



مدل سازی بستر و لوله در شبکه توزیع آب شهری به روش اجزا محدود با انسیس و پلاکسیس

آرمین بوستانی^۱، سیدحسن گلماهی^۲، حسین انصاری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مکانیک کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

شبکه های توزیع آب شهری همواره بعنوان مهم ترین و پرهزینه ترین بخش طرح های حوزه مدیریت آبرسانی شهری، مد نظر بوده است. در این میان لزوم اهمیت توجه به لوله ها، شامل عمق کارگذاری، جنس خاک بستر، نوع، قطر، پوشش لوله و بارهای وارد بر آن می رود. عدم تعیین دقیق مقدار بار مجاز بر لوله ها و همچنین نداشتن آگاهی از رفتار لوله ها در برابر بارگذاری ها، موجبات اختلال در کارآیی شبکه و وقوع بحران های اجتماعی را فراهم می آورد. با در نظر گرفتن نمونه ای خاص سعی شده تا نشست فونداسیون خاکی اطراف لوله و همچنین تغییر شکل لوله به روش عددی المانهای (اجزا محدود) مدل شود. در حل این نمونه از دو مدل انسیس که نرم افزاری سازه ای و پلاکسیس که مدلی برای حل مسائل ژئوتکنیکی می باشد، استفاده شده است. هر دو مدل بر پایه روش المانهای محدود در محیط طراحی شده و بکار می روند. روش المان های محدود این خاصیت را دارد که می تواند محیط های با هندسه نامنظم و پیچیده و بعضا دارای مشخصات مکانیکی مقاومت را با تکنیک جز به جز نمودن تعریف و مدل نماید.

کلمات کلیدی: مدل سازی عددی، اجزا محدود، انسیس، پلاکسیس، نشست.

۱. مقدمه

شبکه های آبرسانی شهری بعنوان شاهراه اصلی و شریان حیاتی در دل جوامع تلقی می شوند. بدین منظور لزوم توجه به مشکلات و پیش بینی نواقص در آن اهمیت می یابد. در بررسی های اقتصادی که به منظور طراحی و اجرای تاسیسات آبرسانی شهری صورت می گیرد، موارد زیر به منظور ملاک هایی برای عملیات خط لوله در شبکه باید مد نظر قرار گیرد:

- عمر مفید اجزاء اصلی تاسیسات مورد طراحی شامل لوله اصلی، انشعابات، شیرها، بست ها... با در نظر گرفتن قابلیت بهره برداری و امکان تعمیر و تامین وسایل یدکی مورد نیاز.
 - آهنگ تعیین شده برای رشد سالیانه جمعیت در شهر با توجه به موقعیت های زمانی و مکانی.
 - مطالعه و بررسی طرح های توسعه شهری، از قبیل: طرح های جامع، هادی و تفصیلی.
- در اکثر مواقع طبقه بندی از دیدگاه فازهای اجرایی در طرح های تاسیسات آبرسانی شهری، با لحاظ کردن مسائل اقتصادی و محدودیت های مالی و اجرایی و دخالت دادن نظر کارفرما، به صورت زیر تفکیک می شود:



- تاسیسات مشخص شده قابل تفکیک به چند مرحله اجرایی بوده (شامل فاز شناخت، مطالعات، امکان سنجی، داده برداری،...) و تاسیسات اجرا شده در پایان هر مرحله از مراحل اجرایی پروژه به تنهایی قابل بهره برداری باشد.
 - اجرای مراحل بعدی سبب تغییرات اساسی در تاسیسات اجرا شده قبلی یا توقف بهره برداری از آن ها نگردد.
 - هزینه اضافی ناشی از اجرای چند مرحله ای هر قسمت از تاسیسات قابل توجه باشد.
 - مرحله بعدی فاز اجرایی و زمان های بهره برداری از هر مرحله پاسخگوی نیازها و محدودیت ها باشد.
- ایران کشوری است که بر روی کمربند زلزله خیز دنیا واقع شده است. وقوع زلزله موجب خسارات مستقیم و غیر مستقیم می شود، از جمله این خسارات صدمه به تاسیسات زیرزمینی می باشد. زلزله ممکن است در برخی از تاسیسات که انهدام یا تخریب آنها باعث آلودگی آبهای زیر زمینی می شود، تاثیرات مخربی بر جای بگذارد. تاسیسات آبرسانی و دفع فاضلاب شهری در صورت بروز حادثه، به مثابه یک بمب زیر زمینی عمل کرده و کل راههای ارتباطی و معیشت افراد آن جامعه را فلج می کند.
- یکی از مهمترین پتانسیلهای ایجاد خطر پدیده زمین لغزش می باشد زمین لغزش ها معمولا به صورت موضعی باعث تخریب می شوند، اما همانگونه که گفته شد، می تواند در انهدام یا تخریب سیستم های جمع آوری فاضلاب و تاسیسات انتقال آب و... نقش مهمی را ایفا کند. علاوه بر زمین لغزش ها گسل ها نیز می توانند پس از وقوع زلزله باعث تخریب سازه های جمع آوری آب و فاضلاب شوند، اگر گسل ها از زیر تاسیسات جمع آوری یا ذخیره مواد آلوده کننده محیط زیست بگذرد می تواند بشدت باعث تخریب این سازه ها شوند.
- نشست های نامساوی سبب ایجاد شکاف هایی در سطح زمین، خسارات به سازه ها، جاده ها، تاسیسات شهری، مسیر راه آهن و هم چنین باعث تغییر شیب کانال های آبیاری، مجاری آب و سیستم فاضلاب شهری می شود [۳]. به طور کلی میزان فرونشست زمین در اثر تنش های موثر ایجاد شده، به ضخامت و قابلیت تراکم پذیری رسوبات، مدت زمانی که بارگذاری اعمال شده و میزان و نوع تنش اعمال شده بستگی دارد [۹].
- لازم به توضیح است که در روشهای معمول طراحی، اثر زلزله در طراحی مجاری زیرزمینی در نظر گرفته نمی شود [۲].
- بطور مثال در آئین نامه آشتو به صراحت آمده است که لزومی به مطالعه مجاری زیرزمینی تحت نیروهای زلزله نمی باشد [۴].
- در سایر موارد بررسی به روش اجزای محدود بدلیل هندسه محیط مفروض در مدل، نمی توان اثر موج های زلزله را بدرستی لحاظ کرد. برای رفع این مشکل، جهت صرفنظر کردن از اثر موج ها، از مرزهای میراگر یا جاذب استفاده می شود، تا از انعکاس این امواج که قابل اغماض نیز می باشد، جلوگیری گردد. البته در حالت کلی و برای تمامی تاسیسات زیربنایی و طرح های توسعه شهری بهتر است در ابتدا نیروهای ناشی از زلزله و پایداری طرح محاسبه شود. در صورت زه کشی و پایین آمدن سطح آب زیرزمینی، تحکیم در سطح خاک صورت گرفته که سبب نشست سازه های سطحی می گردد. در مورد پدیده نشست رابطه بین تغییرات سطح ایستایی در لایه های خاک براساس اصل تنش موثر استوار است.
- لوله های آب زیر سطحی از جمله مواردی است که وجود آنها علاوه بر تغییری که خود در همگنی و یکنواختی خاک ایجاد نموده اند، به علت عملیاتی که به منظور نهادن آنها در زمین انجام گردیده خاک ناحیه دیگر به صورت اولیه و مشابه تشکیلات مجاور نبوده و اختلاف خواص آن باید در نظر گرفته شود. فرسودگی لوله که با گذشت زمان باعث آسیب پذیری لوله ها در برابر فشارهای داخلی و خارجی می شود. فشار آب بیش از فشار

اسمی لوله که آن را تحت تنش بیش از تنش مجاز خود قرار می دهد و در صورت تداوم و یا تکرار، منجر به شکست لوله می گردد. فشردگی و تراکم در سفره آب ها پاسخی مستقیم به کاهش عمق آب زیرزمینی است که می توان آن را به صورت رابطه ای ساده بین افزایش تنش موثر و کاهش فشار آب منفذی بیان نمود. تخلیه آب موجب تراکم رسوبات دربرگیرنده سفره آب و افزایش تنش موثر می شود. تنش ناشی از وزن روباره در محیط های اشباع و نیمه اشباع توسط ذرات خاک و آب منفذی تحمل می گردد [۸].

هنگامی که سطح ایستابی پایین می آید (زه کشی صورت می گیرد)، تنش بیشتری به بخش جامد وارد شده که منجر به پدیده تراکم لایه ها و در نهایت نشست لایه های خاک می شود. افت سطح ایستابی باعث افزایش تنش موثر در محیط مجاورش می شود. کاهش فشار منفذی موجب تراکم و نشست خاک می شود.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

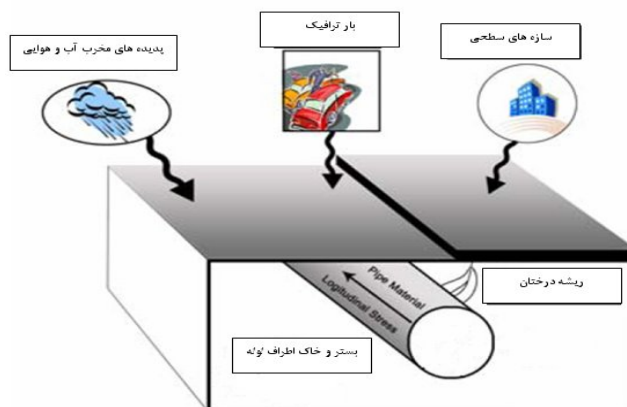
که در آن، σ : تنش کل و σ' : تنش موثر، u : فشار آب حفره ای می باشد. هم چنین تغییر در مقدار تنش موثر، تغییر در فشار آب حفره ای را در پی دارد.

$$\Delta \sigma' = -\Delta u \quad (2)$$

وقتی که گذر از حالت فشار آب منفذی رخ می دهد، نشست آغاز می شود. در این مورد شاخص هایی چون: تغییر حجم، فشردگی و شاخص تراکم ضروری می باشد. مقدار نشست خاک نیز طبق قوانین مکانیک خاک (ΔH) از رابطه زیر بیان می شود:

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} \cdot c_c \cdot \log\left(\frac{\sigma' + \Delta \sigma'}{\sigma'}\right) \quad (3)$$

e_0 : پوکی اولیه و c_c : شاخص تراکم می باشد [۱]. در شکل (۱)، عمده تنش های وارد بر تاسیسات زیرسطحی نشان داده شده است:



شکل (۱): تنش های وارده محیطی و عوامل عمده دخیل در پدیده شکست لوله ها

جونگسیک یو (۲۰۰۰) در نتایج مدل نشان داد که با استفاده از لوله های فولادی در سطح تونل بعنوان مهار، تغییر شکل تونل به مقدار زیادی کاسته می شود. همچنین این لوله ها در مواردی که در عمق کم بکار برده شوند، می توانند از نشست لایه های خاک فوقانی و باطبع آن سازه های سطحی جلوگیری کنند [۱۰].

باسکار جوشی (۲۰۰۱) به این نتیجه رسید که تنش و لنگر خمشی وارده بر لوله بستگی به شرایط هندسی و خصوصیات طبقات خاک بالای لوله دارد و این تنش وارده ناشی از پوشش خاکی بر رفتار و تغییر شکل لوله براساس ضریب ارتجاعی اش تاثیر گذار است [۱۱].

پلاکسیس یک مدل عددی دو بعدی بوده که برای تحلیل اندر کنش مسائل خاک بکار برده می شود. در این مدل شرائطی چون: هندسه محیط، مواد خاک و سازه، حالات مختلف شرائط مرزی و بارگذاری ها لحاظ می شود.

نرم افزار انسیس به تحلیل عددی تنش- کرنش برای تعیین تنش کل می پردازد. نرم افزار انسیس به منظور مدل سازی سازه، خاک و اعمال شرائط مرزی مناسب با تحلیل عددی، دارای قابلیت مناسب می باشد. همچنین نرم افزار انسیس دارای کارایی مناسب در تحلیل دینامیکی می باشد. سعی بر آن شده تا با اتخاذ انواع تحلیل های خطی استاتیکی و گاه در مواردی تحلیل دینامیکی، مش بندی مناسب با تنوع المان های دو بعدی موجود، بتوان از انسیس استفاده نمود.

از حالت ۶ گره مثلثی برای مش بندی استفاده گردید. مدل رفتاری فرض شده موهر- کلمب و یا مدل الاستیسیته خطی می باشد. هم چنین در هر قسمت از مدل جابجایی و تنش ها در گره های متناظر قابل تعیین می باشد.

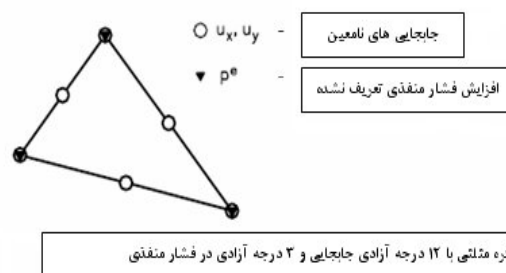
همچنین مشخص شد که در تحلیل عددی اجزاء محدود، مش بندی و اتخاذ تعداد گره مناسب و کیفیت خاک اطراف لوله ها از نظر خواص مهندسی- مکانیکی خاک در تعیین تنش های دایره ای موثر است [۱۲-۱۳]. روش اجزا محدود این خاصیت را دارد که می تواند محیط های با هندسه نامنظم و پیچیده و بعضا دارای مشخصات مکانیکی مقاومت را با تکنیک جز به جز نمودن تعریف و مدل نماید.

۲. مواد و روش ها

سعی شد تا نوع خاک های مورد مطالعه (۴ نوع) منطبق بر آیین نامه و نشریه شماره ۱۸۵ معاونت راهبردی ریاست جمهوری (سازمان مدیریت و برنامه ریزی سابق) انتخاب گردد.

مقطع در نظر گرفته شده دایره ای در این پروفیل به قطر ۰.۵ متر فرض شده است. پرفیل خاک از ۴ لایه تشکیل شده است. واحدهای ضخامت لایه ها نیز به متر می باشد. در واقع این مدل برای خط لوله های مادر (در خیابان های اصلی شهری)، که دیگر خطوط فرعی از آن منشعب می شوند، فرض شده است. لازم بذکر است که از نتایج این مدل می توان برای دیگر خطوط انتقال استفاده گردد.

روش عددی بکار رفته از حالت ۶ گره مثلثی استفاده گردیده، که همانطور که در شکل (۲) ملاحظه می شود، در هر گره دو فاکتور افزایش فشار منفذی و جابجایی بعنوان درجه آزادی در نظر گرفته می شود.

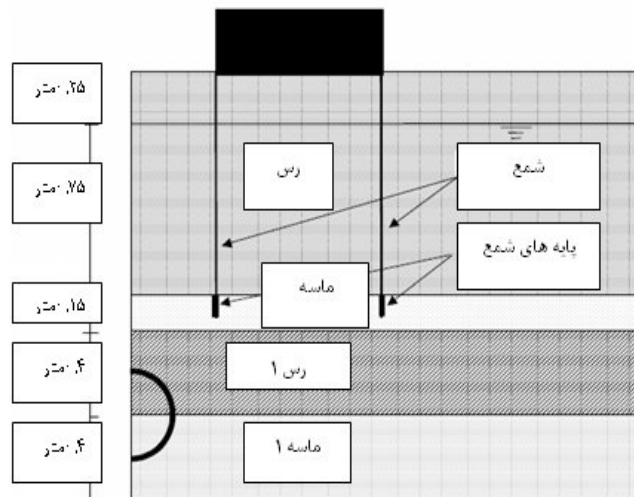


شکل (۲): مدل ۶ گره مثلثی

لایه بالایی به ضخامت ۱ متر حاوی نوعی رس که مقاومت آن به طور خطی با افزایش عمق افزایش می یابد. زیر لایه رس، لایه ماسه نرم به ضخامت ۰.۱۵ متر قرار دارد. این لایه برای پایه های کوبیده شده که برای استحکام سازه سطحی بکار می رود استفاده شده است. جابجایی پایه های کوبیده شده ممکن است سبب ویرانی تاسیسات روی آن شود، که این فرآیند غیر قابل پیش بینی می باشد.

زیر لایه ماسه، لایه رس لومی به ضخامت ۰.۴ متر قرار دارد. این لایه اولین لایه ای است که خط لوله در نیمه بالایی اش در حال ساخت است. قسمت دیگر لوله در لایه عمیق ماسه قرار گرفته است، که شامل ماسه متراکم و مقداری شن است. این لایه خیلی سخت است.

توزیع فشار آب حفره ای هیدرواستاتیک است. سطح ایستابی در شکل (۳)، ۰.۲۵ متر زیر سطح زمین در نظر گرفته شده است. در سطح مبنا و این وضعیت را متقارن می گیریم، پس فقط نصف آن در کرنش صفحه ای به حساب می آید. از مرکز لوله در جهت افقی ۳۰ متر فرض شده است، در مدل پلاکسیس ۶ گره در نظر گرفته شده است. سازه به عرض ۱۰ متر و از فاصله ۵ متری از مرکز لوله شروع می شود.



شکل (۳): مدل هندسی مورد مطالعه

خواص فیزیکی و مهندسی ۴ لایه خاک در جدول (۱) آورده شده است. برای لایه رس بالایی پارامتری تعیین شده که سختی به صورت خطی با عمق از سطح افزایش یابد، داده هایی که در ۲ لایه خاک شامل پارامترهای مناسبی برای سطح برخورد با قوس خارجی لوله می شود.

جدول (۱): خصوصیات مواد تشکیل دهنده پی و لایه های خاک

مشخصه	رس	ماسه	رس ۱	ماسه ۱	واحد
مدل مواد	موهر- کولمب	موهر- کولمب	موهر- کولمب	موهر- کولمب	-
شرایط	زهکشی	زهکشی	زهکشی	زهکشی	-
چگالی خاک بالای سطح ایستایی	۱۵	۱۶/۵	۱۶	۱۷	$m^3 \text{ KN/}$
چگالی خاک زیر سطح ایستایی	۱۸	۲۰	۱۸/۵	۲۱	$m^3 \text{ KN/}$
مدول یانگ	۱۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	$m^2 \text{ KN/}$
نسبت پواسن	۰/۳۳	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳	-
چسبندگی	۵/۵	۱	۴	۱	$m^2 \text{ KN/}$
زاویه اصطکاک	۲۴	۳۱	۲۵	۳۳	۰
زاویه اتساع	۰	۱	۰	۳	-

برای مشخصات سازه و شمع های نشان داده شده در شکل (۳) باید طراحی جداگانه منظور شود، که در جدول (۲) برای سازه و لوله و در جدول (۳) اطلاعات خطوط قوس لوله مشخص شده است. وزن پایه شمع ها همچنین با احتساب سازه سطحی در کل مجموعه به حساب می آید.

جدول (۲): مشخصات مواد تشکیل دهنده سازه و لوله

مشخصه	پوشش لوله	پایه شمع	سازه سطحی	واحد
مدل مواد	الاستیک	الاستیک	الاستیک	-
سختی	1.4×10^7	2×10^6	1×10^{10}	KN/m
ضریب ارتجاعی	1.43×10^5	8×10^3	1×10^{10}	$\text{KN } m^2 / m$
ضخامت	۰.۳۵	۰.۲۱۹	۳.۴۶۴	m
وزن	۸.۴	۲	۲۵	KN/m/m
نسبت پواسن	۰.۱۵	۰.۲	۰	-

جدول (۳): مشخصات شمع های کوبیده شده

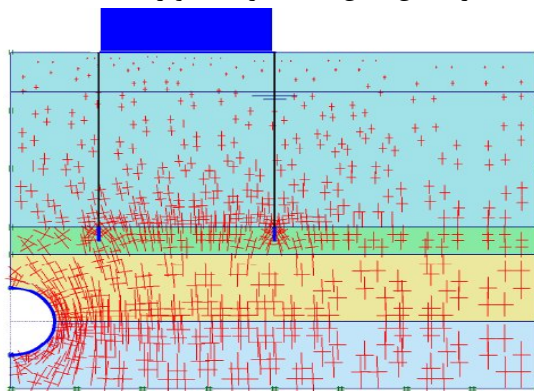
مشخصه	علامت	شمع	واحد
مدل مواد	-	الاستیک	-
سختی	EA	2×10^6	KN/m

روش عددی بکار برده شده در دو مدل یکسان و تنها در مش بندی و تعداد گره ها و بعضی از پارامترهای مهندسی خاک که در انسیس باید معادل سازی گردد، می باشد. در انسیس رفتار و خصوصیات خاک مدل شده توده زمین بوسیله مدل دراکر- پریگر شبیه سازی شد، زیرا مشخصه هایی چون چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در مدل ژئوتکنیک انسیس تعریف نشده بود.

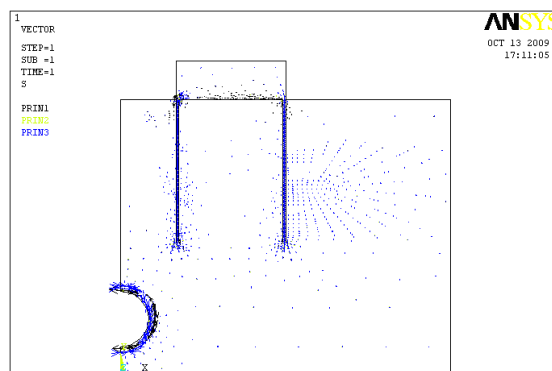
توزیع تنش های موثر افقی و قائم پس از ساخت و اعمال بارگذاری بر مجموعه خاک ها و لوله توسط پلاکسیس صورت گرفته است. پلاکسیس نشان می دهد که تکیه گاه های نگهدارنده سازه سطحی و هم چنین پوشش (بستر اطراف) لوله بیش ترین تمرکز تنش قرار دارد. انسیس نیز بدلیل تعداد گره های بکار رفته و حالت ۱۶ گره مثلثی در مش بندی مجموعه، دگر شکلی مجموعه را پس از پایان عملیات ساخت و بارگذاری استاتیکی مشخص می کند.

۳. حل عددی مدل ها و بررسی نتایج

پس از مدل کردن مواد و هندسه مجموعه، اولین مدل به روش اجزاء محدود در پلاکسیس اجرا شد. توزیع تنش های موثر افقی و قائم در پلاکسیس مدل شد. شکل (۴) بیشترین تنش در شکل مربوط به پایه های شمع های کوبیده شده و همچنین پوشش (قوس) خارجی لوله می باشد. در تحلیل عددی اجزاء محدود، مش بندی و اتخاذ تعداد گره مناسب و کیفیت خاک اطراف لوله ها از نظر خواص مهندسی - مکانیکی خاک در تعیین تنش های دایره ای موثر است [۱۳].

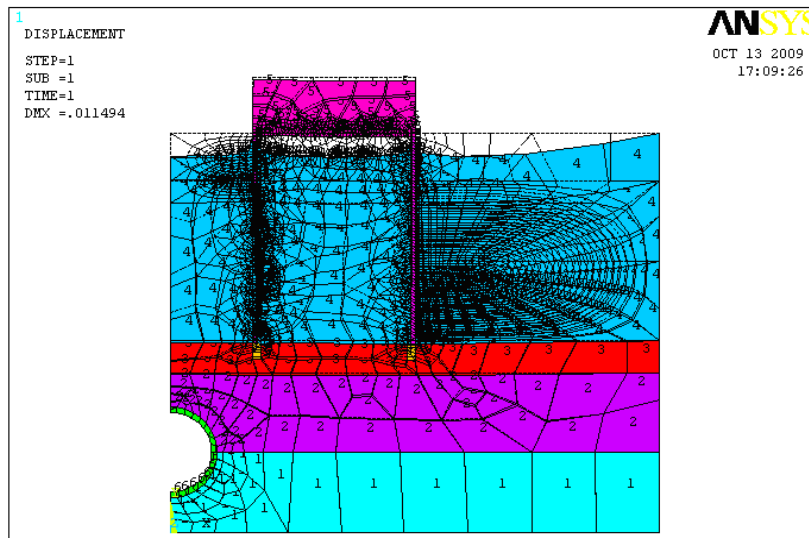


شکل ۴ - تنش های موثر وارده بر اجزا در مدل پلاکسیس



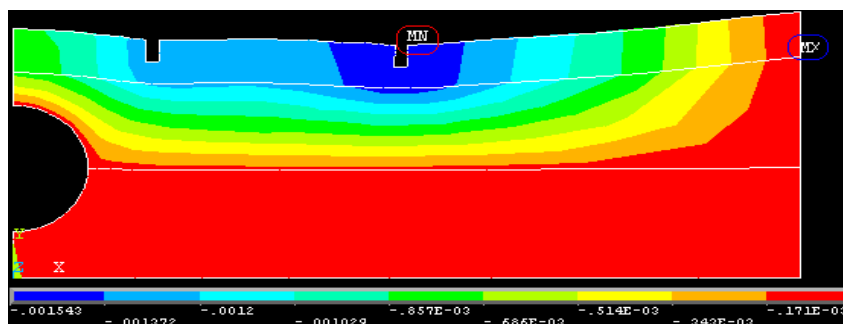
شکل ۵ - نمایه تنش های موثر وارد بر اجزا در مدل انسیس

بیشترین جابجایی ها در راستای قائم (نشست) در لایه های (رس و ماسه) که لوله در آن عمق قرار داده شده، می باشد. که این ناهمسانی و دگرگونی در بافت خاک اطراف، همانطور که در شکل (۶) نمایش داده شده، جابجایی لوله مهار نشده را در پی دارد. سازه سطحی بدلیل خاصیت ارتجاعی کمی که دارد، علی رغم جابجایی نزدیک به صفر در صفحه (سطح زمین)، بدلیل تکیه گاه ها و شمع های کوبیده شده محافظ، در قسمت فوقانی مقداری نشست کرده است. همچنین بدلیل ماهیت فیزیکی - مکانیکی رس و تحکیم و نشست خاک هایی با بافت نرم، پس از بارگذاری نشست و رانش لایه رسی (متمایل به سمت لوله) بخوبی مشهود است. نشست لایه های خاک حالتی مشابه روانگرایی توده خاک را مشخص می کند.



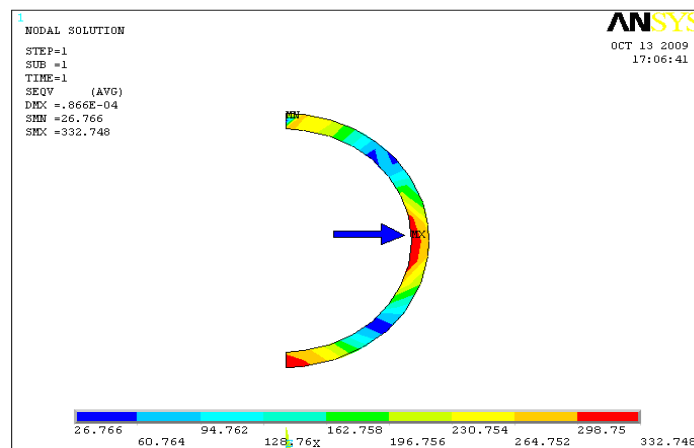
شکل ۶ - روانگرایی توده خاک پی و نشست سازه سطحی در مدل انسیس

روانگرایی پدیده ای است که در آن جرمی از خاک درصد زیادی از مقاومت برشی خود را در اثر بارگذاری گذرا، یکنواخت و یا تکراری از دست داده و تا زمانی که تنش برشی به اندازه مقاومت برشی کاهش یابد، رفتاری مشابه سیال پیدا می کند. بعبارتی از حالت جامد تغییر حالت داده و در گذار خصوصیت سیال گونه می پذیرد. در مدل انسیس کم ترین جابجایی مربوط به تکیه گاه ها است. البته باید به این نکته توجه داشت که تکیه گاه سمت چپ (متمایل به لوله) بیشترین بار را تحمل کرده و نسبت به مهار سمت راستی خود تغییر شکل بمراتب بیش تری داشته است. در شکل (۷) نقاط مشخص شده، کمترین و بیشترین تغییر شکل ها مشخص شده است.



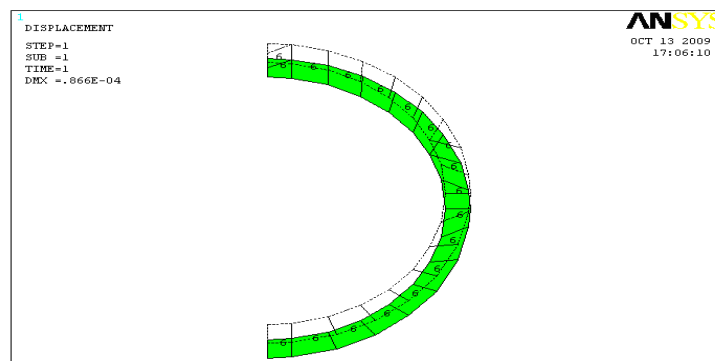
شکل ۷ - تغییر شکل سازه و پایه های شمع و نشست لایه های خاک بالایی در مدل انسیس

در مقطعی از لوله (قوس خارجی)، شکل (۸)، که از مدل انسیس انتخاب شد، بیشترین تنش وارده بر طبق آنالیز اجزاء محدود در مرکز دایره (لوله) اتفاق می افتد و این قسمت بیش تر در معرض کماتش قرار می گیرد. از طرفی بدلیل قابلیت ارتجاعی فوق العاده کم لوله، در راستای قائم (محور عمود بر مرکز لوله) جابجایی دیده می شود.



شکل ۸ - تنش وارده بر سطح خارجی لوله

در شکل (۹)، لوله به پایین تغییر مکان داشته و به نحوی بالازدگی در آن دیده نمی شود.



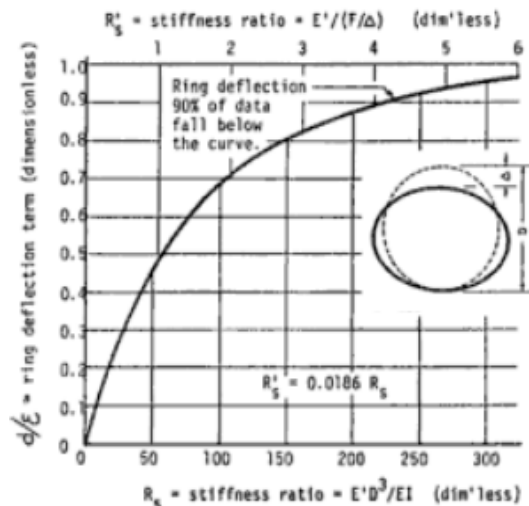
شکل ۹ - تغییر مکان (نشست) لوله در راستای قائم در مدل انسیس

جابجایی نسبت به حالت اولیه (قبل از بارگذاری) در مدل انسیس بخوبی مشهود است. در روش عددی اجزای محدود با توجه به تغییر شکل های لوله ها اگر المانی در دست باشد که تغییر شکل های آن با تغییرات ایجاد شده در محیط همخوانی داشته باشد، به یقین از چنین المانی انتظار جواب های قابل قبول در تحلیل لرزه ای لوله ها بود [۵].

۴. اعوجاج در لوله

در روش عددی اجزای محدود با توجه به تغییر شکل های تونل های دایره ای اگر المانی در دست باشد که تغییر شکل های آن با تغییرات ایجاد شده در محیط همخوانی داشته باشد، به یقین از چنین المانی انتظار جواب های قابل قبول در تحلیل لرزه ای تونل ها و سایر سازه های زیر سطحی خواهد بود.

این امواج می توانند حاصل بارگذاری ها یا حوادث طبیعی چون زلزله باشد. بسته به جهت اعمال موج های فشاری، اعوجاج در همان راستا به وقوع می پیوندد. در شکل (۱۰) نمودار خمش لوله وابسته به تغییرات تابع سختی نمایش داده شده است. این گراف از آزمایش روی ۱۴۰ نمونه بدست آمده و کالیبره شده است.



شکل ۱۰- اعوجاج در مقطع لوله در اثر امواج

۵. نتیجه گیری

خاک غیرچسبنده و اشباع در اثر ارتعاش تمایل به تراکم و کاهش حجم پیدا خواهد کرد. در شرائط زهکشی نشده، این امر موجب افزایش فشار آب حفره ای خواهد شد و در نتیجه آن تنش موثر کاهش می یابد. حال اگر این افزایش در فشار آب حفره ای تا جایی ادامه یابد که با تنش کل برابر گردد، در این صورت تنش موثر مساوی صفر شده، تحت این شرائط خاک هیچ گونه مقاومت برشی نداشته، باربری خود را از دست خواهد داد و روانگرایی در لایه های زیر سطحی (پی) سازه ها صورت می گیرد.

با توجه به آنکه پدیده هایی از قبیل: نشست، حرکت آب در خاک (هدایت هیدرولیکی)، شرائط زه کشی خاک و دیگر پارامترهای حوزه مکانیک خاک از منوهای ترمال و سازه مدل انسیس قابل معادل سازی است. ولی پلاکسیس در این موارد منوها و زیر مجموعه های تعریف شده جداگانه ای دارد.

عوامل مانند صدمات ناشی از حفاری در مسیر لوله، خوردگی و حرکت خاک دور لوله، استفاده از مصالح نامناسب برای پوشش و زیرسازی لوله ها، نصب غلط و ضربه قوچ، می تواند در آسیب رساندن به لوله ها مشکل آفرین باشد [۶].

با بررسی های مشخص شد که عوامل اصلی و مؤثر در بروز حادثه و شکست لوله های یک سیستم آب رسانی عبارتند از:

- افزایش فرسودگی لوله که با گذشت زمان باعث آسیب پذیری لوله ها در برابر فشارهای داخلی و خارجی می شود.

- با افزایش قطر لوله، میزان شکست لوله ها کاهش می یابد، لازم بذکر است که باید در انتخاب قطر معیارهای اقتصادی طرح نیز برای انتخاب قطر بهینه صورت گیرد.

- حرکت خاک اطراف لوله بر اثر نیروهای وارد بر زمین، لغزش زمین در زمینهای شیبدار و یا بر اثر تکانهای ناشی از زمین لرزه، که نیروی بسیار زیادی بر لوله وارد می آورد و می تواند باعث شکست آن ها گردد.



- خوردگی در محیط خاک و آب که برای کلیه ساختارهای فلزی و سیمانی حادث است.
- افزایش سن لوله باعث افزایش احتمال شکست در لوله می گردد.
- فشار آب بیش از فشار اسمی لوله که آن را تحت تنش بیش از تنش مجاز خود قرار میدهد و در صورت تداوم و یا تکرار، منجر به شکست لوله می گردد.
- نصب غیر استاندارد که موجب ایجاد نشتهای ریز از محل اتصال لوله ها گردیده که با گذشت زمان شدیدتر می شود.
- استفاده از مصالح نامناسب برای پوشش و زیرسازی لوله ها که در صورت عدم کوبیدگی لازم باعث ایجاد نشست در لوله ها شده، فشارهای غیریکنواختی به لوله وارد می آورد و می تواند باعث صدمه زدن به لوله شود.
- ضربه و صدمات ناشی از حفاری که بر اثر بی احتیاطی به لوله ها آسیب می رساند.
- پدیده شکافت هیدرولیکی که در اثر نشست آب از داخل لوله تحت فشار به توده زمین اطراف و غلبه فشار آب بر تنش های بر جا در زمین مجاور تونل و در اندرکنش با آن اتفاق می افتد، در اثر کاهش ضخامت خاک روباره لوله می باشد.
- بر اساس معیار قائم که جزء مشخصه های ژئوتکنیکی لوله های تحت فشار زیر سطحی است، باید فشار روباره لوله ها از فشار داخلی آب در لوله ها بیشتر باشد [۷].
- به منظور لحاظ تمامی مولفه های بار دینامیکی و هم چنین پوشش برای لوله ها بهتر است از روش های ترکیبی استفاده کرد. بدین صورت که از روش اجزاء محدود برای مدل کردن سازه و بخشی از خاک بستر (اطراف لوله) به همراه روش عددی ثانویه ای مشابه تفاضلات محدود یا المان مرزی برای مدل کردن محیط کل مقطع مورد بررسی استفاده کرد. در محاسبات مربوط به سازه های زیر سطحی (تونل، خطوط لوله،...) در صورتی که اندرکنش سازه با بستر پیرامونش مد نظر باشد، مدل انسیس نتایج بهتری از خود نشان می دهد. بطور کلی پلاکسیس مدلی ژئوتکنیکی بوده و در بعد تحلیل سازه ای لوله از جهت المان های مرزی قابلیت تطابق کم تری نسبت به انسیس از خود نشان می دهد.
- شیب طولی کارگذاری لوله و محاسبه تمامی نیروهای استاتیکی و دینامیکی در بازه زمانی توسط روش های عددی، از قبیل اجزا محدود در صورت وجود داده های آزمایشگاهی دقیق با قطعیت بالایی قابل تعیین می باشد [۱۴].
- تاثیر قطر و نسبت ضخامت لوله، روی تناسب تنش حاصله در طی گسیختگی لوله و ایجاد درز در لوله، تناظری مستقیم است. با افزایش شدت و مقدار فشار داخلی لوله، قابلیت تغییر شکل لوله به وضوح کاهش یافت [۱۵].
- موارد زیر در تصمیم گیری های نهادهای نظارتی و اجرایی در سطح شهر، همواره اعمال شود. توصیه می شود مدیریت جامع در این تصمیم گیری ها نیز بر عهده ستادهای مدیریت بحران مستقر در استانداری ها باشد. این موارد را می توان به صورت ذیل طبقه بندی کرد:
- ایجاد نقشه های خطر پذیری و شناسایی مناطق پر خطر و یا امن از نظر زلزله.
- مسائل مربوط به نشست و انبساط نیز در لوله باید در نظر گرفته شود.
- طراحی اصولی و مقاوم سازه های جمع آوری و انتقال آب و فاضلاب در برابر تکان های ناشی از زلزله و نیز مقاوم سازی این سازه ها در برابر حرکت های ناشی از زلزله.
- در مواردی که لوله های آب و فاضلاب با یکدیگر در مسیرشان تلاقی می کنند، لازم است تا لوله های آب بالای مجاری فاضلاب قرار گیرد.



- و همچنین در صورتی که در مقطعی از خط لوله، برای عبور لوله مجبور به استفاده از پایه می باشد، پیش بینی های لازم در مورد بارهای محتمل وارده با توجه به دهانه در نظر گرفته شده برای پل ها تعبیه گردد.

منابع

- [۱] ام.داس، براجا، اصول مهندسی ژئوتکنیک، ترجمه، شاپور، طاحونی، ویرایش دوم، تهران، انتشارات پارس آئین، ۱۳۸۴
- [۲] ابریشمی، جلیل؛ یزدی نژاد، جلال، بررسی علل خوردگی فاضلابروهای بتنی بر مبنای هیدرولیکی، مرکز تحقیقات مدیریت آبفا مشهد، مشهد، ۱۳۸۶.
- [۳] توفیق، محمدمحسن؛ طباطبایی، سیدطاها، "پیش بینی نشست منطقه ای زمین به روش محاسبه برگشتی و تاثیر نشست بر شبکه فاضلاب"، مجله تحقیقات مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ۴۴-۵۸، تهران، ۱۳۸۳.
- [۴] مجموعه ضوابط طراحی سازه ای مجاری آب بر زیرزمینی بتنی- نشریه ۱۸۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (معاونت راهبردی ریاست جمهوری)، ۱۳۷۸.
- [۵] اسماعیلی، مرتضی؛ وهدانی، شهرام؛ نورزاد، اسداله، "ارزیابی پاسخ دینامیکی پوشش تونل های دایروی به عبور امواج تخت"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۸، شماره ۶، دانشگاه تهران، اسفند ۱۳۸۳.
- [۶] تابش، آرش؛ آقایی، مسعود؛ ابریشمی، جلیل، "بررسی نقش عوامل مؤثر بر فراوانی حوادث در لوله های اصلی آب رسانی با استفاده از الگوی رگرسیونی ترکیبی"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۲، شماره ۶، دانشگاه تهران، اسفند ۱۳۸۳.
- [۷] سروش، عباس؛ محمدپور، جلال، "ارزیابی و تحلیل عددی اثر روباره کم بر پایداری ژئوتکنیکی تونل های تحت فشار"، مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی سازه های هیدرولیکی، جلد اول، صفحات ۳۶۵-۳۷۵، دانشگاه شهید باهنر کرمان، اردیبهشت ۱۳۸۰.
- [۸] Bell, F.G., . *Subsidence, ground engineer's reference book*, F.G. Bell, ed., 1st Ed., Butterworths and Co. Publishers, ۱۹۸۷.
- [۹] Lofgern, R.N., "Analysis of Stress Causing Land Subsidence.", *Geol Surv*, Vol ۶۰۰-B, pp. ۲۱۹-۲۲۵, ۱۹۶۸.
- [۱۰] Chungsik Yoo, "Finite-element analysis of tunnel face reinforced by longitudinal pipe.", *Computers and Geotechnics*, Vol ۲۹ pp. ۷۳-۹۴, (۲۰۰۲).
- [۱۱] Bhaskar Joshi, "Finite element modeling of a PE pipe heap leachate collection system.", *Finite Elements in Analysis and Design* ۳۷, pp ۹۷۹-۹۹۶, ۲۰۰۱.
- [۱۲] *Plaxis Bulletin*, available on www.plaxis.nl
- [۱۳] T.H.Hyde, R.Lou, A.A.Becker, "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 ۸۶, pp ۴۲۸-۴۳۴, ۲۰۰۹.
- [۱۴] K.R. Jayadevan, "Numerical investigation of ductile tearing in surface cracked pipes using line-spring.", *International Journal of Solids and Structures*, Vol ۴۳, pp ۲۳۷۸-۲۳۹۷, ۲۰۰۶.
- [۱۵] T.H.Hyde, R.Lou, A.A.Becker, "Elastic-plastic analysis of offset indentations on unpressurised pipes", *International Journal of Solids and Structures*, Vol ۴۴, pp ۳۹۹-۴۱۸, ۲۰۰۷.