ارزیابی و مدل سازی عددی خطوط انتقال آب در اثر بارگذاری های متداول شهری (محدوده میدان آزادی تا استقلال مشهد مقدس)

آرمین بوستانی[۱]، کمال الدین صابری[۲]، سعیدرضا خداشناس[۳]

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

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

Water_structure82@yahoo.com

خلاصه

عدم تعیین دقیق مقدار بار مجاز وارد بر لوله ها و عدم شناخت کافی از توابع رفتاری لوله های حامل جریان تحت فشار در برابر بارگذاری ها، موجبات اختلال و وقوع پدیده شکست در شبکه آبرسانی را فراهم می آورد. در این مطالعه، رفتار مقطعی از طرح اضطراری انتقال آب سد دوستی به شهر مشهد با فشار داخلی متوسط در اثر بارگذاری روی آن با مدل عددی اجزای محدود پلاکسیس مدل شده است. مشخص شد که ضخامت بهینه مفروض می تواند پاسخگوی نیروهای اعمال شده خارجی و داخلی باشد.

کلمات کلیدی: فشار داخلی شبکه، بارگذاری، لوله فولادی، مدل عددی، خط انتقال.

کد مقاله: ۱۲۱۱

ارزیابی و مدل سازی عددی خطوط انتقال آب در اثر بارگذاری های متداول شهری (محدوده میدان آزادی تا استقلال مشهد مقدس)

آرمین بوستانی[۱]، کمال الدین صابری[۲]، سعیدرضا خداشناس[۳]

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

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

Water_structure82@yahoo.com

خلاصه

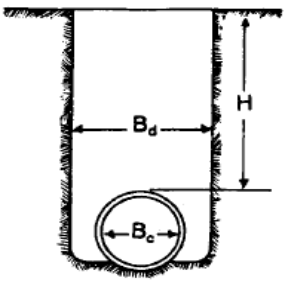
عدم تعیین دقیق مقدار بار مجاز وارد بر لوله ها و عدم شناخت کافی از توابع رفتاری لوله های حامل جریان تحت فشار در برابر بارگذاری ها، موجبات اختلال و وقوع پدیده شکست در شبکه آبرسانی را فراهم می آورد. در این مطالعه، رفتار مقطعی از طرح اضطراری انتقال آب سد دوستی به شهر مشهد با فشار داخلی متوسط در اثر بارگذاری روی آن با مدل عددی اجزای محدود پلاکسیس مدل شده است. مشخص شد که ضخامت بهینه مفروض می تواند پاسخگوی نیروهای اعمال شده خارجی و داخلی باشد.

کلمات کلیدی: فشار داخلی شبکه، بارگذاری، لوله فولادی، مدل عددی، خط انتقال.

۱. مقدمه

مجاری زیرزمینی در خطوط انتقال آب، نفت،گاز، شبکه توزیع آب، جمع آوری فاضلاب، شبکه های زهکشی، آبروها، مجرای تخلیه سدها و نظایر آن مورد استفاده قرار می گیرد. بعبارتی مجرای زیرزمینی، راهی است برای انتقال سیالات که بر حسب ضرورت های مهندسی درون خاک به صورت مدفون قرار داده می شود و سیال به صورت آزاد و یا تحت فشار درون آن جریان می یابد [۱]. شبکه های توزیع و انتقال آب شهری که با فشار معینی کار می کنند نیز جزء این دسته بندی بوده و همواره نقش مهمی در ساختارهای زیر بنایی شهری ایفا می کند.

جنس لوله های مصرفی در این تاسیسات معمولا بتن، چدن و فولاد است. در پروژه های حال حاضر در سطح ملی و جهانی از فولاد به عنوان پوشش در لوله های نیمه اصلی و اصلی توزیع آب شرب در سیستم شبکه توزیع آب شهری برای حفاظت از لوله ها استفاده می شود. لوله های فولادی به خوبی توانسته تا ضریب اطمینان پایداری مناسبی در برابر فشارهای خارجی ناشی از اعمال سربار، بارهای دینامیکی و فشارهای داخلی را از خود نشان دهد. وقوع چنین پدیده ای را می توان به علت خاصیت نیمه انعطاف پذیری جدار این نوع از مجاری دانست. روش های کارگذاری و استقرار لوله های آب در عمق خاک از اصول و قوانین خاصی در طراحی و اجرا تبعیت می کند. استقرار در خاکریز، خاکریز با گوه مثبت، ترانشه و ترانشه ناقص را می توان جزء روش های کارگذاری لوله های مدفون در خاک بر شمرد. در مطالعه حاضر روش استقرار در ترانشه کامل طراحی و اجرا شده، که نمونه شماتیک آن را می توان در شکل(۱) دید.



شکل ۱ – شمای استقرار لوله در ترانشه

که در آن B_d و B_c به ترتیب عرض ترانشه و قطر داخلی لوله و H ارتفاع منشور خاک بالای لوله است.

سروش و محمد پور(۱۳۸۰)، در تحلیل عددی تونل های تحت فشار به عنوان سازه های زیر سطحی در اثر بارگذاری های سطحی دریافتند که پوشش دیواره ها نقش بسزایی در تامین پایداری مجراها ایفا می کند. با بررسی های بیشتر مشخص شد که انتخاب جدار فولادی علاوه بر حفظ پایداری، گزینه مناسبی در برابر پدیده شکافت هیدرولیکی نیز می باشد [۲].

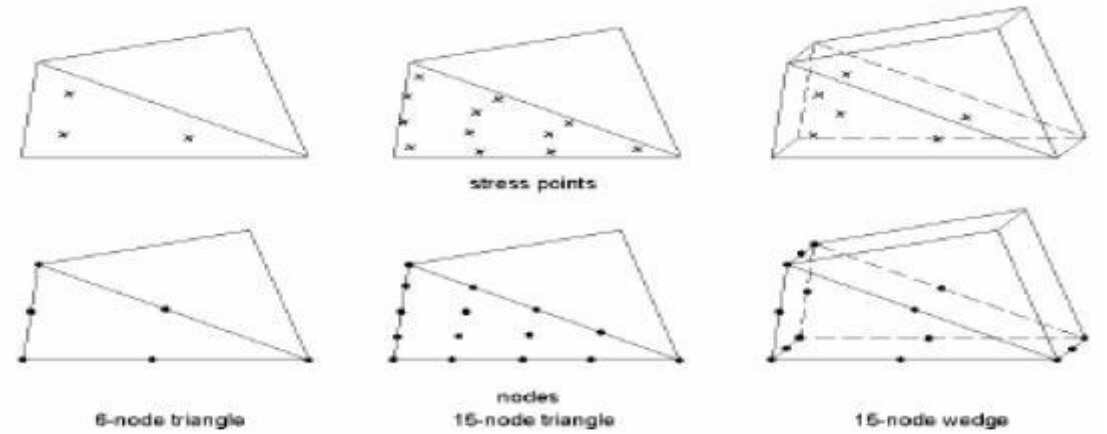
وفائیان(۱۳۸۱)، تاثیر تغییر متغیرهای موثر بر رفتار خاک و نیز اثر پلاستیک شدن دهانه تونل را با نتایج محاسبات مبتنی بر اجزای محدود در شرایط فرض الاستیک بررسی و با رابطه های تحلیلی مقایسه نمود. وی به این نتیجه رسید که در بسیاری موارد می توان با کاربرد یک نرم افزار اجزای محدود مبتنی بر حل الاستیک- پلاستیک کامل با معیار موهر- کولمب وضعیت رفتاری و جابه جایی های محیط اطراف و بالای مجراهای مدفون در زمین های خاکی را پیش بینی کرد [۳]. آل خمیس و همکاران(۱۳۸۵)، در بررسی تاثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی روی تخریب لوله جدار چاه ها، به این نتیجه رسیدند که مکانیسم ایجاد کاسه فرونشست باعث پدید آمدن حالت گسیختگی لوله جدار می گردد [۴].

کانگ و همکاران(۲۰۰۸)، در تحقیقات خود نشان دادند که فشار سطحی وارد بر لوله های بکار گرفته شده در اعماق همواره تحت تاثیر نشست توده خاک بالا و اطراف لوله قرار می گیرد. همچنین مشخص شد که فشار روباره روی لوله ها در صورتی که خاک سطحی و لایه بالایی لوله با مواد سبک تر مثل خاک هایی با خاصیت تراکم پذیری بالاتر، خاک همراه با کلش جایگزین شود، کاهش چشمگیری می یابد، البته این موارد بیشتر روی لوله های چدنی که از درجه صلبیت بالاتری نسبت به لوله های فولادی برخوردارند، موثرتر است. از طرفی اجرای ترانشه نیزدر مورد لوله هایی که در اعماق زیاد نصب می گردند، از اثرات مخرب بارگذاری سطحی کاسته و موجب کاهش نشست لوله های مذکور می گردد [۵].

اوزکان و همکاران(۲۰۰۹)، در بررسی لوله ها و اتصالات فولادی آن با بارگذاری های مرکب در شرائط آزمایشگاهی دریافتند که یکی از پارامترهای تاثیرگذار در مسئله مذکور، افزایش میزان قطر لوله نسبت به ضخامت خارجی در جدار است [۶].

در اکثر مواقع و بدلیل نبود داده های واقعی و همچنین فقدان تجهیزات لازم آزمایشگاهی، به منظور دستیابی به رفتار اولیه سازه و تحلیل آن از روش های عددی ریاضی و مدل های نرم افزاری توسعه یافته بر این مبناها استفاده می شود. یکی از این روش های عددی، روش اجزای محدود[1] می باشد. امروزه روش اجزاء محدود بعنوان یک زمینه بسیار وسیع جهت تحقیقات مطرح شده است. بعلاوه این روش بعنوان یک ابزار تحقیقاتی جهت آزمایش روش های تجربی بکار برده می شود. اهمیت اصلی این روش در کاربرد آن توسط مهندسین سازه، بعنوان ابزاری جهت تحلیل و طراحی سازه های پیچیده است، که اولین بار توسط کلاف[2] ارائه شد.

این روش عددی با توجه به ماهیت مسئله لحاظ گردید و همچنین نرم افزار اجزای محدود بکار برده شده نیز مدل پلاکسیس انتخاب گردید. این نرم افزار در سال ۱۹۸۷ میلادی توسط دانشگاه دلف هلند به منظور یک نرم افزار پشتیبان در طراحی ها و محاسبات ژئوتکنیکی تهیه و بکار گرفته شد. اساس کار آن بر مبنای در نظر گرفتن تنش ها و جابجایی ها در گره های مجاور یکدیگر می باشد شکل(۲).



شکل ۲ – المان های ۶ و ۱۵ گره مثلثی در پلاکسیس

[1] -Finite Element Method (FEM)

[2] -Clough

بدین منظور مقطع عرضی لوله فولادی با مشخصات ذکر شده در ذیل در اثر بارگذاری های خارجی و سطحی با فشار داخلی طراحی متوسط در مدل پلاکسیس به اجرا در آمد. در تحلیل نیروهای تاثیرگذار مشخص شد که نیروی مومنتوم ناشی از آب داخل سیال، طبق استانداردها و آئین نامه های موجود طراحی خطوط انتقال آب در راستای طولی قابل صرفنظر کردن بوده و تاثیر چندانی ندارد. این نیرو بیشتر در مقاطع زانویی، تبدیل ها و مکان هایی که تغییر عرض برای مجرا اتفاق می افتد، نمود پیدا می کند. مهمترین بار خارجی موثر را علاوه بر بار وزن لایه ها و خاک روباره، بار حمل و نقل می توان نام برد. براساس آئین نامه آشتو بار وسائل سنگین بر مبنای استانداردهای هر کشوری متفاوت در نظر گرفته می شود. معیار طراحی ایران برای بار ۸ تن بوده که در این مسئله نیز لحاظ شده است.

پس از اجرای مدل، لایه سطحی آسفالت نشست پیدا کرد و مشخص شد که افزایش عمق دفن لوله در خاک های دانه ای باعث کاهش پاسخ لوله در برابر نیروهای سطحی شده و در خاک های چسبنده مشابه خاک سرندی بستر و اطراف لوله این پدیده بیشتر خود را نشان می دهد. به همین علت است که از خاک های سرندی و ریزدانه برای بستر سازی و اطراف لوله های دفن شده استفاده می شود. همچنین هر چه قطر لوله افزایش یابد، پاسخ آن در برابر نیروهای اعمال شده خارجی کاهش خواهد یافت.

۲. مطالعه موردی و مواد

طرح مورد مطالعه شامل مقطعی عرضی در ابتدای میدان آزادی از پروژه انتقال آب سد دوستی به شهر مشهد مقدس می باشد. پهنه مورد نظر در شبکه آب و فاضلاب شهری مشهد، پهنه C بوده و جنس لوله فولادی بوده که تا میدان استقلال مشهد به طول ۱۲۴۳ متر کشیده شده است. این ناحیه در شکل(۳) نشان داده شده است.

شکل ۳ – منطقه مورد مطالعه

در مدل کردن شرائط طبیعی استقرار لوله، عرض ترانشه به پهنای ۲ متر و عمق ۲,۲ متراستفاده شد. لوله اسپیرال فولادی به قطر داخلی ۱۰۰۰ میلی متر و ضخامت خارجی ۱۲ میلی متر با فشار داخلی متوسط براساس استانداردهای شبکه ایران، ۵ اتمسفر لحاظ شد. در پر کردن خاکریز به ترتیب چیدمان از سطح: آسفالت به ضخامت ۱۰، ماکادام به ضخامت ۳۰، و گراول به ارتفاع ۴۰ سانتی متر به کار برده شد. همچنین پس از گراول توسط خاک سرندی(رس) از ارتفاع حدود ۳۰ سانتی متر بالای تاج لوله تا ۱۰ سانتی متر کف لوله (به عنوان بستر سازی)، در مجموع ۱,۴ متر تا کف ترانشه پر گردید. خاک رس سرندی انتخابی را می توان با سرند نمودن خاک های حاصل از خاک برداری تهیه نمود ولی در بعضی از پروژه ها چنانچه خاک های حاصل از حفاری ترانشه برای انجام خاک ریزی مناسب نباشد، خاک انتخابی از منابع قرضه و بر اساس استانداردهای موجود تأمین خواهد گردید.

مشخصه های خاک ها و مواد پرکننده مجرا در جدول(۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که خاک انتخابی یا خاک مرغوب[1] برای بسترسازی یا خاکریزی اطراف و روی لوله، عبارت از خاک با دانه بندی مناسب بر اساس مشخصات طرح است. خاک انتخابی باید عاری از مواد کلوخه ای رسی، مواد آلی، خاکهای یخ زده و عاری از شاخه و ریشه درختان باشد.

جدول(۱)- مشخصات خاک های مورد استفاده در ترانشه

پارامتر	مشخصه	آسفالت	ماکادام	گراول	رس	واحد
مدل مواد	مدل	موهر – کلمب	موهر – کلمب	موهر – کلمب	موهر – کلمب	–
معیار رفتاری	نوع	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	زهکشی شده	–
چگالی	γ	۲۳,۵	۲۶	۲۶	۱۸	KN/m^3
مدل الاستیسیته	E	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	KN/m^2
ضریب پواسن	ν	۰,۱۵	۰,۲	۰,۲۵	۰,۳۵	-
زاویه اصطکاک داخلی	φ	۳۵	۴۰	۳۷	۲۵	-
چسبندگی	C	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۱	KN/m^2
زاویه اتساع	Ψ	۰	۰	۰,۲	۰	-

زاویه اصطکاک داخلی خاک به درجه تراکم خاک ارتباط پیدا می کند که بایستی به عنوان معیاری برای مشخصات خاک روی لوله منظور گردد. در خاک دانه ای به علت بالا بودن ضریب نفوذپذیری، فشار حفره ای ایجاد شده بوسیله اعمال بار سریع زایل می شود. در جدول (۲) مشخصات سیال (آب) در دمای ۲۰ درجه و همچنین خواص جدار لوله آورده شده است.

جدول(۲)- مشخصات سیال و پوشش لوله

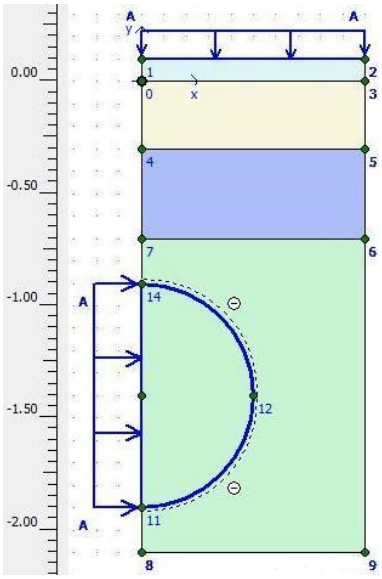
آب (سیال درون لوله)			فولاد (پوشش جدار لوله)		
Gpa	۲/۱	E	KN/m^2	۲e۸	E
KN/m^3	۱۰	γ	-	۰/۳	ν
$Kg.s/m^2$	۰/۰۰۰۱۱۵	μ	m	۰/۰۱۲	d

در آنالیزهای دو بعدی امکان انتخاب دو نوع المان ۶ گره ای و ۱۵ گره ای مثلثی در تحلیل ها وجود داردکه المان پیش فرض در این نرم افزار المان مثلثی ۶ گرهی می باشد. این المان ها شکل سازه را مشخص می کنند و توسط نقاط گرهی به المان های مجاور مرتبط می گردند. نیروهای گرهی بر گره ها اعمال می شوند و تغییر مکان ها در حالت آزادی نیز در گره ها در نظر گرفته می شوند.

برای دستیابی به دقت بیشتر در از المانهای ۱۵ گرهی محاسبات تنش ها و بارها و گسیختگی خصوصاً در هندسه استفاده شد. در پیش فرض تابع تقریب جابجائی المان ها از مرتبهٔ دوم در نظر گرفته شده است . برای چگونگی مش بندی حالت سخت در مدل خاک ها برای نرم افزار استفاده شد. بار خارجی برابر با ۱۸۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع (بار زنده ناشی از حمل و نقل) علاوه بر بار خاک سطحی روباره فرض شد. به دلیل متقارن بودن لوله و مصالح پرکننده خاکریز در جناحین و اطراف، در مدل سازی پروفیل مقطع نیمه فرض شده است.

در مقطع مفروض، به دلیل مشاهده نمودن نشست لایه سطحی (آسفالت خیابان) به ضخامت ۱۰ سانتی متر در پروفیل اجرا شده در مدل، این لایه ۱۰ سانتی متر بالاتر از سطح مبنا قرار داده شده تا به توان میزان نشست آن را در اثر اعمال بار ملاحظه نمود. شکل(۴)

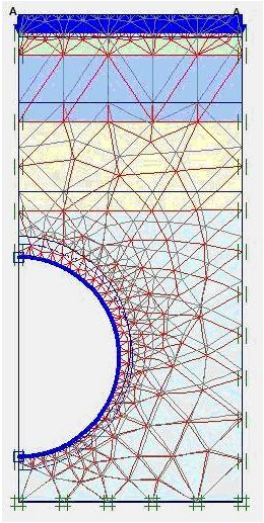
[1]- Selected or Sieved Material (Sieved Soil)



شکل ۴ – پروفیل مدل شده لوله و نیروهای اعمال شده در ترانشه

۳. بررسی مدل و نتایج

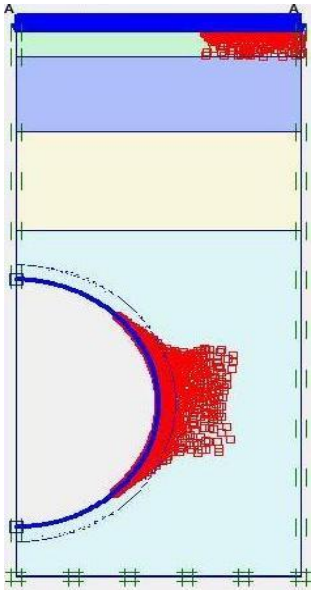
در استقرار مجرا در ترانشه، مصالح خاکریز روی مجرا تمایل به تحکیم و نشست دارند. این پدیده به همراه نشست مجرا روی بستر خود، باعث شده تا منشور خاک واقع در ترانشه در بالای مجرا، نسبت به خاک های دست نخورده جناحین، به سمت پایین حرکت نماید. نشست آسفالت پس از بارگذاری خارجی در مدل دیده شده و در مش بندی لولیه و ثانویه در شکل(۵)، می توان تغییرات گره ها و المان های متناظر را در راستای قائم مشاهده نمود.



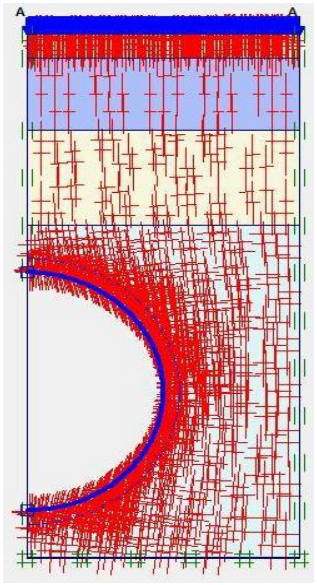
شکل ۵ – نشست لایه های خاک در اثر اعمال بار خارجی

در واقع بار وارد بر مجرای زیرزمینی ناشی از اندرکنش بین مجرا و خاک اطراف آن است. طبیعت مجرا از نظر صلبیت و یا انعطاف پذیری، میزان نشست کف مجرا، ویژگی های مکانیکی خاکریزی در ترانشه، جناحین و روی مجرا و روش اجرا و کارگذاری لوله ها از جمله عواملی هستند که بار وارد بر مجرا را تحت تاثیر قرار می دهند.

در حالت کلی جابجایی های درون مدل های نرم افزاری اجزای محدود قادر به نشان دادن منطقه پلاستیک شدگی و کرنش آن در خاک های سست می باشد و اصولا در موارد معمولی شرائط زمین در محدوده الاستیک باقی می ماند [۷]. در شکل های (۷و۶) به ترتیب توزیع تنش های موثر و ناحیه های پلاستیسیته شده در لایه های خاک ترانشه و پوشش لوله مشاهده می شود.

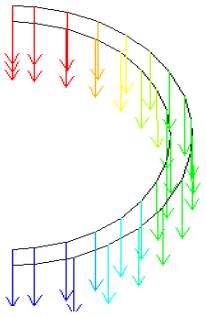


شکل ۶ – ناحیه پلاستیک شدگی در خاک و جدار لوله



شکل ۷ – توزیع تنش های موثر قائم و افقی پس از بارگذاری

ماکزیمم پلاستیک شدگی در پوشش دایره اطراف لوله در مرکز و روی قشر خارجی جدار لوله و خاک اطراف آن رخ می دهد. در مناطقی که امکان یخ زدگی وجود نداشته باشد. حداقل عمق پوشش روی لوله به منظور جلوگیری از صدمه خوردن به لوله در اثر بارهای وارده حاصل از وسایل نقلیه و بار ضربه ای ۸۰ سانتی متر است. در شکل (۸) بیشترین نیروی قائم اعمال شده، در مرز قرار گیری لوله در کف با لایه خاک بستر (خاک سرندی) اعمال می شود.



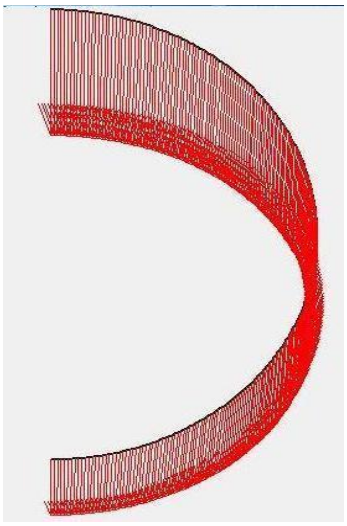
شکل ۸ – توزیع تنش های موثر قائم در پوسته جدار لوله

توصیه می شود برای کاهش بار وارد بر مجرا ترانشه ای با عرض بزرگتر از عرض خارجی مجرا و عمق بزرگتر از عمق مورد نیاز حفر و سپس کف ترانشه را با مصالح نرم با قابلیت فشردگی زیاد تا تراز بستر مجرا پر شود.

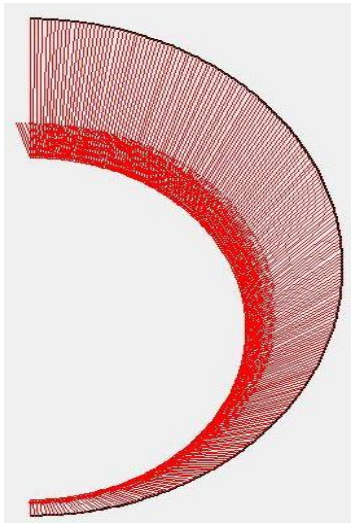
در مجاری انتقال آب پدیده خوردگی جدار داخلی بیشتر در مورد فاضلاب رو ها اتفاق می‌افتد. بدلیل اثر اکسیداسیون ترکیبات معدنی و آلی گوگردی فاضلاب توسط باکتری های بی هوازی، گاز سولفید هیدروژن تولید و در نهایت با برخورد به جدار داخلی مرطوب تبدیل به اسید خورنده سطح، اسید سولفوریک می‌شود. این پدیده بیشتر در مورد فاضلابروهای از جنس بتن و برای حالتی که لوله در زیر سطح ایستابی مستقر شده با سرعت خورندگی برابر ۳ میلی متر در سال منظور می گردد [۸].

در مورد لوله فولادی و مقطع مورد نظر با توجه به اینکه بالای سطح ایستابی قرار داشته و آب داخل لوله نیز فاقد ترکیبات معدنی بوده و میزان خوردگی براساس نشریه ۱۸۵ (منبع ۱)، به طور میانگین کمتر از ۰/۰۵ میلی متر در سال می‌باشد. با توجه به عمر ۳۰ ساله پروژه این میزان برابر ۱/۵ میلی متر بدست می‌آید.

در لوله های انعطاف پذیر خاصیت انعطاف پذیری طبیعی لوله اجازه مقابله با تنش های ایجاد شده را می دهد. در مقابله با تنش ها، هم انعطاف پذیری طولی و هم انعطاف پذیری قطری لوله از اهمیت خاصی برخوردار است. در شکل های (۱۰و۹) با تغییر در درجه صلبیت لوله فولادی در مدل پلاکسیس به بررسی تغییرات جابجایی در راستای قائم پرداخته شده است.



شکل ۹ – جابجایی قائم در لوله با انعطاف پذیری بیشتر



شکل ۱۰ – جابجایی قائم در لوله با انعطاف پذیری کمتر

توزیع جابجایی کل در شکل های بالا نشان می دهد که با احتساب بار خارجی وارده، اگر درجه انعطاف پذیری لوله فولادی را حدود ۱۰٪ از حد معیار بیشتر شود، جابجایی در حدود ۱۵ برابر نسبت به حالت با انعطاف پذیری کمتر بر طبق نتایج مدل افزایش خواهد یافت. از نظر طراحی سازه ای در مدل ضخامت جدار ۱۲ میلی متر در برابر بارگذاری های اصلی مورد بررسی قرار گرفت و این مقدار مقاومت مطلوبی در برابر بارهای اعمال شده نشان داد. انتخاب این ضخامت با احتساب خوردگی جدار در طراحی عمر پروژه برابر ۱۳/۵ میلی متر بدست می‌آید. این مقدار با ضخامت توصیه شده کارخانه سازنده که برابر با ۱۵ میلی متر بود، ۱/۵ میلی متر اختلاف دارد.

برای احتساب حد اطمینان مجاز و احتساب بارهای جزئی که عموماً در طراحی مجاری آب بر زیرزمینی لحاظ نمی‌شود، به ضخامت جدار ۱/۵ میلی متر افزوده شده و مقدار ضخامت ۱۵ میلی متر توصیه می‌شود. همچنین می‌توان از ورق پلی اتیلن به ضخامت ۱ میلی متر در پوشش داخلی استفاده و سطح با این ورق اندود شود، تا با توجه به خاصیت مقاوم این نوع پوشش از خوردگی کل جدار که در بالا ذکر شد، جلوگیری کرده و جایگزین مقدار ۱/۵ میلی‌متری شود که در طراحی برای مقدار خوردگی کل در نظر گرفته شد.

۴. نتیجه‌گیری

بارهای ناشی از تغییرات دمای محیط، تغییر رطوبت در مجاری آب بر زیرزمینی، بارهای ناشی از فشار ریشه های گیاهان و درختچه ها و همچنین بارهایی که از نشست نسبی سازه هایی که مجاری به آن ها متصل می شوند را می توان جزء دسته بارهای اضافی نامید، که از مقادیر خاصی و فرمول های یکسانی تبعیت نکرده و بسته به موقعیت و شرائط کارگاهی اجرا متغیر می باشند. در بررسی های خاص در مورد چگونگی رفتار یک جزء از سیستم لوله های مدفون، بهتر است که تا حد امکان این دسته بارها را نیز مورد لحاظ قرار داد. 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]. فشار آب نابایستی بیش از فشار اسمی لوله که آن را تحت تنشی بیش از تنش مجاز خود قرار می دهد و در صورت تداوم و یا تکرار، منجر به شکست لوله می گردد، لحاظ گردد.

ضخامت جدار طبق آین نامه طراحی کارخانه سازنده ۱۵ میلی متر و برابر با مجموع بارگذاری کل و بارهای اتفاقی و همچنین خوردگی جدار فرض شد. عمق ترانشه لوله گذاری تابع وضعیت زمین، عمق یخ زدگی در منطقه اجرای کار، نوع و قطر لوله، بارهای وارده به لوله و سرانجام ملاحظات فنی و هیدرولیکی برای نصب لوله خواهد بود. 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.

با توجه به اهمیت خاکریزی در ترانشه، بهتر است اصول زیر در کارگذاری و اجرای لوله ها رعایت گردد :

- تأمین جایگاه و بستر مناسب برای لوله
- تأمین ایستایی بوجود آمده لازم بین لوله و دیوار ترانشه
- انتقال بارهای روی لوله به دیوار ترانشه و پی [۱۰].

روش اجزای محدود به خوبی توانست تا مدل را با کلیه خواص و پارامترهای مطرح شده اجرا کند. نرم افزار پلاکسیس نیز، در صورت اتخاذ المان های مناسب در جهت محاسبات و همچنین انتخاب تعداد گره های مناسب، در مورد تحلیل های مجرا های زیرزمینی و همچنین لوله های فولادی انتقال آب می تواند مدلی مناسب در تعیین تنش ها در خاک و سازه باشد.

اهمیت چگالی خاک(معیاری از درجه تراکم خاک) و تاثیر نوع آن در مشارکت در ظرفیت باربری مجاری زیرزمینی غیر قابل اغماض است. بنابراین از سویی برای افزایش ظرفیت باربری مطلوب و همین طور بهینه سازی اقتصادی اجرای طرح، همواره باید ترکیب مناسبی از مقاومت ذاتی مجرا، نوع بستر سازی و مصالح خاکریز مناسب اختیار شود.

۵. قدردانی

از جناب آقای مهندس محمدرضا اکبرزاده عضو محترم هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می گردد.

۶. مراجع

۱. نشریه ۱۸۵،" ضوابط طراحی سازه ای مجاری آب بر زیرزمینی بتنی ،" معاونت امور فنی و تدوین معیارها، سازمان برنامه و بودجه، چاپ اول، ۱۳۷۸.

۲. عباس سروش، جلال محمد پور، (۱۳۸۰)، " ارزیابی و تحلیل عددی اثر روباره کم بر پایداری ژئوتکنیکی تونل های تحت فشار ،" مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی سازه های هیدرولیکی، جلد اول، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۰.

۳. محمود وفائیان، (۱۳۸۲)، " الگوی دگرشکلی های خاک بر اثر احداث تونل دایره ای در آن،" مجله استقلال، سال ۲۲، شماره ۲، اسفند ۱۳۸۲,

۴. رضا آل خمیس، سعید کریمی نسب، فرزاد آریانا (۱۳۸۵)، " بررسی تاثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جدار،" مجله آب و فاضلاب، شماره ۶۰، صفحه۸۸- ,۷۷،۱۳۸۵

5.Junsuk Kang, Frazier Parker, Chai H. Yoo., (2008), "Soil–structure interaction for deeply buried corrugated steel pipes- Part II: Imperfect trench installation ", Engineering Structures Journal, 30, pp: 588–594.

6.Istemi F. Ozkan, Magdi Mohareb., (2009), "Moment resistance of steel pipes subjected to combined loads", International Journal of Pressure Vessels and Piping, 86, pp: 252–264.

7.Chia-Cheng Fan, James H. Long., (2005), "Assessment of existing methods for predicting soil response of laterally loaded piles in sand", Computers and Geotechnics, 32, pp: 274–289.

۸. تائبی، خدادادی، حکمتیان، معمارپور، (۱۳۷۹)" برآورد سرعت خوردگی فاضلابروهای بتنی (مطالعه موردی: شبکه جمع آوری فاضلاب اصفهان) " ، پنجمین کنفرنس بین المللی عمران.

9.Lofgern,R.N, , 1968 "*Analysis of Stress Causing Land Subsidence.",* Goel Surv, Vol 600-B, pp: 219-225.

۱۰. نشریه ۱۱۷، " مبانی و ضوابط طراحی شبکه های آبرسانی شهری " وزارت نیرو، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، شماره ۳، چاپ اول، ۱۳۷۱.