

اثر بارگذاری سطحی بر لوله‌های فاضلاب شهری در روش‌های مختلف اجرا

پرویز معارف‌وند*^۱، مسعود شمس‌الدین سعید^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

(دریافت اسفند ۹۰، پذیرش اسفند ۹۲)

چکیده

از آن‌جا که طرح‌های مربوط به شبکه‌های آب و فاضلاب شهری از داخل شهر و بعضاً از محل‌های پرتردد، تجاری و مسکونی می‌گذرد، برآورد نشست زمین و آگاهی از میزان بارهای وارده بر لوله، پس از اتمام این پروژه‌ها بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله میزان نشست و تنش‌های القایی وارد بر لوله، ناشی از بارگذاری سطحی در روش‌های مختلف اجرا، سنتی (نقبی، ترانشه‌باز) و مکانیزه (میکروتونلینگ، لوله‌رانی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای شبیه‌سازی روش‌های مذکور از نرم افزار عددی UDEC استفاده شده است. خاک مورد مطالعه کنگلومرای هزار دره تهران تیپ A است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بیشترین نشست سطح زمین و مساحت زون پلاستیک تشکیل شده در اطراف لوله مربوط به روش ترانشه باز است که دلیل آن پر کردن ترانشه با خاک دستی و چسبندگی پایین خاک است. بیشترین تنش محوری وارد بر لوله در روش لوله‌رانی دیده می‌شود و دلیل آن تماس کامل لوله با محیط اطراف در حین رانش و اصطکاک مابین لوله-خاک است. همچنین تغییرات جابه‌جایی و تنش‌های وارد بر لوله در روش‌های میکروتونلینگ و حفر مقنی به دلیل داشتن شکل مقطع تقریباً مشابه این روش‌ها، هم‌خوانی خوبی با یکدیگر دارند.

کلمات کلیدی

شبیه‌سازی، UDEC، ترانشه باز، نقبی، میکروتونلینگ، لوله‌رانی

۱- مقدمه

۲-۱- روش ترانشه‌باز

عبارت است از روش‌های سنتی کارگذاری لوله شامل حفر یک ترانشه اعم از روش‌های ماشینی و یا دستی، خوابانیدن لوله، پر کردن گودال حفرشده و باز گردانیدن سطح به حالت اولیه. در این روش خاکی که برای پر کردن ترانشه استفاده می‌شود آن چسبندگی و مقاومت محیط اطراف خود را نخواهد داشت. با وجود تحکیم و کوبیدن خاک روی لوله، باز هم این خاک خواص فیزیکی- مکانیکی محیط اطراف خود را نخواهد داشت و بارها مشاهده شده است که به دلیل برهم خوردن بافت خاک، در سطح زمین به خصوص در هنگام بارندگی زمین نشست کرده و سطح آسفالت ترک می‌خورد (شکل ۱).



شکل ۱: نشست سطح زمین و خرابی آسفالت پس از پر کردن ترانشه و روکش کردن

۲-۲- روش حفر مقنی

در این روش در سطح خیابان به فاصله‌های مشخص چاهک‌هایی حفر شده و با اتصال این چاهک‌ها در عمق مورد نظر به یکدیگر، تونل حفر می‌شود. لوله در داخل تونل قرار می‌گیرد و سپس از بالا خاک می‌ریزند تا اطراف لوله پر شود. اما این شیوه از کارایی عملی و فنی کافی برخوردار نیست. در دسترس نبودن لوله و عدم اطمینان از پر شدن کامل روی لوله علت مخالفت کارشناسان با این روش است. در واقع پس از حفر منهول، مقطع تونل مورد نظر به صورت تخم مرغی شکل یا بیضی ایستاده در می‌آید و هنگام قرار دادن لوله در زیرزمین، قسمت بالایی لوله خالی می‌ماند. به مرور زمان و بر اثر بارهای سطحی و ریزش‌های جوی، فضای

خطوط انتقال آب و شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب از جمله مهم‌ترین زیرساخت‌ها و تأسیسات زیر بنایی مربوط به صنعت آب و فاضلاب کشور هستند که با صرف سرمایه‌گذاری‌های عظیم به اجرا در می‌آیند. خطوط انتقال آب جزء مجاری زیرزمینی بوده و همواره لزوم توجه به بارهای سطحی وارد بر آن‌ها جزء پارامترهای مهم در طراحی لوله‌های مدفون می‌باشد. در اثر بارگذاری متغیر سطحی و همچنین عدم روسازی صحیح، نشست در آسفالت مشاهده می‌شود. در نتیجه توجه به بارهای ترافیکی سطحی اعم از تردد وسایل نقلیه و ساختمان‌های موجود، می‌تواند در طراحی بهینه خطوط لوله بسیار سودمند باشد [۱].

در جدول (۱) فهرستی از مطالعات پیشین و کارهای انجام شده آورده شده است.

جدول ۱: مروری بر مطالعات پیشین و کارهای انجام شده

شماره	عنوان
۱	تحلیل عددی عملیات لوله‌رانی به روش میکروتولینگ در خاک‌های ناهمگن [۲]
۲	تحلیل گسیختگی خطوط لوله گاز (فولاد X65) تحت بارگذاری شکست با استفاده از روش المان محدود [۳]
۳	تحلیل خطوط لوله مدفون (فولادی) تحت جابه‌جایی‌های لغزش امتدادی با روش المان محدود [۴]
۴	تحلیل عددی لوله مدفون آزمایشگاهی در خاک متورم با استفاده از نرم‌افزار FLAC 3D [۵]
۵	واکنش لوله‌های مدفون به بارگذاری‌های سطحی با روش المان محدود (ANSYS) [۶]
۶	اندرکنش خاک-لوله برای لوله‌های فولادی موج‌دار عمیق [۷]

۲- معرفی روش‌های اجرا شبکه‌های فاضلاب شهری

به طور کلی دو روش عمده برای نصب شبکه‌های فاضلاب در سطح شهر وجود دارد. روش اول که بسیار متداول است ترانشه باز و روش دیگر، روش‌های بدون حفر ترانشه می‌باشد. یکی از روش‌های اجرای بدون حفر ترانشه، احداث نقب‌های سنتی بوده و روش دیگر استفاده از دستگاه‌های حفار میکروتونل و لوله‌رانی است [۸].

خالی بالای لوله ریزش کرده و باعث نشست در آن منطقه می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲: نشست زمین پس از اجرا (روش حفر مقنی)

۲-۴- روش میکروتونلینگ

مکانیزم کار روش میکروتونلینگ شبیه به ماشین حفار TBM است و حفاری مواد به وسیله صفحه حفار انجام می‌شود. تخلیه مواد حفر شده می‌تواند به صورت اوگری یا هیدرولیکی انجام شود. در این مقاله سیستم تخلیه اوگری که در محیط‌های خشک کاربرد دارد شبیه‌سازی شده است [۹].

۳- معرفی مسئله مورد تحلیل

در تمامی مدل‌های ساخته شده، خصوصیات خاک کنگلومرای هزار دره تهران تیپ A، برای مطالعه در نظر گرفته شده است (جدول ۱). لوله‌ای فولادی با مشخصات جدول (۲) در عمق ۳ متری (از سطح زمین تا روی لوله) قرار می‌گیرد. همچنین خواص مربوط به خاک پرکننده ترانشه در جدول (۳) آورده شده است. در روش‌های میکروتونلینگ و لوله‌رانی، بلافاصله پس از حفاری لوله در زیرزمین قرار می‌گیرد. در روش‌های ترانشه‌باز و حفر مقنی، پس از حفاری و بعد از اینکه مدل به تعادل اولیه برسد، لوله در زیرزمین قرار می‌گیرد.

۲-۳- روش لوله‌رانی

این روش از روش‌های حفاری بدون ترانشه و مکانیزه دنیا به شمار می‌آید. پس از حفر چاهک‌های دسترسی بین دو نقطه تا عمق مشخص و قرار دادن جک‌های هیدرولیکی فشار قوی در کف آن‌ها، عملیات حفر به روش‌های مختلف مانند روش اوگری و یا هل دادن لوله انجام می‌شود و لوله‌ها هم‌زمان با عملیات حفاری با فشار جک‌ها به صورت پی در پی در مسیر قرار می‌گیرند [۸].

جدول ۱: پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک کنگلومرای هزار دره تهران تیپ A [۱۰]

نام واحد	چگالی ($\frac{gr}{cm^3}$)	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	چسبندگی (MPa)
کنگلومرای تیپ A	۲٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۵	۳۵	۰٫۱۵

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی - مکانیکی لوله فولادی [۱۱]

چگالی ($\frac{gr}{cm^3}$)	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	چسبندگی (MPa)
۷٫۸	۲۱۰	۰٫۲۳	۳۰	۱۰

قطر لوله‌های بکار رفته ۱ متر و ضخامت آن‌ها ۵ سانتیمتر است.

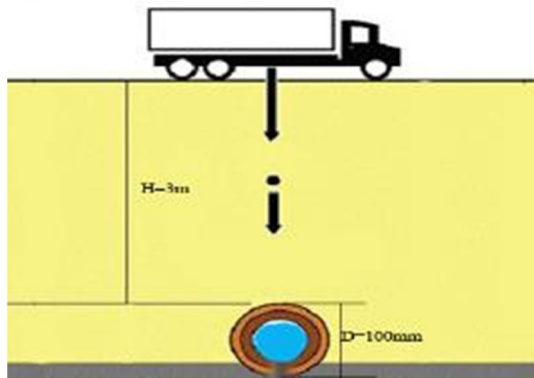
جدول ۳: پارامترهای فیزیکی مکانیکی خاک پرکننده ترانشه (با تحکیم)

نام واحد	چگالی ($\frac{gr}{cm^3}$)	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	چسبندگی (MPa)
خاک پرکننده ترانشه	۲	۰٫۱۰۵	۰٫۳۵	۲۰	۰٫۱۰۵

الف) بعد از حفاری و به محض قرار گرفتن لوله در زیرزمین

تمامی نتایج اعم از نشست زمین و تنش‌های وارده بر لوله در دو حالت اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مدل تعریف شده روش میکروتونلینگ، به دلیل اینکه صفحه حفار، قطری بزرگ‌تر از قطر لوله را حفاری می‌کند، جهت مدل کردن واقعی‌تر و حصول نتایج دقیق‌تر یک فضای خالی دایروی به ضخامت ۵ سانتی متر در بالای لوله در نظر گرفته شده است.

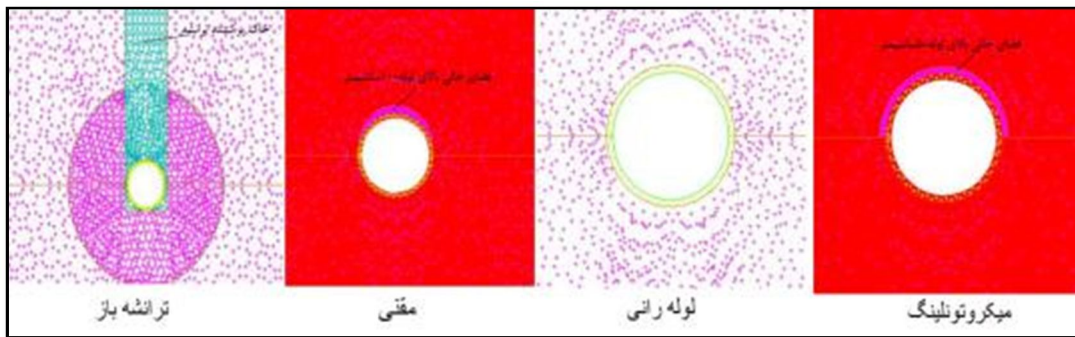


شکل ۳: عبور کامیون از روی لوله در سطح زمین [۱۱]

ب) بعد از اعمال بار عمودی ناشی از وزن کامیون در سطح زمین توجه به این نکته ضروری است که قبل از حفاری، وضعیت تنش‌ها و جابه‌جایی‌ها در تمامی روش‌ها یکسان است.

از آنجا که تحلیل دو بعدی می‌باشد لذا در شبیه‌سازی مقطعی در نظر گرفته شده است که متحمل بیشترین بار می‌باشد. مقطع مورد نظر متحمل بار دو محور عقب کامیون است. این بار از طریق ۸ سطح مقطع (حلقه لاستیک) به ابعاد ۳۰*۳۰ سانتی متر به زمین وارد می‌شوند (شکل ۳).

شکل (۴) نمایی کلی از مدل‌های ساخته شده برای روش‌های مختلف اجرا را نشان می‌دهد. در مدل تعریف شده برای روش حفر مقنی یک فضای خالی در بالای لوله به ضخامت ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است تا مقطع حفر شده به صورت واقعی در عمل یعنی تخم مرغی شکل درآید. در مدل ساخته شده برای روش لوله‌رانی (روش هل دادن) هیچ فضای خالی بین لوله و زمین اطراف وجود ندارد. لوله در تماس کامل با زمین اطراف قرار دارد. همچنین در



شکل (۴): نمایی کلی از مدل‌های ساخته شده در UDEC

درزه‌ها به عنوان سطوح تلاقی میان بلوک‌های مجزا دیده می‌شود که به جای شرایط خاص در المان‌های مخصوص به عنوان شرایط مرزی مسئله منظور می‌شود. نیروهای تماس و جابه‌جایی در محل تماس‌ها ناشی از انباشته شدن تنش بلوک‌ها، از محاسبه اثرات حرکت بلوک‌ها بدست می‌آید. روند محاسبات در این روش به صورت تلفیقی از اعمال قانون نیرو و جابه‌جایی در محل تماس‌ها و به‌کارگیری قانون دوم نیوتن که حرکت بلوک‌ها ناشی از اعمال نیرو بر آن‌ها است، تعیین می‌کند [۱۲].

۴- روش المان مجزا

این روش از نظر تقسیم‌بندی محیط مسئله به سیستمی از بلوک‌ها شبیه روش المان محدود است ولی تفاوت عمده آن با سایر روش‌های عددی در این است که در این مورد ما کل هندسه مدل و هندسه المان‌ها را توسط فاصله و جهت ناپیوستگی‌های توده‌سنگ تعیین می‌کنیم. در روش المان مجزا توده‌سنگ به صورت مجموعه‌ای از بلوک‌های مجزا که به وسیله درزه‌ها تفکیک شده‌اند، در نظر گرفته می‌شود.

- طی فرایند حلقه‌های محاسباتی پی‌درپی، امکان شناخت تماس‌های جدید به صورت خودکار وجود داشته که پس از شناخت آن‌ها، خود به صورت بخشی از مدل وارد محاسبات بعدی می‌شوند.

۵- بحث و نتایج

در روش ترانشه باز تنش عمودی، تنش محوری وارد بر لوله و جابه‌جایی عمودی در مرحله بدون بارگذاری بسیار کمتر از حالت با بارگذاری است و دلیل آن خاک پرکننده ترانشه است که خاکی هوازده، نامتراکم و دارای چسبندگی پایین است. همچنین این روش دارای بیشترین جابه‌جایی عمودی در بین روش‌ها است (جدول ۴).

در روش نقبی، تنش اصلی بیشینه و تنش محوری در هنگام قرارگیری لوله در زیرزمین نسبت به مرحله پس از اعمال بار کمی بیشتر، و در مجموع نسبت به سایر روش‌ها کمتر است و دلیل آن وجود فضای خالی بالای لوله است که پس از حفاری باقی می‌ماند. در نتیجه در این حالت فشار چندانی به لوله وارد نمی‌شود. ولی پس از اعمال بار فضای خالی بالای لوله بر اثر فشار وارده ریزش می‌کند، در نتیجه جابه‌جایی در این حالت نسبت به حالت قبل بیشتر است. این مطلب را به خوبی از روی نتایج مربوط به جابه‌جایی و تنش‌های اصلی می‌توان فهمید (جدول ۵).

در روش لوله‌رانی همان‌گونه که انتظار می‌رفت، تنش افقی بسیار بالاتر از سایر روش‌ها می‌باشد. اصلی‌ترین دلیل آن چفت بودن لوله با زمین اطراف و اصطکاک بین خاک و لوله است که در حین راندن لوله به جلو، تنش محوری روی لوله بسیار زیاد است (جدول ۶).

در روش میکروتونلینگ از آن‌جا که صفحه حفار، قطری بزرگ‌تر از قطر لوله را حفر می‌کند. بنابراین لوله تحت تنش‌های افقی پایین‌تر نسبت به روش لوله‌رانی قرار دارد. از طرفی چون لوله هم‌زمان با عملیات حفر پشت دستگاه حفار قرار می‌گیرد. همچنین به دلیل ارتعاش بسیار پایین، جابه‌جایی‌ها این روش نسبت به سایر روش‌ها پایین‌تر و نتایج در حالت بدون بارگذاری و با بارگذاری دارای کم‌ترین اختلاف هستند (جدول ۷).

الگوریتم حل مسائل به روش المان مجزا را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر بیان کرد:

- سرعت‌های گره‌ای جدید از معادلات حرکت بدست می‌آیند.
- مقدار جابه‌جایی افزایشی محاسبه می‌شود.
- موقعیت مرز بلوک مشخص شده و مقادیر جابه‌جایی افزایش یافته، محاسبه می‌شود.
- با بکار بردن روابط مشخصه رفتاری برای درزه، نیروها و تنش‌های تماسی تعیین می‌شوند.
- مقادیر کرنش افزایشی محاسبه می‌شوند.
- با بکار بردن روابط مشخصه رفتاری برای بلوک‌ها، تنش‌های المانی جدید مشخص می‌شوند.
- نیروهای تماسی، تنش‌های المانی و بارهای خارجی به بردارهای نیروی جدید برای هر گام زمانی بعدی جمع می‌شوند.

نکات برجسته و قابل توجه این روش را می‌توان در موارد

زیر خلاصه نمود:

- قابلیت شبیه‌سازی محیط ناپیوسته به صورت بلوک‌های در کنار هم چیده‌شده که از طریق تماس‌ها (موجود در مرز بلوک‌ها) با هم برهم کنش دارند.
- ناپیوستگی‌ها به عنوان مرز درهم کنش مابین بلوک‌های مذکور تلقی شده که برای تعریف و نشان دادن رفتار آن‌ها، مدل‌های رفتاری مربوط به ناپیوستگی‌ها موجود است.
- روش کار در روش المان مجزا مطابق الگوریتم و مرحله‌دار زمانی صریح بوده که در این حالت امکان جابه‌جایی‌ها و چرخش‌های بزرگ، بر اساس مدل رفتاری غیر خطی عمومی در هر بلوک یا ناپیوستگی، را فراهم می‌کند.
- روش المان مجزا علاوه بر مدل کردن جابه‌جایی‌ها و چرخش‌های محدود تا بزرگ اجزای جداگانه (بلوک‌ها)، قادر به مدل کردن جدایش کامل نیز می‌باشد.

جدول ۴: تنش‌ها و جابه‌جایی‌های مربوط به روش ترانشه باز (روی لوله)

حالت	تنش محوری (کیلوپاسکال)	تنش برشی (کیلوپاسکال)	تنش عمودی (کیلوپاسکال)	تنش اصلی بیشینه (کیلوپاسکال)	تنش اصلی کمینه (کیلوپاسکال)	جابه‌جایی عمودی (سانتیمتر)
بدون بارگذاری	۳۶/۱	۱/۸۷	۰/۲۴۴	۳۶/۱۸	۰/۱۵	۰/۰۵
با بارگذاری	۱۷۱/۳	۸/۴	۰/۴۱۱	۱۷۱/۸	۰	۰/۱۴

جدول ۵: تنش‌ها و جابه‌جایی‌های مربوط به روش نقبی (روی لوله)

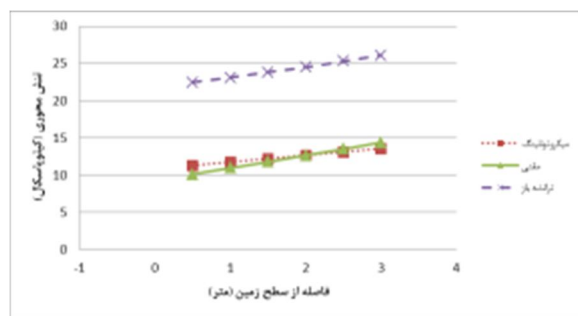
حالت	تنش محوری (کیلوپاسکال)	تنش برشی (کیلوپاسکال)	تنش عمودی (کیلوپاسکال)	تنش اصلی بیشینه (کیلوپاسکال)	تنش اصلی کمینه (کیلوپاسکال)	جابه‌جایی عمودی (سانتیمتر)
بدون بارگذاری	۱۵/۳	۱/۲۵	۰/۱	۱۵/۳۷	۰	۰/۰۱۴
با بارگذاری	۱۴/۱۵	۱/۲	۰/۱	۱۴/۲۵	۰	۰/۰۴۹

جدول ۶: تنش‌ها و جابه‌جایی‌های مربوط به روش لوله رانی (روی لوله)

حالت	تنش محوری (کیلوپاسکال)	تنش برشی (کیلوپاسکال)	تنش عمودی (کیلوپاسکال)	تنش اصلی بیشینه (کیلوپاسکال)	تنش اصلی کمینه (کیلوپاسکال)	جابه‌جایی عمودی (سانتیمتر)
بدون بارگذاری	۲۴۱	۹/۷۵	۹/۲	۲۴۱/۵	۸/۸	۰/۰۱۳
با بارگذاری	۴۱۵	۱۸/۷۲	۱۳/۸۸	۴۱۶	۱۳	۰/۱۱

جدول ۷: تنش‌ها و جابه‌جایی‌های مربوط به روش میکروتونلینگ (روی لوله)

حالت	تنش محوری (کیلوپاسکال)	تنش برشی (کیلوپاسکال)	تنش عمودی (کیلوپاسکال)	تنش اصلی بیشینه (کیلوپاسکال)	تنش اصلی کمینه (کیلوپاسکال)	جابه‌جایی عمودی (سانتیمتر)
بدون بارگذاری	۳۲/۷۴	۱/۵۱	۰/۰۷	۳۲/۸۱	۰	۰/۰۲۵
با بارگذاری	۳۵/۷۸	۱/۶۵	۰/۰۷۶	۳۵/۸۶	۰	۰/۰۲۶

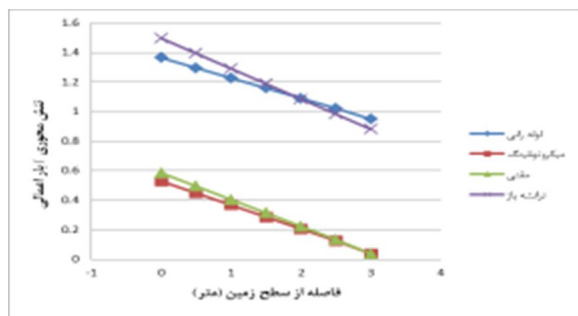


شکل ۵: نمودار تغییرات تنش محوری در راستای عمود بر لوله (از سطح زمین تا روی لوله - بدون بارگذاری)

طبق نمودار شکل (۶) تغییرات تنش عمودی روش‌های ترانشه باز و لوله‌رانی یک روند صعودی از سطح زمین تا روی لوله دارد اما در روش‌های میکروتونلینگ و نقبی از آنجا که پس از اجراء، یک فضای خالی در بالای لوله باقی می‌ماند این روند تغییرات در انتهای نمودار (روی لوله) یک سیر نزولی

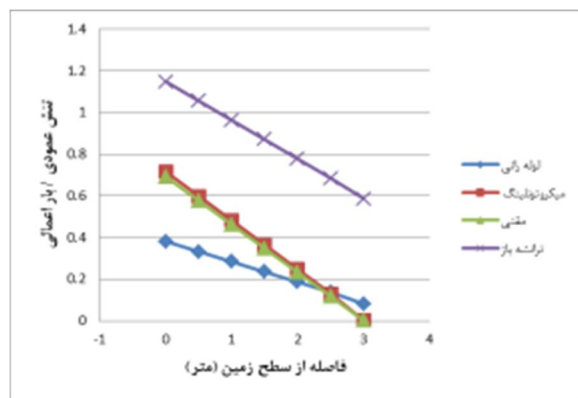
در ادامه مقایسه نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف اجراء، طی نمودارهایی آورده شده است. در تمامی نمودارها محور افقی نشان‌دهنده فاصله از سطح زمین تا روی لوله و محور عمودی بیانگر مولفه‌های تنش یا جابه‌جایی است.

شکل (۵) نمودار مربوط به تغییرات تنش محوری روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. طبق نمودار روش‌های میکروتونلینگ و حفر مقنی به دلیل فضای خالی که در بالای لوله وجود دارد، دارای تغییرات نسبتاً یکسانی هستند. همچنین در این نمودار بیشترین تنش محوری وارد بر لوله مربوط به روش لوله‌رانی است که به دلیل اختلاف زیاد با سایر روش‌ها و برای اینکه تغییرات در روش‌های دیگر بخوبی دیده شوند، آورده نشده است.



شکل ۸: نمودار تغییرات تنش محوری در راستای عمود بر لوله (از سطح زمین تاروی لوله - با بارگذاری)

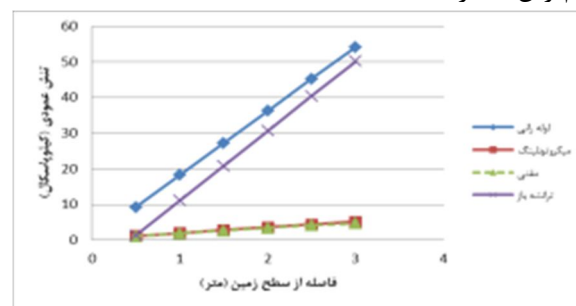
شکل (۹) تغییرات مربوط به تنش عمودی نسبت به فاصله از سطح زمین را نشان می‌دهد. طبق نمودار و همانند مرحله بدون بارگذاری بیشترین تنش عمودی وارد بر لوله در روش ترانشه‌باز و کم‌ترین آن مربوط به روش‌های میکروتونلینگ و حفر مقنی است. در روش ترانشه‌باز چون خاک دستی و هوازده است، بیشتر بار اعمالی به لوله منتقل می‌شود. همچنین شکل مقطع حفاری در روش‌های حفر مقنی و میکروتونلینگ باعث می‌شود تا تنش اعمالی کمتری به لوله منتقل شود.



شکل ۹: نمودار تغییرات تنش عمودی در راستای عمود بر لوله (از سطح زمین تاروی لوله - با بارگذاری)

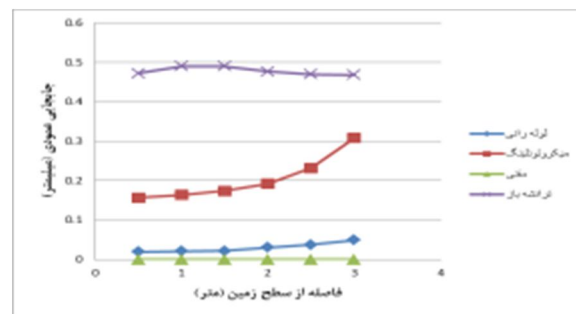
طبق نمودار شکل (۱۰)، کم‌ترین جابه‌جایی (سطح زمین و روی لوله) به ترتیب مربوط به روش‌های میکروتونلینگ، نقبی و لوله‌رانی است. در صورتیکه در حالت بدون بارگذاری کم‌ترین جابه‌جایی مربوط به روش نقبی بود اما پس از بارگذاری فضای خالی بالای لوله بر اثر فشار وارده تخریب و باعث نشست سطح زمین می‌شود. همچنین جابه‌جایی‌های

دارد. در نتیجه تنش عمودی وارد بر لوله در این روش‌ها کم‌ترین مقدار است.



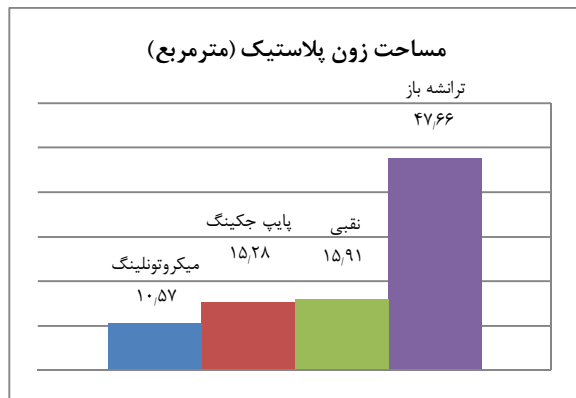
شکل ۶: نمودار تغییرات تنش عمودی در راستای عمود بر لوله (از سطح زمین تاروی لوله - بدون بارگذاری)

در نمودار شکل (۷)، کم‌ترین جابه‌جایی روی لوله مربوط به روش نقبی است. دلیل آن فضای خالی است که در بالای لوله باقی می‌ماند و شکل مقطع منهول را به صورت تخم مرغی در می‌آورد. همچنین بیشترین جابه‌جایی روی لوله مربوط به روش ترانشه‌باز است که دلیل آن خاک پرکننده ترانشه (خاک دستی و هوازده) است و کم‌ترین نشست در سطح زمین مربوط به روش لوله‌رانی است که نسبت به سایر روش‌ها دارای دامنه تغییرات یکنواخت‌تری است.



شکل ۷: نمودار تغییرات جابه‌جایی عمودی در راستای عمود بر لوله (از سطح زمین تاروی لوله - بدون بارگذاری)

در ادامه نمودارهای مربوط به حالت بارگذاری آورده شده است. محور عمودی نمودار مولفه‌های تنش که با تقسیم بر میزان بار اعمالی بدون بعد شده‌اند، است. شکل (۸) تغییرات مربوط به تنش محوری نسبت به فاصله از سطح زمین را نشان می‌دهد. طبق نمودارها، کم‌ترین تنش محوری مربوط به روش‌های میکروتونلینگ و حفر مقنی است که علت آن شکل مقطع حفاری شده است.



شکل ۱۲: مساحت زون پلاستیک تشکیل شده در اطراف لوله (با بارگذاری)

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر بارگذاری سطحی ناشی از تردد ماشین-آلات بر لوله‌های فاضلاب در محیط شهری مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده ملاحظه شد که کم‌ترین میزان نشست در حالت با بارگذاری مربوط به روش‌های مکانیزه (میکروتونلینگ و لوله‌رانی) است. دلیل این امر، بکر ماندن بافت خاک در زمان اجراست که کم‌ترین آسیب را به محیط زیست اطراف وارد می‌کنند. از طرفی بیشترین تنش محوری وارد بر لوله نیز مربوط به این روش‌ها است. همچنین طبق نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی و مزایای اجتماعی و زیست محیطی مربوط به روش‌های مکانیزه می‌توان گفت که این روش‌ها هم از نظر فنی و هم زیست محیطی نسبت به روش‌های سنتی ارجحیت دارند.

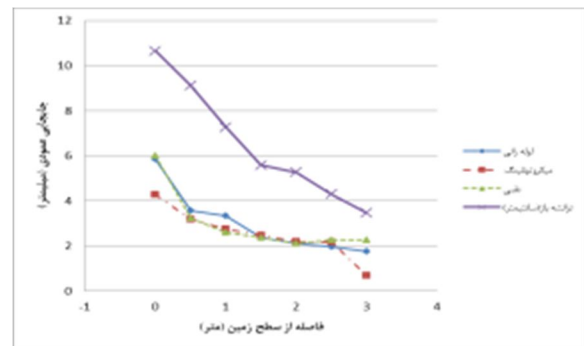
۷- مراجع

[۱] گاگیک بدلیانس قلی کندی و همکاران، «نقش مهندسی ارزش در اجرا و بهینه‌سازی زیرساخت‌ها: مطالعه موردی پروژه شبکه فاضلاب همدان» اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، آبان ۱۳۸۸.

[۲] عبدالحسین حداد، منصوره کدخدای بلقور، (۱۳۹۰)، «تحلیل عددی عملیات لوله‌رانی به روش میکروتونلینگ در خاک‌های ناهمگن» نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران.

[3] P.F. Liu, J.Y. Zheng, B.J. Zhang a, P. Shi; 2010; " Failure analysis of natural gas buried X65 steel

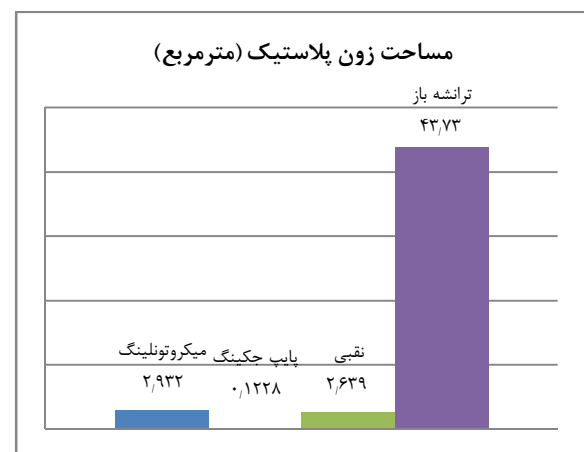
مربوط به روش‌های مکانیزه در هر دو حالت بدون بارگذاری و با بارگذاری تطابق خوبی با یکدیگر دارند.



شکل ۱۰: نمودار تغییرات جابه‌جایی عمودی در راستای عمود بر لوله (از سطح زمین تا عمود بر لوله - با بارگذاری)

در پایان نیز مساحت زون پلاستیک تشکیل شده در اطراف لوله در دو حالت بدون بارگذاری و با بارگذاری نشان داده شده است (شکل ۱۱ و ۱۲).

کم‌ترین تغییرات مساحت زون پلاستیک مربوط به روش میکروتونلینگ است که دلیل آن ارتعاش بسیار پایین این روش است که کم‌ترین آسیب فیزیکی را به محیط اطراف خود می‌رساند.



شکل ۱۱: مساحت زون پلاستیک تشکیل شده در اطراف لوله (بدون بارگذاری)

pipeline under deflection load using finite element method"; Materials and Design 31, pp. 1384–1391.

[4] Polynikis Vazouras, Spyros A. Karamanos, n, Panos Dakoulas; 2010; "Finite element analysis of buried steel pipelines under strike-slip fault displacements"; Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, 1361–1376.

[5] Pathmanathan Rajeev, Jayantha Kodikara; 2011; "Numerical analysis of an experimental pipe buried in swelling soil"; Computers and Geotechnics 38, 897–904.

[6] Susan A. Trickey¹ and Ian D. Moore, M.ASCE²; 2007; "Three-Dimensional Response of Buried Pipes under Circular Surface Loading"; journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 219-223.

[7] Junsuk Kang, Frazier Parker, Chai H. Yoo; 2008; "Soil-structure interaction for deeply buried corrugated steel pipes"; Engineering Structures 30, 384–392.

[۸] شمس‌الدین سعید مسعود، معارف‌وند پرویز؛ ۱۳۹۱؛ «روش‌های نوین در اجرای شبکه‌های آب و فاضلاب شهری» اولین کنفرانس ملی مهندسی آب و فاضلاب، کاشان.

[9] French society for trenchless technology; 2004; "microtunneling and horizontal drilling French national project microtunnels guidelines / FSTT"; Hermes science publishing ltd. ISBN-13: 978-1-905209-00-2

[۱۰] سید محسن حائری، داریوش راستگو؛ (۱۳۸۷)؛ «بررسی خصوصیات خاک طبیعی تهران بوسیله آزمایش برش مستقیم و سه‌محوری بزرگ مقیاس» چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

[11] <http://www.cpc.com.sa/manpro.html>

[12] Itasca, 2000; "Itasca Software Products – UDEC", Version 4, Consulting Group Inc: Minneapolis .