان نمونه یک ترانشه طولی باز به ترتیب زیر پر می-شود. شکل 1 نمونه‌ای از مقاطع خاکریزی ترانشه را نشان می‌دهد.

1. نصب تاسیسات در محل تعیین شده و سپس ریختن خاک نرم روی لوله(حدود 30 سانتیمتر)
2. ریختن مصالح درلایه های حداکثر 30 سانتیمتری با درصد تراکم 95٪
3. ریختن مصالح سنگ شکسته(ماکادام) تا زیر آسفالت و کوبیدن آن در لایه های 30 سانتیمتری با -درصد تراکم 95٪
4. قیر پاشی و اجرای آسفالت در دو لایه(بیندر و توپکا)



شکل 1- نمونه‌ای از مقطع خاکریزی ترانشه [2]

- **استفاده از مصالح سیمانته شده :** مصالح کم مقاومت کنترل شده (CLSM)[1]شامل مصالح غرقابی[2]، مصالح با چگالی کنترل شده، مصالح بدون خاصیت جمع شدگی، دوغاب خاکستر بادی، ملات خاک-سیمان ، خاک-سیمان و مخلوط دوغاب آهک و خاک خمیری هستند.

- در این روش که بعد از لایه پوشش می‌تواند آغاز شود حداکثر در ضخامت های سی سانتیمتری تا قبل از لایه فوقانی قابل انجام و پس از آن مطابق روش قبلی لایه فوقانی فشرده ده سانتیمتری اساس با تراکم نود و پنج درصد و سپس لایه های آسفالتی اجرا شود.

---

[1] Controlled Low Strength Materials
[2] Flowable fill

- **استفاده از مصالح خاکی به اضافه مصنوعات مسلح کننده خاکی مانند ژئوتکستایل‌ها:** این روش نیز فقط می‌تواند جایگزین لایه های میانی باشد.
- **استفاده از بتن ضعیف (کم عیار) :** این روش نیز فقط می‌تواند جایگزین لایه های میانی باشد.
- **سایر موارد:** روش های نوین اجرای لوله گذاری و عملیات حفاری نظیر حفاری بدون ترانشه Trenchless نیز قابل اجراست.

3. نرم افزار تحلیل عددی و نحوه شبیه سازی

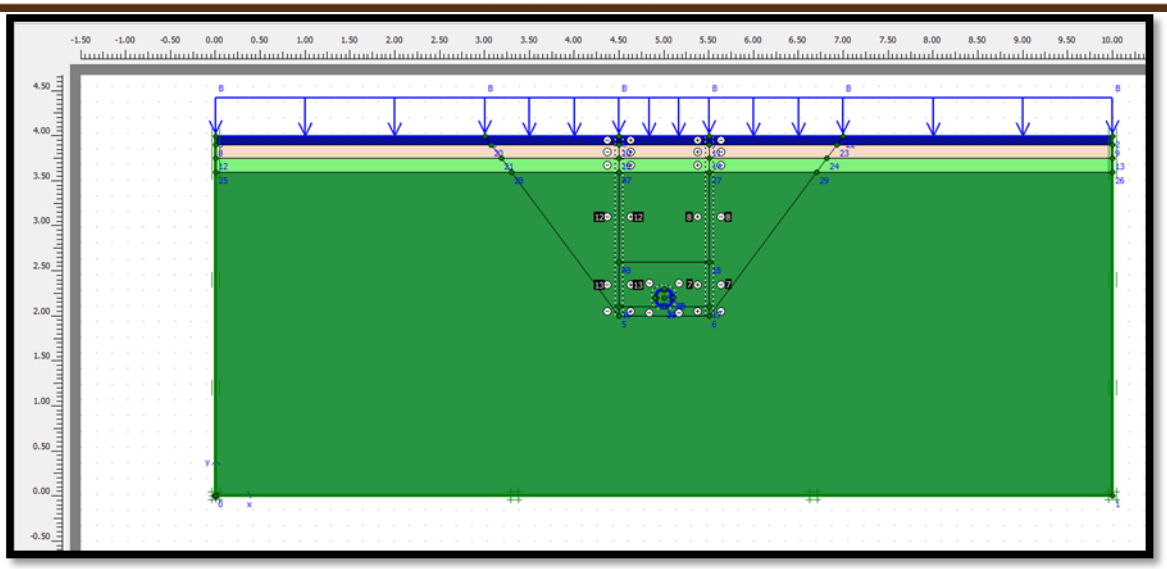
Plaxis 2D نرم افزار المان محدود است که برای تحلیل تغییر شکل‌ها و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. معمولا در مسائل مهم ژئوتکنیک یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل سازی رفتار غیر خطی و وابسته به زمان خاکها بسته به هدف مورد نظر لازم است. در این برنامه با استفاده از المان محدود دوبعدی و مدلسازی خاک پیشرفته میتوان تغییرشکل های الاستوپلاستیک، آنالیز استاتیکی، آنالیز تحکیم و مسائل جریان آب زیرزمینی را مدل کرد. اگرچه نتایج تعداد زیادی مدل‌های آزمایشگاهی به نتایج حاصل از تحلیل های این نرم افزار نزدیک بوده است، اما نمی‌توان اظهار کرد که این برنامه عاری از خطاست. مهمترین عامل در رسیدن به نتایج دقیق تر و قابل اطمینان از این برنامه آگاهی کاربر از نحوه صحیح مدلسازی، شناخت مدل های مختلف رفتاری خاک و محدودیت‌های آن، انتخاب مناسب پارامترها وتوانایی قضاوت مهندسی کاربر در استفاده از نتایج تحلیل‌هاست.

جهت بررسی مشکلات موجود در مرمت حفاری ها و ارائه راهکارهای کاهش نشست، از مدلسازی عددی در نرم افزار دو بعدی plaxis 2D استفاده می‌شود. در این راستا ابتدا مطالعات میدانی جهت شناخت صحیح مساله و همچنین مطالعه ای بر روی تحقیقات پیشین انجام شده صورت می‌گیرد. پس از اطلاع کامل از نحوه انجام پروژه و تشخیص عوامل موثر در آن، این پروژه را در نرم افزار شبیه سازی عددی می‌شود. بعد از شبیه سازی محیط و بارگذاری، مراحل اجرای عملیات حفاری فازبندی می‌شود. پس از اجرای محاسبات در نرم افزار خروجی های مختلف شامل توزیع تنش در محیط، مقدار تغییرمکان در هر نقطه از محیط، نقاط پلاستیک و همچنین نمودارهای مختلفی همچون تغییرمکان در برابر زمان تحلیل و یا در برابر گام های محاسباتی و .. استخراج و تحلیل می‌شود. در شبیه سازی ها پس از بررسی تغییرمکان های موجود، راهکار اصلاحی ژئوتکستایل ارائه شده و تغییرمکان های آن را بررسی و مقایسه کرده و در نهایت برای هر نوع خاک طبقه بندی شده بهینه ترین روش پیشنهاد می‌شود.

شبیه سازی محیط: ابعاد محیط به این صورت زیر در نظر گرفته می‌شود که طول محیط مورد مطالعه 10 متر و عمق چهار متر می‌باشد. ابعاد ترانشه نیز به عرض یک متر و عمق دو متر می باشد (شکل شماره 2). در این حالت تنش ها در اطراف مدل همگرا شده و همچنین مرزهای جاذب دینامیکی برای جذب افزایش تنش ها روی مرزها ناشی از بارهای دینامیکی، برای محیط تعریف می‌شود.

نحوه اعمال بار: جهت اعمال بار در نرم افزار به دو صورت گسترده یکنواخت و موضعی در محل قرار گیری چرخ ها در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین نحوه اعمال بار دو مدل را با شرایط بارگذاری بالا اجرا کرده و نتایج مقایسه می‌شود. در حالت دوم در محل اعمال بار نشست خیلی زیاد رخ می-دهد و بار به تمام محیط به صورت یکنواخت در زمان اعمال بار وارد نمی‌شود. همچنین مشاهده می‌شود نشست یکنواخت تر و به حالت واقعی نزدیکتر می‌باشد. جهت شبیه سازی از مدل مور-کولمب[1] استفاده می‌شود.

[1] Mohr-coulomb mode



شکل 2- نحوه شبیه سازی

طبقه بندی خاک محلی: بر پایه اطلاعات گمانه‌های موجود، تفسیر عکس های هوایی، بازدید از ترانشه های طبیعی و مصنوعی و همچنین ارزیابی روند رسوبگذاری در دشت مشهد، شرایط زیرسطحی و بافت خاک تعیین شده است. بر این مبنا و همچنین جمع آوری گزارشات مطالعات مکانیک خاک در سطح شهر در مورد محدوده پارامترهای انواع خاک ها، جهت مدلسازی با نرم افزار، خاک مشهد به دو دسته کلی ریز دانه و درشت دانه با پارامترهای جدول 1تقسیم شده است: [3]

جدول 1 -تقسیم بندی خاک های ریزدانه و درشت دانه در شهر مشهد

	$\gamma^{(kN/m^3)}$	$c^{(kN/m^2)}$	Φ(deg)	$E^{(kN/m^2)}$	(-)υ
خاک ریز دانه	15/5	13	30	150000-10000	0/35
خاک درشت دانه	17/6	5	38	30000-20000	0/3

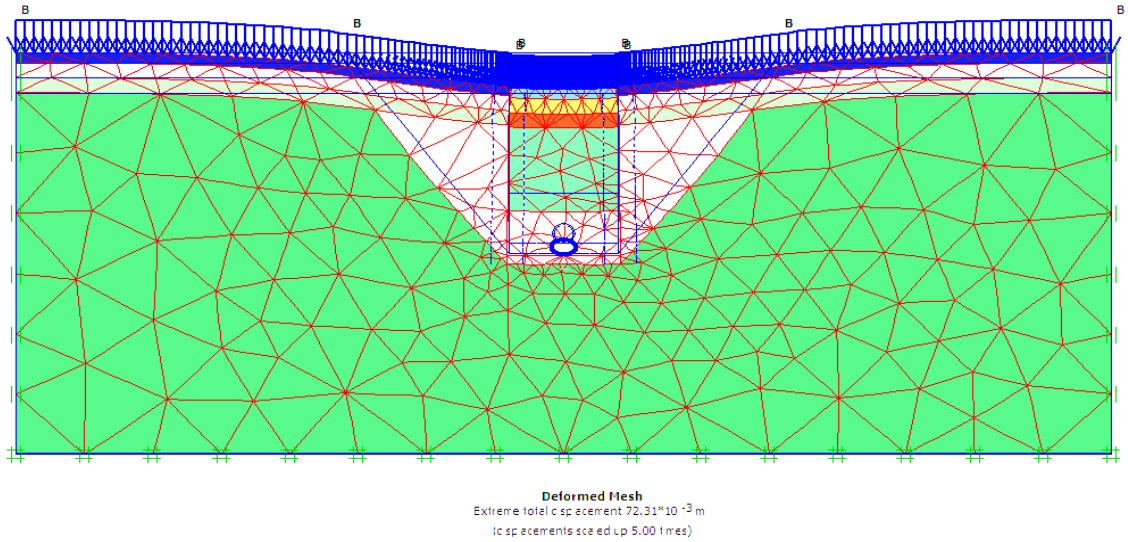
ژئوتکستایل : بر اساس تعریف استاندارد ASTM D-4439 ژئوتکستایل یک ژئوسنتتیک تراوا که فقط شامل پارچه است، می‌باشد که در ساخت ان بیشتر از پلی پروپیلن یا پلی استر استفاده می‌شود. ژئوتکستایل به دو گروه عمده تقسیم بندی می‌شود. در صورتیکه الیاف توسط دستگاههای بافندگی و به صورت دو مجموعه نخ عمود بر هم بافته شوند که به ژئوتکستایل بافته شده[1] موسوم است. ژئوسنتتیک ها بر خلاف ماسه دارای مقاومت کششی بوده و بنابراین میتوانند خاصیت و کاربرد تقویت کنترلی را در سطح مشترک سابگرید و مصالح دانه ای و یا در داخل خود مصالح دانه ای ایجاد نمایند. [4]

4. نحوه شبیه سازی ها

با استفاده از مدلسازی ایجاد شده در برنامه ورودی plaxis و تعریف مصالح و پارامترها در آن، ابتدا شبیه سازی وضع موجود حفاری ها را انجام داده و سپس با ارائه راهکارهای اصلاحی استفاده از ژئوتکستایل یا ژئوگرید در لایه های خاکریز ، نتایج را بررسی و مقایسه شده است.

شبیه سازی های وضع موجود: در این مدل خاک محلی ریزدانه رس همراه سیلت می‌باشد، محل حفاری شده با همان خاک محلی و با تراکم 75 درصدپر می‌شود. در این مدل مدول الاستیسیته خاک ها در کمترین حالت به معنای خاک شل و ضعیف و همچنین تراکم ناکافی در نظر گرفته شده است. پس از شبیه سازی و محاسبات، بیشترین تغییر مکان 72/3 میلیمتر بدست آمده است. شکل 3 مدل تغییرشکل یافته را در سطح رویه نشان می‌دهد.

[1] woven



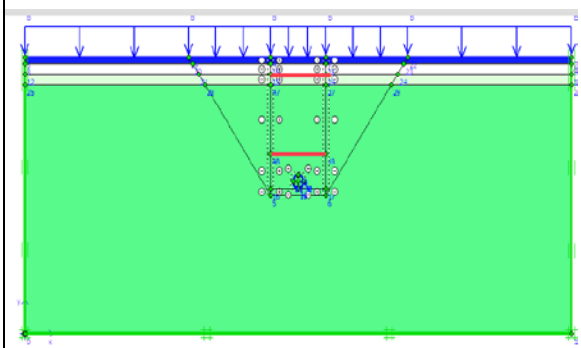
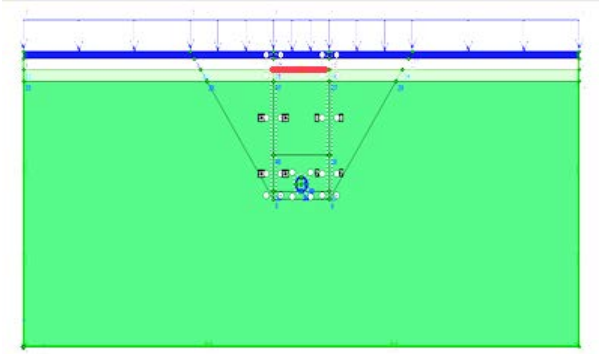
شکل3- مدل تغییرشکل یافته پس از حفاری

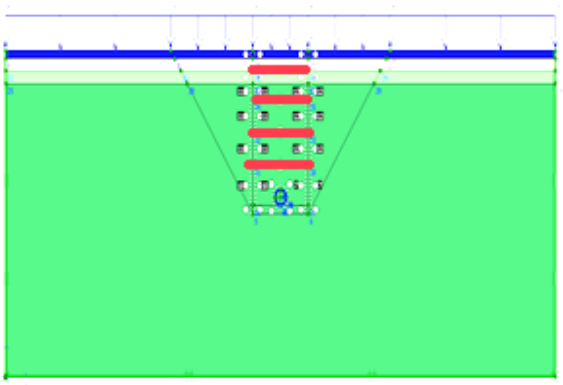
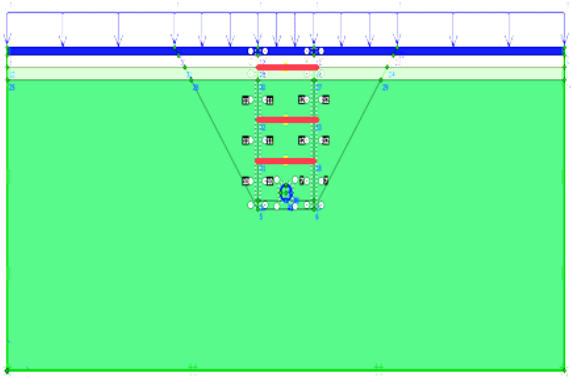
شبیه سازی با راهکارهای اصلاحی استفاده از ژئوتکستایل یاژئوگرید: در این مطالعه جهت بدست آوردن تعداد و فواصل بهینه و همچنین جزئیات قرارگیری ژئوتکستایل در ترانشه چند مدل با حالتهای مختلف قرار گیری ژئوتکستایل مطابق جدول 2 در نظر گرفته شده است. جهت انتخاب مدل بهینه حداکثر تغییر مکان قائم مدل با مدل اولیه بدون ژئوتکستایل مقایسه شده است. حداکثر تغییر مکان مدل اولیه بدون ژئوتکستایل 72/3 میلیمتر می‌باشد

خاک ریزدانه: افزایش تعداد لایه ها و طول گیرداری ژئوتکستایل در خاک اطراف، تاثیر چندانی در کاهش نشست ندارد. بنابراین بهینه ترین حالت قرارگیری مدلی است که در ان یک لایه ژئوتکستایل در زیر لایه اساس می‌باشد که باعث کاهش 8 درصدی نشست می‌شود.

خاک درشت دانه: جهت بدست آوردن تعداد و فواصل بهینه و همچنین جزئیات قرارگیری ژئوتکستایل در ترانشه چند مدل با حالتهای مختلف مطابق جدول 2 در نظر گرفته شده است. جهت انتخاب مدل بهینه حداکثر تغییر مکان قائم مدل با مدل اولیه بدون ژئوتکستایل مقایسه شده است. حداکثر تغییر مکان مدل اولیه بدون ژئوتکستایل 33/8 میلیمتر می‌باشد. با مقایسه این مدل ها مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد لایه ها ی ژئوتکستایل از یک تا پنج لایه، تغییر مکان از هفت تا 15 درصد کاهش پیدا می کند.

جدول 2-مدل های مختلف استفاده از ژئوتکستایل در خاک

	
دو لایه ژئوتکستایل یکی در عمق 25 سانتیمتری در زیر لایه اساس و دیگری در عمق بالای لایه پوشش لوله قرار می‌گیرند. حداکثر تغییر مکان در خاک ریزدانه: 68 حداکثر تغییر مکان در خاک درشت دانه: 31/6	یک لایه ژئوتکستایل در عمق 25 سانتیمتری در زیر لایه اساس قرار می‌گیرد . حداکثر تغییر مکان در خاک ریزدانه: 68 حداکثر تغییر مکان در خاک درشت دانه: 32/6

	
چهار لایه ژئوتکستایل یکی در عمق 25 سانتیمتری در زیر لایه اساس، درعمق و دیگری در عمق بالای لایه پوشش لوله قرار می‌گیرند. حداکثر تغییر مکان در خاک ریزدانه: 68 حداکثر تغییر مکان در خاک درشت دانه: 31/3	سه لایه ژئوتکستایل یکی در عمق 25 سانتیمتری در زیر لایه اساس، در عمق و دیگری در عمق بالای لایه پوشش لوله قرار می‌گیرند. حداکثر تغییر مکان در خاک ریزدانه: 66/4 حداکثر تغییر مکان در خاک درشت دانه: 28/5

5. نتیجه گیری

با توجه به شبیه سازی های انجام شده خواهیم داشت:

با افزایش تراکم لایه های خاکریز و سخت تر شدن لایه ها میزان نشست کاهش می یابد. مثلا در خاک ریز دانه میزان نشست در خاک با تراکم 75٪، حدود 20٪ بیشتر از خاک کاملا متراکم می‌باشد.

هر چه خاک محلی سخت تر باشد، میزان نشست ناشی از حفاری کمتر خواهد بود. دو مدل ارائه شده در خاک ریز دانه یکی با خاک محلی خیلی شل و دیگری خاک محلی سخت است که تراکم خاکریز هر دو مدل نیز 75٪ تراکم خاک محلی می‌باشد. مشاهده شد که میزان بیشترین تغییر مکان در انتهای حفاری 37٪ کاهش یافته است.

برای ارزیابی تاثیر استفاده از ژئوتکستایل میان لایه های خاکریز در نشست ناشی از حفاری چند مدل با تعداد و فواصل مختلف ژئوتکستایل و همچنین شکل قرارگیری متفاوت شبیه سازی شد. با توجه به نتایج، در مقایسه بین شکل قرارگیری ژئوتکستایل در خاک ریزدانه، بهینه ترین حالت یک لایه ژئوتکستایل در زیر لایه اساس می‌باشد که باعث کاهش 8 درصدی نشست خواهد شد. مشاهده می‌شود با افزایش تعداد و همچنین افزایش طول گیرداری ژئوتکستایل در خاک اطراف تاثیر چندانی در کاهش نشست ندارد.

با مقایسه نحوه قرارگیری ژئوتکستایل در خاک درشت دانه مشاهده میشود با افزایش تعداد لایه های ژئوتکستایل در خاکریز از 1 تا 5 لایه تغییر مکان نیز از 7 تا 15٪ کاهش میابد. همچنین با افزایش طول گیرداری ژئوتکستایل در خاک اطراف مقدار نشست تغییری پیدا نکرد.

6. منابع :

1. علی جهانگیری، *شیوه نامه کند و پوش کانال های تاسیسات شهری*. شیراز: شهرداری شیراز. 1387.

2. Schaefer, V., et al.," *Utility Cut Repair Techniques-Investigation Of Improved Cut Repair Techniques*", p. 159, 2005

3. حافظی مقدس، *ریزپهنه بندی لرزه ای شهر مشهد*. 1387.

4. شیخی،پ. قربان بیگی، س. *"ارزیابی اثر ژئوگرید بر رفتار دینامیکی خاکهای مسلح با استفاده از plaxis"* ، مجموعه مقالات همایش ملی عمران و توسعه پایدار، موسسه آموزش عالی خاوران مشهد، ایران، 1391