بررسی تاثیر بارهای وارده و بافت پیرامونی بر لوله فولادی در شبکه آب شهری با مدل اجزاء محدود Ansys

آرمین بوستانی[۱]، سیدحسن گلمایی[۲]، حسین انصاری[۳]، محمدرضا اکبرزاده[۴]

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۹

چکیده

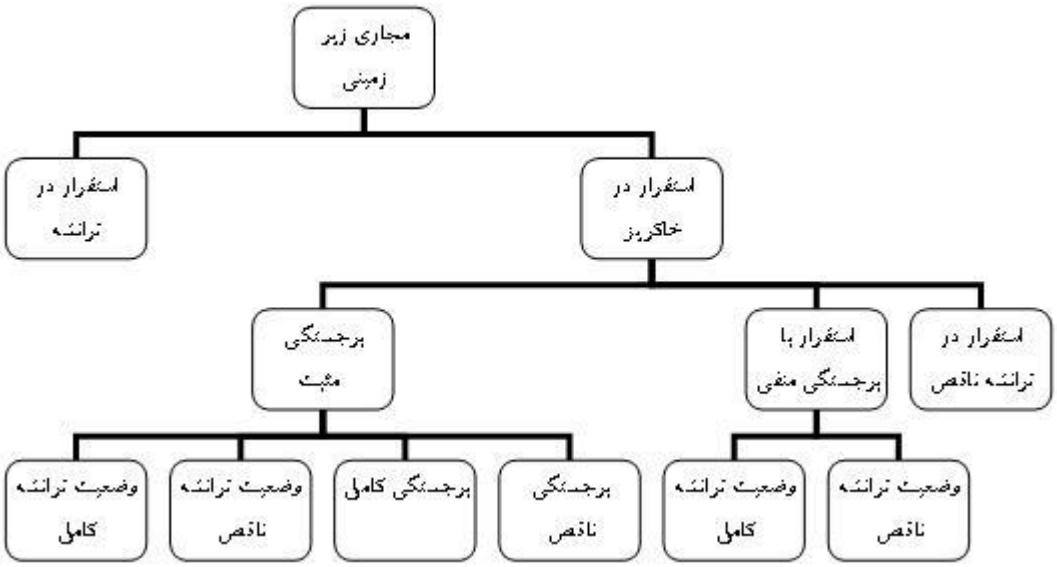
بروز مشکلات ناشی از تاثیر نیروهای داخلی و خارجی وارده بر لوله‌ها در شریان‌های اصلی انتقال و توزیع آب شرب شهری، سالانه خسارات زیادی را به شرکت‌های آب و فاضلاب کشور وارد می‌سازد. بنابراین تجزیه و تحلیل نیروهای وارده از اهمیت بالائی برخوردار است. در استقرار لوله در ترانشه، مصالح و بافت پیرامونی لوله در اثر اعمال بار تمایل به فرونشست داشته و نشست مجرا روی بستر خود سبب می‌شود تا ستون خاک واقع در ترانشه و بالای مجرا، نسبت به خاک‌های دست نخورده جناحین به سمت پایین حرکت نماید. در بسیاری از طراحی‌های خطوط لوله آب‌بر، پدیده مذکور و مدل‌سازی آن مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. لذا با هدف رفع این نقیصه، طرح مطالعاتی حاضر ارائه گردید. برای ارزیابی مدل مطالعاتی مذکور، اطلاعات خط لوله فولادی انعطاف پذیر با قطر بزرگ از شرکت آبفای مشهد اخذ و با فشار داخلی شبکه برابر پنج اتمسفر در نرم‌افزار اجزاء محدود انسیس مدل‌سازی شد. در جهت اطمینان بیشتر و برای انتخاب المان صحیح، دو المان Plane 42 و Plane 82 در محیط انسیس مدنظر قرار گرفت. نتایج خروجی مدل، میانگین نشست حدود ۸/۵ میلیمتری را در لوله و نیز نشست ۵ سانتیمتری را در آسفالت سطح گزارش کرد. مقدار نشست در المان Plane 42 در حدود ۰/۶ میلیمتر کمتر بدست آمد. فرآیند نشست در هر دو المان مشابه بود که با فرضیات حاکم بر محیط مسئله تطابق داشت. مشخص شد که المان Plane 82 بعلت اعمال کلیه خواص میرایی و تغییرحجمی خاک، از کارآیی بیشتری نسبت به المان دیگر در تعیین رفتار و تغییرشکل بستر اطراف لوله برخوردار بوده و از سویی لوله‌های انعطاف‌پذیر توانایی تحمل تغییر شکل و جلوگیری از ایجاد تمرکز تنش را نسبت به مجاری صلب بیشتر دارند.

واژه‌های کلیدی: المان‌های Plane 42 و Plane 82، انسیس، خط انتقال آب، لوله فولادی، مصالح پرکننده ترانشه.

۱ کارشناس ارشد مهندسی آب- سازه‌های آبی، مدرس گروه آب و خاک، دانشگاه پیام نور، سبزوار، ایران، ۰۹۳۶۲۷۱۱۹۸۵. a.boostani1985@gmail.com
۲دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۰۹۳۶۴۸۳۴۸۶۹ . sgolmai@yahoo.com
۳استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران ، ۰۹۱۵۳۱۰۸۱۹۱. (نویسنده مسئول) Ansary_hos@yahoo.com
۴ مربی و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ۰۹۱۵۱۰۱۶۲۵۱. Mrakbarzade@yahoo.com

مقدمه

شبکه‌های آب و خطوط اصلی انتقال و توزیع آب شرب زیرزمینی جزء زیرساخت‌های جوامع شهری محسوب شده و توجه به مسائل و مشکلات این شریان‌ها در الویت برنامه‌های مدیریتی قرار دارد. یکی از مهمترین عوامل در طراحی مجاری آب‌بر، تحلیل نیروهای داخلی و خارجی وارده و تاثیرگذار بر لوله و بافت پیرامونی آن و در نهایت نشست و تغییرشکل لوله می‌باشد. نشست یا تغییر شکل لوله‌های آب و بافت پیرامونی آن عامل موثری در فشار وارد بر لوله است. لازم بذکر است که چگونگی اعمال این فشارها بر لوله و نشت‌ها متاثر از شرایط کارگذاری لوله‌ها می‌باشد. در اکثر پروژه‌های خطوط انتقال آب شهری در کشور، کارگذاری لوله به روش استقرار کامل در ترانشه بوده که در این روش، مجرا در یک ترانشه نسبتاً باریک که در خاک دست نخورده حفر شده، کار گذاشته و روی آن خاکریزی می‌شود. روش‌های مختلفی برای کارگذاری لوله‌های مدفون وجود دارد که دسته‌بندی ارائه شده برای این روش‌ها، در شکل(۱) ارائه شده است. لازم به ذکر است در مواردی که امکان احداث کانال‌های سطحی انتقال آب امکان‌پذیر نمی‌باشد و یا در شرایطی که نیاز به حفظ کیفیت آب می‌باشد، از مجاری زیرزمینی به منظور طرح‌های انتقال و توزیع آب استفاده می‌شود.



شکل(۱): روش‌های استقرار مجاری آب‌بر زیرزمینی (نشریه ۱۸۵ سازمان مدیریت، ۱۳۷۸).

هر یک از روش‌های کارگذاری فوق‌الذکر دارای مزایا و معایبی خاص خود بوده و برای برخی شرایط استفاده از بعضی از این روش‌ها پیشنهاد نمی‌شود. به عنوان مثال کاربرد مجرا با برجستگی منفی و مجرا در ترانشه ناقص در خاکریزهای حائل آب مانند سدهای خاکی و فرازبندها و خاکریزهای ساحلی توصیه نمی‌شود. عدم بکارگیری این روش به علت آنست که وجود خاک غیر متراکم در بالای مجرا باعث نشست بافت پیرامونی و بالای لوله می‌گردد. لازم به توضیح است که اولین استاندارد جامع برای بررسی مسائل مجاری زیرزمینی در تحلیل جامعی که در ایالت آیوا انجام شد، تدوین گردید. ایالت آیوا از آن رو به مرکزی برای تحقیق درباره لوله‌های مدفون بدل گشت که اکثر اراضی آن از یخرفت تشکیل یافته بود (نشریه ۱۸۵سازمان مدیریت، ۱۳۷۸).

علاوه بر روش کارگذاری مجراها، جنس لوله‌های مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع نیز مهم است، لذا باید این موضوع نیز مد نظر قرار گیرد. در طرح‌های جدید انتقال آب در کشور عموماً از لوله‌های فولادی اسپیرال استفاده می‌شود. این لوله‌ها علاوه بر استحکام لازم، بدلیل خاصیت انعطاف‌پذیری نسبی که از خود نشان می‌دهند، پایداری مناسبی در برابر نیروهای وارده بر لوله از خود نشان خواهند داد.

لوله‌های انعطاف‌پذیر فولادی مدفون نسبت به لوله‌های صلب مشابه خود (چدنی)، توانایی بیشتری نسبت به تغییر

شکل‌ها و مقاومت در برابر خرابی در اثر زمین لغزش و زلزله را دارا می‌باشند (هاید و همکاران، ۲۰۰۹). از سویی علاوه بر بارهای وارد بر لوله، ستون مصالح پرکننده ترانشه، لایه روسازی سطحی و تراکم این مواد نقش بسزایی در میزان و نحوه نشست مجرا و خاک اطراف آن دارد. نشست‌های نامساوی سبب ایجاد شکاف‌هایی در سطح زمین، خسارات به سازه‌ها، جاده‌ها، تاسیسات شهری، همچنین موجب تغییر شیب کانال‌های آبیاری، مجاری آب و سیستم فاضلاب شهری می‌شود (توفیق و طباطبایی، ۱۳۸۳).

اهمیت بافت و مصالح پرکننده اطراف لوله از آن جهت است که در عملیاتی که به منظور جای‌گذاری لوله و استقرار آن در ترانشه صورت می‌گیرد، تغییراتی در مشخصه‌های ژئوتکنیکی مصالح اتفاق می‌افتد که در نظر نگرفتن این پارامترها همراه با درجه تراکم مطلوب و اندازه مصالح همگی در تعیین نشست و توانایی باربری لوله‌های مدفون موثر می‌باشد.

در مطالعات صورت گرفته در این زمینه، بیشتر از روش توسعه یافته عددی اجزاء محدود که روشی کاربردی در حل مسائل مربوط به پایداری و محاسبه تغییر شکل‌ها بوده و مدل‌هایی که بر این مبنا پایه‌گذاری شده‌اند، استفاده می‌شود. برنامه‌های عددی اجزای محدود اغلب ماتریس اجزا را ترکیب کرده و یک ماتریس سختی کل می‌سازند. به عبارتی حوزه تعریف تابع از تعداد متناهی المان با تعداد ثابتی گره تشکیل شده است. تغییر مکان‌های داخل هر المان با استفاده از تابع شکل که جابجایی‌های گرهی را به هم مرتبط می‌کند، تخمین زده می‌شود.

توسعه جدید روش اجزای محدود در سال ۱۹۴۱ توسط کارهای مک هنری[1] و هرنیکف[2] آغاز گردید. آن‌ها، این روش یک بعدی را برای حل تنش‌های موجود در یک جامد پیوسته بکار بردند (باراکف، ۲۰۰۱). در مطالعات قبلی برای لوله‌ها، المان‌های مفروض برای پوسته لوله همواره یکنواخت فرض می‌شد، در صورتی که در شرایط طبیعی شکل المان‌ها متفاوت است. دانگ وی و همکاران (۲۰۰۱)، از المان Plane 42 در نرم‌افزار Ansys برای شبیه‌سازی فشار داخلی در لوله متقارن در اثر بارگذاری مثبت استفاده کردند. در دو حالت خالی و پر با احتساب فشار داخلی ماکزیمم این شبیه‌سازی صورت گرفت. تنش، خمش، فشردگی اثرات متفاوتی روی آن‌ها که بعضی خواص الاستیک و بعضی الاستیک- پلاستیک داشتند می‌گذاشت. در ابتدا و حالت بدون فشار داخلی در اثر بارگذاری دیواره لوله تغییر شکل یافت، ولی پس از زمانی و احتساب فشار ماکزیمم در مرکز لوله تا حدودی و بسته به درجه مقاومت و انعطاف‌پذیری جدار، این تغییر شکل جبران شد.

الاجاچی و همکاران (۲۰۰۴)، متغیرهای موثر ژئومکانیکی روی اندرکنش خاک و سازه را در شبکه‌های فاضلاب شهری مورد بررسی قرار دادند. از نظر آن‌ها برهم‌کنش سازه با خاک در یک سیستم مرکب شامل سه نوع سختی بود: سفتی نسبی خاک، سختی لوله و همچنین سختی اتصالات بکار برده شده، تحلیل‌های او و همکاران به منظور دستیابی به موثرترین پارامتر از این سه پارامتر بود و در نهایت دریافتند که خصوصیات خاک در سیستم و تا حدودی سختی اتصالات در سیستم سازه- خاک تاثیر بیشتری دارد.

اوزکان و محرب (۲۰۰۹)، در بررسی لوله و اتصالات فولادی آن با بارگذاری‌های مرکب در شرائط آزمایشگاهی دریافتند که در بین تمامی پارامترها و بارهای مفروض در مسئله، تنها نیروی محوری قابلیت توزیع لنگر حاصل از شرائط پلاستیسیته شدن در لوله را دارد و همچنین کشش محوری بوجود آمده نیز در رسیدن به مقاومت حالت پلاستیک در لوله موثر است. از دیگر پارامترهای دخیل در مسئله مذکور، افزایش میزان قطر لوله نسبت به ضخامت خارجی آن بود.

نوذرتاش و محرب (۲۰۰۴)، مدل الاستیک- پلاستیک اجزای محدود را برای تحلیل رفتار غیر الاستیک خط لوله فولادی در نظر گرفتند. از المان لوله در ۲ گره و با ۱۲ درجه آزادی در مدل ABAQUS استفاده شد. المان مفروض در زمانی که از تعداد المان‌های کمی در مسئله استفاده شود، توانست بار گسیختگی در خط لوله را با دقت بالایی مشخص کند. مهین روستا و یعقوبی (۱۳۸۷)، به بررسی پاسخ استاتیکی و دینامیکی مخازن نیمه مدفون با توجه به جنس خاک بستر با مدل انسیس پرداختند. آن‌ها یک مدل سه بعدی از مخزن نیمه مدفون را، با در نظر گرفتن اندرکنش خاک- سازه و نیز سیال و سازه،

[1]- McHenry
[2]- Hrennikov

رفتار استاتیکی و دینامیکی سیستم مفروض را بررسی کردند. رفتار غیر خطی خاک توسط مدل رفتاری دراکر-پراگر که وابسته به فشار همه جانبه می‌باشد، مدل شد. تحلیل‌ها نشان داد که تغییر مشخصات خاک بر فشار جانبی خاک موثر است و پر بودن مخزن باعث افزایش زمان تناوب مدل در پاسخ به امواج لرزه ای همانند زلزله می‌گردد.

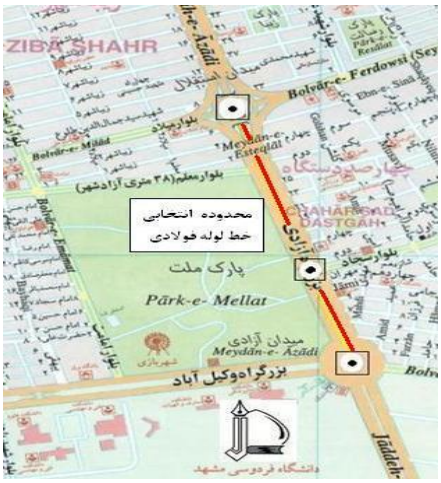
بوستانی و همکاران (۱-۱۳۸۹)، رفتار مقطعی از لوله فولادی با فشار داخلی متوسط در اثر بارگذاری روی آن را با مدل عددی اجزای محدود پلاکسیس مدل کردند. نتایج نشان داد که ضخامت بهینه مفروض می‌تواند پاسخگوی نیروهای اعمال شده خارجی و داخلی باشد. در ارزیابی مدل پلاکسیس نیز مشخص شد که این مدل بدلیل درنظر نگرفتن کمانش افقی لوله، برای تحلیل لوله‌های فولادی مناسب نمی‌باشد.

با توجه به محدودیت مورد نظر در مدل پلاکسیس و ماهیت ژئوتکنیکی این مدل، برای تحلیل تاثیر نیروهای وارده و فشار داخلی شبکه بر رفتار لوله‌های فولادی از انسیس که بر مبنای اجزای محدود عمل می‌کند، استفاده شد. علاوه بر بارهای اعمالی و مشخصه‌های ژئوتکنیکی، از دیدگاه هندسی مقطع در نظر گرفته شده، عرض، عمق ترانشه، قطر و ضخامت لوله و همچنین مشخصه‌های فیزیکی لوله شامل جنس و نوع لوله در انسیس مدل شد. بنابراین، هدف از ارائه مقاله حاضر، بررسی و تعیین نشست بافت اطراف لوله‌های فولادی آبرسان شهری و تاثیر این تغییر شکل‌ها بر نوع رفتار مجاری زیرزمینی می‌باشد. با استناد به این مطالعه و مدل‌سازی، می‌توان با مقایسه المان‌های مناسب و انتخاب بهترین نوع المان، امکان تحلیل‌های چندگانه را در مدل انسیس فراهم کرد. همچنین از آنجائی که تاکنون به تغییر حالاتی که ممکن است در اثر بارگذاری‌های سطحی مانند بار ترافیک بر بافت پیرامونی لوله‌ها و به تبع آن بر جدار خارجی لوله‌ها اتفاق افتد، پرداخته نشده و از سویی هم اکثراً استانداردها و آئین‌نامه‌های معیار در طراحی مجاری زیرزمینی، بدون در نظر گرفتن شرائط ژئوتکنیکی محیط، نوع و اندازه مصالح پرکننده ترانشه و نحوه روسازی در کشور ما و براساس همان الگوهای مدون و بدون مطالعات جدید و استفاده از مدل‌های بسط یافته در مورد نشست لوله‌های مدفون صورت می‌گیرد، لذا به نظر می‌رسد که با انجام تحقیقات بر روی اتصالات و اجزاء اصلی شبکه‌های انتقال به صورت مجزا می‌توان به ارزیابی جامعی از پیش‌بینی نوع رفتار آن‌ها دست یافت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

از نظر قدمت احداث شبکه و امور مرتبط با بهره‌برداری پس از تهران، مشهد در ردیف شهرهایی چون اصفهان و شیراز قرار می‌گیرد. پس از مطالعه اولیه تاسیسات آبرسانی و خطوط انتقال آب شهری در سطح کشور، بدلیل مسائل جغرافیایی و همچنین بعد مذهبی، کلان شهر مشهد (پیک زائر و مسافر در ایام مناسبتی در سال)، بعنوان پایتخت معنوی ایران انتخاب گردید. از سویی با در دست اجرا بودن پروژه ملی طرح انتقال آب سد دوستی به مشهد که در جهت رفع نیازهای زائرین و مجاورین این شهر تصویب شده و لزوم استفاده از لوله‌هایی با اقطار بزرگ در اکثر قطعه‌های اجرایی این طرح برای مدل‌سازی انتخاب شد. لازم به توضیح است که برای طراحی و انتخاب قطرهای بهینه خط انتقال در شبکه توزیع آب شرب مشهد، مطالعات کامل طرح انتقال و توزیع آب سد دوستی توسط شرکت مهندسین مشاور طوس آب مشهد طی سال‌های ۸۶ و ۸۷ انجام شده است. ابعاد این لوله‌ها از ۴۰۰ تا ۱۶۰۰ میلیمتر و نیز جنس لوله‌ها چدنی و فولادی، بسته به مکان اجرا متغیر بود. محدوده انتخابی خط لوله با قطر ۱۰۰۰ میلیمتر بوده که در شکل(۲) مشخص شده است.



شکل(۲): محدوده انتخابی از پهنه C طرح انتقال آب سد دوستی

در جدول(۱)، مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خط لوله مورد مطالعه آورده شده است. قطعه(۱) تا ابتدای سجاد و قطعه(۲) از انتهای قطعه(۱) تا انتهای خط لوله اصلی (ابتدای میدان استقلال) می‌باشد.

جدول(۱): مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خط لوله

مشخصه های لوله (جریان)	قطعه ۱	قطعه ۲	واحد
طول	۵۲۰	۷۲۳	(m)
قطر	۱	۱	(m)
گرادیان افت	۰/۹	۰/۸۷	(m/Km)
دبی	۷۸۰	۷۲۸	(lit/sec)
سرعت	۱	۰/۹۳	(m/sec)
ضریب هیزن	۱۲۵	۱۲۵	-

مقطع عرضی مورد بررسی از قطعه(۱) محدوده مطالعاتی انتخاب شد. همچنین از ابتدای تقاطع بلوار سجاد کاهش سرعت جریان به میزان ۰/۷ در شبکه منظور شده است.

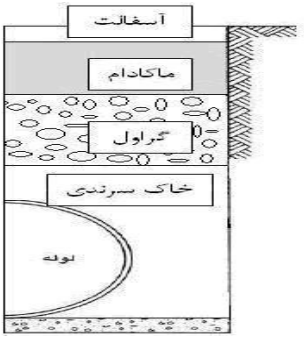
پارامترها و خصوصیات مواد در مدل

لوله‌های فولادی که در ترانشه بطور کامل کارگذاری می‌شوند، تحت بار ناشی از فشار خاک روی آن و بارهای خارجی، نظیر بار ناشی از عبور کامیون، فشار داخلی و عکس‌العمل‌های بستر واقع خواهند شد. برای جلوگیری از آسیب دیدن لوله در اثر عکس‌العمل‌های حاصل از نیروها، ضروری است تا خاکریزی اطراف لوله طوری انجام شود که بستر مناسبی برای لوله ایجاد کند. در اجرا نیز همواره سعی می‌شود که کف ترانشه هموار و با شیب یکنواخت و خشک باشد. در جدول(۲) مشخصات مصالح درون ترانشه آورده شده است.

جدول(۲): مشخصات مصالح درون ترانشه

پارامتر	مشخصه	خاک سرندی	گراول	ماکادام	آسفالت	واحد
ضخامت	h	۱۴۰	۴۰	۳۰	۱۰	(cm)
چگالی	γ	۱۸	۲۶	۲۶	۲۳/۵	(KN/m^3)
مدول یانگ	E	۱۲۰۰۰	۶۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	(KN/m^3)
چسبندگی	C	۴	۱	۱	۱	(KN/m^3)
ضریب پواسون	ν	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۵	-
زاویه اصطکاک داخلی	φ	۲۵	۳۷	۴۰	۳۵	$(\circ)$

در شکل(۳) ترتیب چیدمان لایه‌های مصالح بالا و اطراف لوله بصورت نیمه متقارن مقطع آورده شده است. عمق ترانشه از سطح ۲/۲ متر و عرض آن نیز برابر با ۲ متر در مدل اعمال شد.



شکل(۳): نیمه متقارن مقطع ترانشه و لوله مستقر در آن

خاک انتخابی سرندی برای زیرسازی همواره باید عاری از مواد کلوخه‌ای رسی، مواد آلی، عاری از شاخه و ریشه درختان باشد. اصولاً خاک‌های ریز دانه با $LL<50$[1] (بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید)[2] مناسب برای خاکریزی برای لوله‌های قابل‌انعطاف، علی‌الخصوص لوله‌های پلاستیک نیست (نشریه ۱۸۵سازمان مدیریت، ۱۳۷۸). در شکل(۴) بسترسازی با خاک سرندی حاصل از خاک‌برداری به ضخامت ۱۰ سانتیمتر انجام شده است.

در موقع بسترسازی کف ترانشه، هرگونه ناهمواری موضعی که باعث آسیب دیدن پوشش خارجی لوله می‌شود، باید برداشته شده و با خاک از جنس مصالح مرغوب (خاک سرندی)، پر شود. نیروی مخرب ناشی از ضربه قوچ و مومنتوم در مجاری آب بر، فقط در زانویی، تبدیل‌ها و اتصالات و در مقاطعی که تغییر عرض اتفاق می‌افتد تاثیرگذار خواهد بود (گارسیانو و همکاران، ۲۰۱۰). در جداول (۳) و (۴) به ترتیب مشخصات آب داخل لوله و فولاد جدار لوله آورده شده است.

در خطوط انتقال، فشار داخلی لوله مانند شبکه‌های تحت فشار توزیع آب شهری عامل تاثیرگذار در محاسبات نمی‌باشد. بدین منظور و فقط برای احتساب این مورد در مدل‌سازی عددی و با توجه به پتانسیل خط انتقال، فشار داخلی لوله در حالت میانگین برابر پنج اتمسفر در مدل وارد شد. بار وسائل نقلیه برای کامیون و آئین‌نامه ایران برابر هشت تن بر متر مربع بار درجا و یا به صورت معادل در مدل‌سازی برابر ۱۸۰۰ کیلونیوتن بر مترمربع و شتاب ثقل نیز ۹/۸۱- در جهت قائم و به سمت پایین در محیط انسیس در نظر گرفته شد. ضخامت جدار لوله ۱۲ میلیمتر بود. صلبیت خمشی برای جدار خارجی با احتساب مدول الاستیسیته برای فولاد که در مدل‌ها لحاظ خواهد شد، از طریق رابطه زیر بدست می‌آید. در این روابط I: ممان و EI صلبیت خمشی مجرا می‌باشند.

$$I = \frac{t^3}{12} = 144(mm^4) \qquad (۱)$$

جدول(۳): مشخصات آب درون لوله

مشخصات	آب	واحدها
مدول حجمی بالک	۲/۱	(Gpa)
چگالی	۱۰۰۰	(Kg/m^3)
لزجت (ویسکوزیته)	۰/۰۰۰۱۱۵	(Kg/m^3)

جدول(۴): مشخصات فولاد

مشخصات	فولاد	واحدها
مدول الاستیسیته	۲۰۰۰۰۰	$(\frac{N}{mm^2})$
ضریب پواسون	۰/۳	-

[1]- Liquid Limit
[2]- Unified Soil Classification Standard (U.S.C.S)

مدل اجزاء محدود بکار گرفته شده

در پژوهش‌های بررسی شده نیز به دلیل قابلیت انجام انواع تحلیل‌های خطی و غیرخطی در زمینه استاتیکی و دینامیکی، مش‌بندی مناسب و تنوع المان‌های موجود از نرم‌افزار انسیس استفاده می‌شود. به منظور مدل کردن حالت الاستیسیته- پلاستیسیته[1] خاک در این مدل، معادله تعادل پیوسته استاتیکی به شکل زیر می‌باشد (برینکگرو، ۲۰۰۳):

$$\underline{\underline{L}}^T \underline{\sigma} + \underline{p} = \underline{0} \qquad (۲)$$

ماتریس تنش سه بعدی (کارتزین) در حالت شش گره برای بررسی مولفه‌های مشتق به صورت زیر است :

$$\underline{\underline{L}}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

P: مولفه فشاری (المان نیرو)، σ : تنش موثر، L^T: ماتریس ترانهاده جابجایی می‌باشد (بوستانی و همکاران، ۱۳۸۹-۲). هنگام بکارگیری مدل موهر– کولمب برای حالات عمومی تنش، رفتار خاص برای محل تقاطع دو سطح گسیختگی مقرر شده است. در مدل‌های المان محدود یک انتقال نرم از یک سطح گسیختگی به سطح دیگر گرفته می‌شود. انسیس این توانایی را داراست که برای بعضی پارامترها نظیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی از مدل دراکر- پراگر بهره برد.

به منظور دستیابی به بهترین تحلیل در مورد نشست، پس از اجرای مدل با استفاده از المان Plane 42، دوباره مسئله با المان Plane 82 نیز مدل شد. Plane 42 برای مدل‌سازی دوبعدی سازه‌های صلب به کار می‌رود. این المان با چهار گره که هر گره دارای دو درجه آزادی است تعریف می‌گردد. خواص ارتوتروپیک، بارهای سطحی، بارهای حجمی نیز می‌توانند برای آن تعریف گردد.

این المان قابلیت مدل کردن کرنش‌های بزرگ، تورم و سخت شدگی را داراست. المان Plane82 نیز با هشت گره که هر گره آن دارای دو درجه آزادی بوده، تعریف می‌شود. این المان به صورت گره‌های مثلثی و یا چهارضلعی برای مش‌بندی محیط به کار می‌رود.

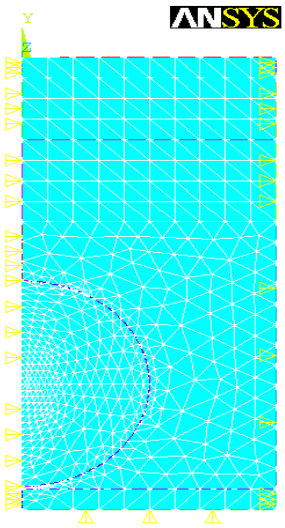
نتایج و بحث

به طور کلی میزان فرونشست زمین در اثر تنش‌های موثر ایجاد شده، به ضخامت و قابلیت تراکم‌پذیری رسوبات، مدت زمانی که بارگذاری اعمال شده و میزان و نوع تنش اعمال شده بستگی دارد (لافگرن، ۱۹۷۹) در شکل(۴) نصب میل مهار برای جلوگیری از ریزش دیواره‌ها و سپس حمل لوله برای استقرار در ترانشه آورده شده است.

شکل(۴): مراحل اجرایی برای استقرار لوله در ترانشه در طرح مورد مطالعه

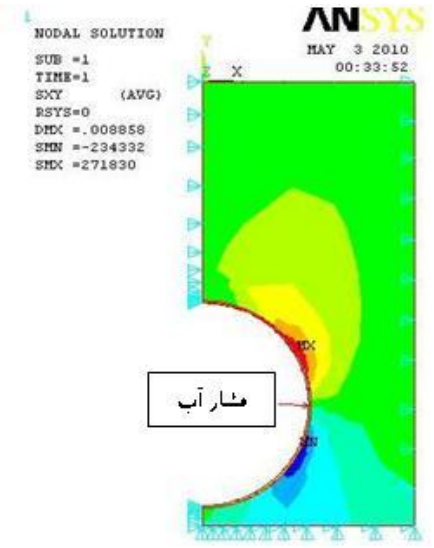
در مدل‌های طراحی شده، تغییر مکان المان‌های قرار گرفته در مرزهای پایین مدل در تمام جهت‌ها صفر در نظر گرفته شد و برای مرزهای چپ و راست جهت حرکت در جهت محور y آزاد بوده و در جهت x صفر در نظر گرفته شود (شکل۵).

[1] - Elasto-Plastic

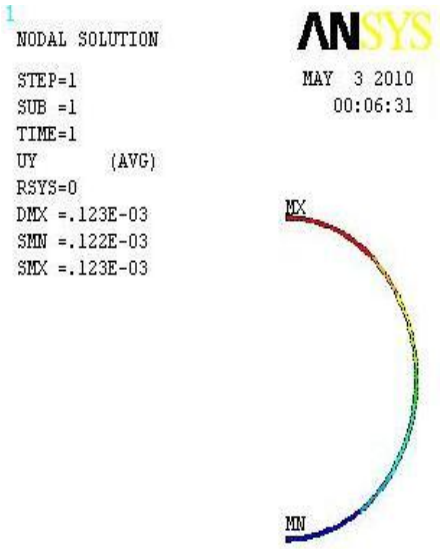


شکل(۵): محیط مش‌بندی شده با در نظر گرفتن قیود مرزی در انسیس

با اجرای مدل و با استفاده از هر دو المان میزان نشست تاج لوله نسبت به حالت استقرار اولیه بطور میانگین ۸/۵ میلیمتر بدست آمد. فشار داخلی آب در لوله برابر با یک نیروی محوری در مرکز لوله مدل شد که روی شکل(۶) مشخص شده است. بدلیل استحکام دیوارهای جانبی در ترانشه و ثابت فرض کردن تغییر مکان‌های جانبی آن، مبنای محاسبه برآورد تنش کل وارده در راستای قائم بود. ماکزیمم مقدار تنش وارده در شکل(۶) در نیمه بالایی مرکز لوله و کمترین مقدار در نیمه پایینی بدست آمد. در شکل(۷) نیز بیشترین میزان برای تمایل به نشست در تاج لوله و کمترین مقدار در بستر لوله بدست آمد.



شکل(۶): تنش وارده در راستای قائم به لوله و بافت اطراف



شکل(۷): نمایه نشست مقطع لوله در راستای قائم

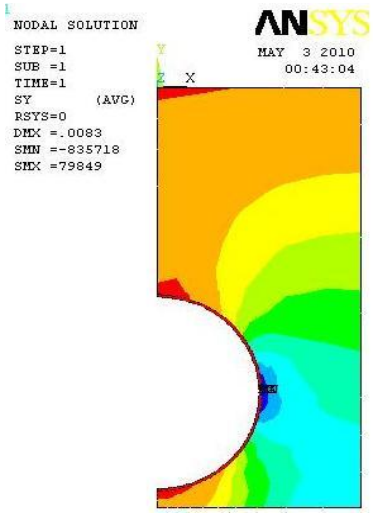
همانطور که در نتایج نشست لوله مشخص شد، بدلیل استفاده از خاک سرندی در اطراف و بستر لوله اثر نشست مجرا تعدیل و کمترین فشار در قیاس با تاج به بستر لوله وارد شد. از دیدگاه پایداری و مقاومتی، خاکی که در اطراف لوله ریخته می‌شود، باید از نظر درجه تراکم به حد مطلوبی برسد. درجه تراکم مناسب در امتداد لوله یکنواخت بوده و از تمرکز تراکم که باعث ایجاد تمرکز نیرو می‌شود، خودداری می‌گردد.

در صورت اعمال بار اضافی، برای کاهش بار وارد بر مجرا توصیه می‌شود که ترانشه‌ای با عرض بزرگ‌تر از عرض خارجی مجرا و عمقی بزرگ‌تر از عمق مورد نیاز حفر و سپس کف ترانشه با مصالحی نرم و قابلیت فشردگی زیاد تا تراز بستر مجرا پر شود. در این روش به علت نشست زیاد تاج لوله، نسبت نشست کم شده و در نتیجه بار وارد بر مجرا کاهش می‌یابد (نشریه ۱۸۵سازمان مدیریت، ۱۳۷۸).

نتایج المان Plane 42

مقدار نشست کل در تحلیلی که با این المان انجام شد، در حدود ۰/۶ میلیمتر کمتر از المان دیگر بدست آمد. دلیل این تغییر منظور نکردن میرایی خاک و ضریب پواسون در محاسبات مربوط به نشست بود. از بین پارامترهای خاک و مصالح داخل ترانشه، دو فاکتور ضریب پواسون و مدول یانگ در تعیین نشست خاک نسبت به سایر عوامل اهمیت بیشتری دارد. در تحلیل نشست کل محیط مدل شده

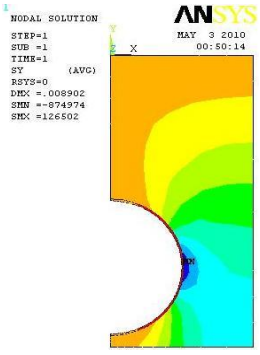
برای شکل(۸)، در مرکز جدار خارجی لوله، کمترین میزان تغییر شکل نسبت به پروفیل مدل نشان داده شده است.



شکل(۸): جابجایی و فرونشست کل مقطع مدل شده با المان Plane 42

نتایج المان Plane 82

در نتایج بکارگیری المان Plane 82، جابجایی و نشست کل بدلیل لحاظ تمام مشخصه‌های تغییرحجم و شکل‌پذیری مصالح داخل ترانشه بیشتر و نزدیک به مقدار نشست میانگین بدست آمد (شکل۹). تغییر در میزان جابجایی کل لوله در دو المان بدلیل تفاوت در تعداد گره‌ها، نوع مش‌بندی و تفاوت در بکارگیری بعضی از پارامترهای میرایی مصالح ایجاد شد.



شکل(۹):- جابجایی و فرونشست کل مقطع مدل شده با المان Plane 82

نتایج نهائی

در شکل(۱۰) نشست لایه سطحی (آسفالت) دیده می‌شود، این ناحیه با علامت مشخص شده است. وقوع چنین حالتی به علت حفر ترانشه و گودبرداری در مجاورت آن و عدم پایداری دیواره‌های جانبی در مجرای کناری می‌باشد. این تصویر قسمتی از عملیات اجرایی و لوله‌گذاری محدوده طرح توزیع آب سد دوستی در سطح شهر مشهد را نشان می‌دهد.

شکل(۱۰): نشست آسفالت مجاور در اثر گودبرداری در مجاور آن

نشست لایه سطحی آسفالت (روسازی) به مقدار پنج سانتیمتر توسط مدل بدست آمد. همچنین مقدار مجاز تغییر شکل لوله با توجه به نوع پوشش اپوکسی به کار رفته در جدار لوله کمتر از ۵٪ (حداکثر تغییر شکل مجاز) می‌باشد. در حالت کلی جابجایی نسبی لوله و خاک (لغزش)، همواره نسبت عکس با اندازه سختی خاک داشته و خاصیت به این معناست که با افزایش سختی، لغزش مابین آن‌ها کاهش خواهد یافت (نشریه ۱۸۵سازمان مدیریت، ۱۳۷۸). یکی از محدودیت‌ها در مدل اجرا شده در المان Plane 42، این بود که خواص ماده و خاک از نوع میرایی (Damp)، برای آن قابل تعریف نبود.

نتیجه گیری

در تحلیل نتایج مشخص شد که در صورت وجود اطلاعات واقعی از پروژه، اعم از: عمق کارگذاری، جنس لوله، خاکریزی، فشار داخلی و احتساب بارهای خارجی و سایر عوامل موثر در طراحی، می‌توان با استفاده از روش عددی اجزاء محدود، برآورد دقیقی از نوع رفتار و پیش‌بینی نشست و تغییر شکل لوله و ستون مستقر در بالای مجرای زیرزمینی داشت. پیشنهاد می‌شود که به منظور لحاظ تمامی مولفه های بار دینامیکی و هم چنین پوشش برای لوله‌ها از روش‌های ترکیبی اجزاء محدود با روش‌های

عددی مشابه بمنظور مدل کردن بافت‌های ناهمگون اطراف محیط مسئله اقدام شود.

تعیین رفتار لوله و بافت پیرامونی اطراف آن جزء ضروری برای طراحی‌های خطوط لوله می‌باشد، ولی توصیه می‌شود که به منظور دستیابی به تحلیل‌های جامع در طراحی سازه‌ای خطوط لوله انتقال با اقطار بزرگ، اتصالات و متعلقات و مقاطعی که در آن تبدیل در ابعاد لوله اتفاق می‌افتد، نیز در بررسی‌های جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد. در محاسبات مربوط به مجاری زیرزمینی (تونل، خطوط لوله،....) در صورتی که اندرکنش سازه با بستر پیرامونش مد نظر باشد، مدل انسیس می‌تواند الگوی صحیحی از تغییر شکل‌ها به کاربر دهد. از این نظر که مدل انسیس در نسخه‌های جدید عرضه شده با نرم‌افزار Fluent ترکیب شده، در تحلیل مقاطعی از لوله اعم از تبدیل‌ها و اتصالات و پدیده‌هایی چون مومنتوم و همچنین توزیع تنش در راستای طولی لوله با در نظر گرفتن پارامتر تغییرات دما می‌تواند ابزار توسعه یافته‌تری برای طراحان باشد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه فردوسی مشهد به جهت حمایت مالی و تأیید انجام پژوهش مذکور در قالب طرح پژوهشی شماره ۱۴۸۰۸ و از مدیریت محترم شرکت آب و فاضلاب مشهد که در زمینه استخراج اطلاعات و داده‌های مورد نیاز انجام این طرح همکاری نمودند، تقدیر و تشکر نمایند.

منابع

۱. بوستانی، آ.، ک. م. صابری و س. ر. خداشناس. ۱۳۸۹. ارزیابی و مدل‌سازی عددی خطوط انتقال آب در اثر بارگذاری‌های متداول شهری، مجموعه مقالات نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، آبان ۱۳۸۹.

۲. بوستانی، آ.، گلمایی و ح. انصاری. ۱۳۸۹. مدل‌سازی نشست سازه‌های سطحی در اثر مجرای تحت فشار حامل جریان زیرسطحی توسط روش اجزا محدود، مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، اردیبهشت ۱۳۸۹.

۳. توفیق، م. م. و س. ط. طباطبایی. ۱۳۸۳. پیش‌بینی نشست منطقه‌ای زمین به روش محاسبه برگشتی و تاثیر نشست بر شبکه فاضلاب، مجله تحقیقات مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ص ۵۸-۴۴.

۴. گروه نویسندگان و کار گروه ارزیابی وزارت نیرو.، مهندسی خطوط لوله انتقال آب (منطبق بر ضوابط نشریه شماره ۱۸۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.

۵. مهین‌روستا، ر. و م. یعقوبی. ۱۳۸۷. بررسی پاسخ استاتیکی و دینامیکی مخازن نیمه مدفون با توجه به جنس خاک بستر، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

6. Barkahov, E. 2001. "Introduction to The Finite Element Method"., Riga Technical University.

7. Brinkgreve, R.B.J. 2003. Plaxis V8.2 Reference manual., Delf University of Technology, Netherlands.

8. Dongwei, S., D. Jianbo and Z. Yong. 2001. "Investigation of pressure in pipe subjected to axial-symmetric pulse loading"., International Journal of Impact Engineering, (25)-(523-536).

9. Elachachi, S.M., D. Breysse and L. Houy. 2004. "Longitudinal variability of soils and structural response of sewer networks"., Computers and Geotechnics (31).

10. Guarracino, F., A.C. Walker and A. Giordano. 2009. "Effects of boundary conditions on testing of pipes and finite element modeling"., International Journal of Pressure Vessels and Piping., 86, pp:196–206.

11. Hyde, T.H., R. Lou and A.A. Becker. 2009. "Analysis of stresses in pipes indented by long external indentation & subsequent stress variation due to pressure fluctuations"., International Journal of Pressure Vessels and Piping, vol 86 ,pp 428–434.

12. Lofgern, B.E. 1979. Changes in aquifer-system properties with ground water depletion., Proc International Conference on Evaluation and Prediction of Land Subsidence, Pensacola, American Society of Civil Engineers, pp: 26-46.

13. Ozkan, I.F. and M. Mohareb. 2009. Moment resistance of steel pipes subjected to combined loads-International Journal of Pressure Vessels and Piping 86, pp: 252–264.
14. Nowzartash, F. and M. Mohareb. 2004. "An elasto-plastic finite element for steel pipelines"., International Journal of Pressure Vessels and Piping, 81-919–930.

Considering the effect of loads and surrounding texture on steel pipeline in potable municipal water networks with Ansys Finite Element Model

Armin Boostani[1], Hossein Ansari[2], Seyed Hassan Golmaei[3], Mohammadreza Akbarzade[4]

Abstract

The effect of internal and external forces on the transmission and distribution networks of potable municipal water makes more problems in the Iran water and waste water Corporation. Therefore, analyzing loaded forces is very important. Pipe insertion in the trenches, the channel filler material tend to have subsidence because of its reload and the channel subsidence on its bed causes trenches and the soil column above the channel move downward compared to adjacent undisturbed soils. The mentioned phenomena and its modeling are not considered along with many water pipeline designs. Thereafter, the current case study is presented. In order to evaluating this research, the data of flexible steel pipeline with large diameter is gathered from Mashhad Abfay company and its modeling is done with 5 atmospheres internal pressure in Ansys finite element software. The more credibility is satisfied with selecting the current elements of Ansy's Plane 42 and Plane 82. The output results showed 8/5 mm mean subsidence in the pipe and also 5 cm in the asphalt surface. Amount of subsidence in the element Plane 42 was about 0/6 mm less than average. Subsidence process was similar in both elements and was in accordance with the assumptions. In one hand, Plane 82 element was found that due to damping by considering the characteristics and volume of soil, more efficient than other element in determining the substrate deformation behavior and around the tube and on the other hand, the flexible pipes are tolerant to deformation and its preventive force against to stress concentration is higher than rigid channels.

Key words: Water transmission line, Steel Pipe, Trench filler materials, Ansys, Plane 42 & Plane 82 Elements.

[1] MSc (Water Structure) of Soil & Water Department, Pnu University Of Sabzevar. A.boostani1985@gmail.com
[2] Assistant Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad; Corresponding author Email: Ansari_hos@yahoo.com)
[3] Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences & Natural Resources University; Sgolmai@yahoo.com.
[4] MSc (hydraulic Structure) of Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad.; Mrakbarzade@yahoo.com.