

بررسی عملکرد لوله GRP مدفون با کمک روش اجزاء محدود و بهره مندی از استاندارد AWWA M45

روزبه اقا مجیدی^۱

۱- گروه عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

چکیده

در مقاله‌ی حاضر آنالیز سازه‌ای لوله‌ی مدفون GRP با روش دستورات عمل آئین نامه AWWA-M45 و نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS مورد بررسی قرار گرفته است. لوله‌های GRP با اقطار و کلاس فشاری و سفتی متفاوت بر اساس تکنولوژی تولید فراتک و شرایط نصب در خاک‌ها با ویژگی‌های متفاوت و شرایط دفنی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همچنین شرایط مختلف عملکردی از جمله سطح آب زیرزمینی بالا نیز مورد توجه قرار گرفته است. مدل رفتاری موهر-کولمب جهت مدلسازی خاک اطراف لوله استفاده شده است. اثرات بار ترافیکی نیز به عنوان یک عامل بارگذاری خارجی روی لوله‌ها بر اساس استاندارد راه ایران در تحلیل مورد نظر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل انجام شده، ارزیابی میزان دوپهنی ایجاد شده در عمق دفن‌های خط لوله می‌باشد. به منظور صحت سنجی نتایج ارائه شده از تحلیل دستورات عمل AWWA-M45 آنالیز مجدد توسط نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS انجام شده است. با توجه به مطالعه انجام شده روی حالت‌های مختلف از نصب مدفون لوله‌های GRP حساسیت و صلاحیت آنالیز سازه‌ای لوله‌های مدفون GRP به کمک روش ارائه شده در دستورات عمل AWWA-M45 مورد ارزیابی و صلاحیت سنجی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: AWWA-M45، لوله‌ی مدفون GRP، دوپهنی لوله، تحلیل اجزاء محدود

مقدمه

طراحی‌های خطوط لوله انتقال سیال، پدیده مذکور و مدل‌سازی آن مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. لذا برای رفع این مشکل، پژوهش حاضر ارائه گردیده است. لوله‌ها، بعضاً در معرض بارهای ترافیکی سنگین و همچنین فشار داخلی زیاد و سطح آب زیر زمینی بالا قرار می‌گیرند که ممکن است به صدمات اساسی در آنها منجر شود. توانایی لوله‌ها در جذب انرژی بار وارده و تبدیل آن به تغییر شکل‌های خمیری یکی از موارد مورد توجه در بسیاری از کاربردهای مهندسی می‌باشد. علاوه بر این، پاسخ خطوط لوله نفت و گاز تحت بارهای جانبی، که بوسیله ابزارهای کششی نظیر لنگر کشتی ایجاد می‌شود دارای اهمیت فراوانی است، زیرا

پدید آمدن مشکلات ناشی از تاثیر نیروهای خارجی وارده بر لوله‌ها در شریان‌های اصلی انتقال و توزیع سیالات سالانه خسارات زیادی را به شرکت‌های آب و فاضلاب و نفت وارد می‌سازد. بنابراین تحلیل نیروهای وارده از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در استقرار لوله در ترانشه، مصالح و بافت پیرامونی لوله در اثر وزن خاک و بار ترافیک و سایر عوامل محیطی 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

استفاده از روش اجزای محدود را مورد مطالعه قرار دادند (حضرتی، فیوض و کشاورز، ۱۳۹۲). در مقاله حاضر رفتار خطوط لوله مدفون GRP با استفاده از روش‌های اجزای محدود و دستورالعمل راهنمای AWWA-M45 مورد مطالعه قرار گرفته است. تأثیرات بارهای ناشی از وزن خاک در عمق‌های مختلف و بار ترافیک به عنوان بار خارجی بر روی رفتار لوله‌های مدفون GRP بررسی شده است. همچنین تأثیر سطح آب زیرزمینی روی رفتار لوله‌های مدفون بررسی شده است. نتایج استخراج شده شامل میزان تغییر قطر لوله تحت بارگذری و عمق دفن‌های مختلف می‌باشد. نتایج حاصل از مدلسازی در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS تطابق خوبی را با راهنمای AWWA-M45 نشان می‌دهد.

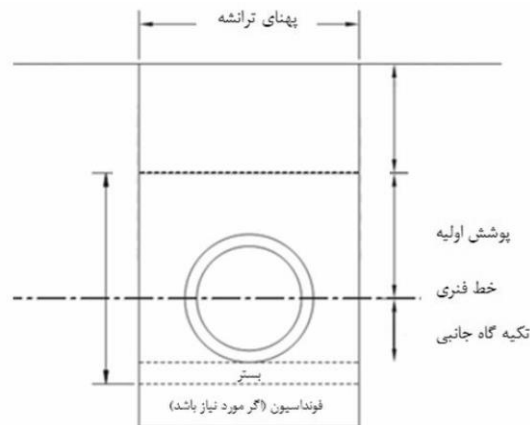
مبانی نظری پژوهش

بهترین مقاومت در برابر خوردگی و بسپاری دیگر از مزایای لوله‌های GRP در صورتی برآورده خواهند شد که نصب لوله صحیح انجام پذیرد. نصب لوله‌های GRP باید به گونه‌ای باشد که لوله به همراه مصالح خاکی پیرامون آن، سیستم کارآیی را تشکیل بدهد. بر طبق استاندارد نصب لوله‌های GRP ابتدا باید بستر لوله آنقدر کوبیده شود تا سطحی صاف و همتراز در کف ترانشه ایجاد کند. سپس لوله روی بستر قرار گرفته و حداقل تا ۳۰ سانتی متر بالای تاج آن با خاک جانشین مناسب و از ۳۰ سانتی متری بالای تاج لوله تا سطح زمین با خاک محلی پوشانیده می‌شود. در شکل ۱ به صورت شماتیک روش نصب لوله‌ها نشان داده شده است.

می‌تواند موجب آسیب‌های ناگهانی و جدی شود. خطوط لوله همچنین می‌توانند در معرض بارهای جانبی بر اثر سقوط تجهیزات سنگین حفاری قرار گیرد (عرب‌زاده و زین‌الدینی، ۱۳۸۹). پاسخ دو بعدی لوله-های فلزی تحت بارهای جانبی فشاری، نخستین بار در سال ۱۹۶۳ میلادی به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفت و هدف از آن بررسی استفاده از لوله به عنوان جذب کننده فتری بود. در کارهای مذکور، بار فشاری بوسیله صفحات موازی صلب به لوله وارد می‌شد و در طول لوله ثابت بود. حل تحلیلی بر مبنای مقطع عرضی چهار مفصلی صلب-خمیری بوده است (Burton & Craig, 1963). ردی و همکارانش در ادامه تحقیقات بیشتری را انجام و هندسه مقطع را تغییر دادند، آنها در تحقیق خود علاوه بر کارهای قبلی اثر سخت شوندگی کرنشی را نیز در معادلات لحاظ کردند (Reddy & Reid, 1979). بررسی رفتار خط لوله مدفون تحت تأثیر حرکت گسل برای اولین بار به وسیله نیومارک^۲ و هال در سال ۱۹۷۵ صورت گرفت، که در روش خود از یک راه حل تقریبی برای بررسی رفتار لوله تحت حرکت گسل استفاده کردند (Newmark & Hall, 1975). ونگ و یه در سال ۱۹۸۵ به منظور اصلاح کار نیومارک و هال سختی خمشی لوله را در نظر گرفتند (Wang & Yeh, 1964). در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش اجزای محدود رفتار لوله‌های مدفون تحت حرکات تحمیلی پایدار زمین را با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و لوله مورد بررسی قرار گرفت (Kokavessis & Anagnostidis, 2006). حضرتی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ پاسخ مکانیکی خط لوله مدفون در خاک تحت تأثیر حرکت گسل با

1- Reddy

2- Newmark & Hall



شکل ۱. روش نصب لوله‌های GRP در ترانشه

مختلف استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات لوله‌های مورد بررسی در این پژوهش نشان داده شده است. خواص مکانیکی خاک مورد نیاز برای شبیه سازی خاک بر اساس مدل رفتاری موهر-کلمب استخراج شده است (Bowles, 2000).

در این پژوهش طبق راهنمای AWWA-M45 از خاک جانشین نوع B و خاک محلی نوع ۳ برای مطالعه اندرکنش خاک و سیال استفاده شده است. مشخصات این خاکها مطابق جدول ۱ می‌باشد. برای بررسی رفتار لوله‌های مدفون از لوله‌های با قطرهای

جدول ۱. مشخصات خاک جانشین و خاک محلی مورد مطالعه

| شرح نوع مصالح | نوع خاک |
|------------------------------------|-----------------------|
| ماسه با مصالح ریز دانه کمتر از ۱۲٪ | خاک جانشین نوع B |
| متوسط از لحاظ پایداری | خاک محلی چسبنده نوع ۳ |

جدول ۲. مشخصات لوله‌های GRP مورد مطالعه

| مشخصات لوله‌های مورد مطالعه | قطر اسمی (میلی متر) | کلاس فشاری (بار) | سفتی اسمی (پاسکال) |
|-----------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| DN500-PN10-SN5000 | ۵۰۰ | ۱۰ | ۵۰۰۰ |
| DN1000-PN16-SN10000 | ۱۰۰۰ | ۱۶ | ۱۰۰۰۰ |
| DN2000-PN10-SN5000 | ۲۰۰۰ | ۱۰ | ۵۰۰۰ |

مواد و روش ها

دستورالعمل راهنمای AWWA-M45

یکی از روش‌های مرسوم در محاسبات و طراحی لوله‌های GRP استفاده از راهنمای AWWA-M45 می‌باشد. در این پژوهش از این راهنما جهت محاسبه نیروهای خاک و ترافیک وارده به لوله جهت محاسبه تغییر قطر عمودی لوله‌ها یا همان دوپهن شدگی استفاده شده است. بر اساس این دستورالعمل نیروی

روش پژوهش

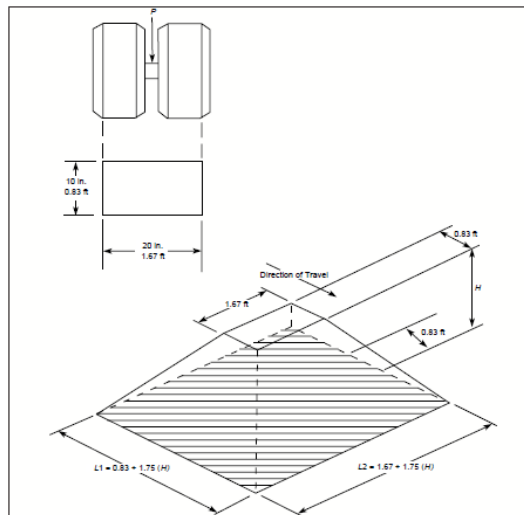
به منظور بررسی رفتار لوله‌های GRP مدفون در این مطالعه دو روش مورد استفاده قرار گرفته است. روش اول بر اساس دستورالعمل راهنمای AWWA-M45 و روش دوم مدلسازی اندرکنش خاک و لوله در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS می‌باشد.

بار ترافیک بار تقسیم نیروی وارد بر چرخها بر تصویر سطح چرخ استفاده می‌شود. با افزایش عمق طبق شکل ۲ سطح تصویر شده افزایش پیدا می‌کند و از تمرکز نیرو کاسته می‌شود.

وارد بر لوله ناشی از وزن خاک مطابق رابطه‌ی (۱) می‌باشد.

$$W_C = \gamma H \quad (۱)$$

در رابطه فوق γ وزن مخصوص خاک برحسب N/m^3 و H عمق دفن می‌باشد. به منظور محاسبه‌ی



شکل ۲. سطح اثر بار ترافیک طبق روابط راهنمای M-45

بلند مدت مرتبط می‌سازد و S_C فاکتور تکیه‌گاهی خاک است.

مدلسازی اندرکنش خاک و لوله در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS

در مدلسازی صورت گرفته در نرم افزار اجزای محدود از المان پوسته ۴ گرهی با نام S4R برای شبکه بندی لوله و از المان سه بعدی مکعبی با ۸ گره و نام C3D8R برای شبکه بندی خاک استفاده شده است. در شکل ۳ نحوه‌ی شبکه بندی خاک و لوله نشان داده شده است. در شکل ۴ نیز نحوه‌ی اعمال شرط مرزی نشان داده شده است.

$$L_1 = 1.75H + 0.253 \quad (۲)$$

برای عمق دفن‌های کمتر از ۰/۷۵۶ متر:

$$L_2 = 1.75H + 0.509 \quad (۳)$$

برای عمق دفن‌های برابر یا بیشتر از ۰/۷۵۶ متر:

$$L_2 = (1.75H + 13.31)/8 \quad (۴)$$

بار ترافیک به صورت رابطه‌ی ۵ بدست می‌آید.

$$W_L = P(I_f)/L_1L_2 \quad (۵)$$

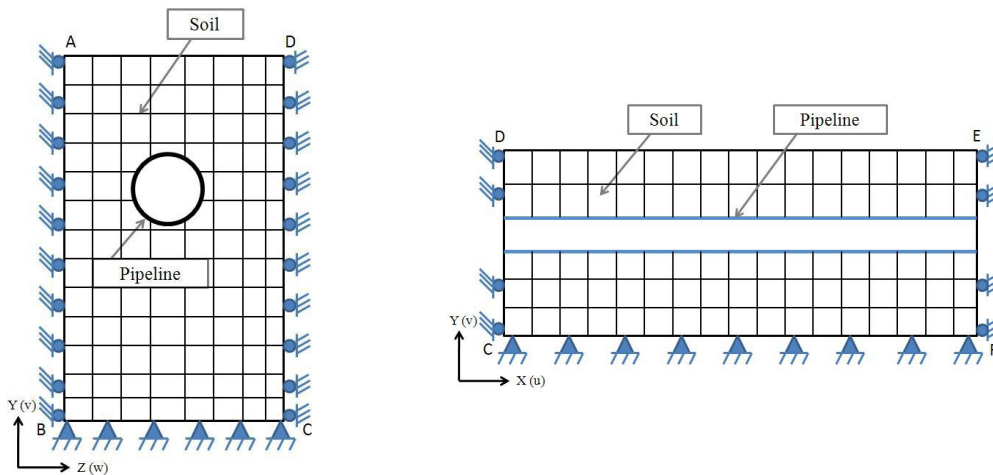
برای محاسبه‌ی دوپهن شدگی لوله با توجه به بارهای ترافیک و بار خاک از رابطه‌ی ۶ استفاده می‌شود.

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{K_X(W_L + W_C D_L)}{8SN + 0.061E'_B S_C} * 100 \quad (۶)$$

در این رابطه E'_B مدول خاک جانشین، D_L فاکتور تغییر شکل که تغییر شکل لحظه‌ای را به تغییر شکل



شکل ۳. شبکه بندی لوله و خاک اطراف لوله



شکل ۴. شرط مرزی اعمال شده در مدلسازی (Lee, 2010)

نتایج و بحث

در ادامه نتایج مربوط به تحلیل های المان محدود و نتایج استخراج شده از دستورالعمل راهنمای AWWA-M45 برای حالت های مختلف بارگذاری و سایز لوله آورده شده است. در جدول ۳ لوله ۳ سایز ۵۰۰ میلی متر در عمق دفن های ۱، ۱/۵ و ۵ متری براساس دو روش آورده شده است. در هر دو روش با افزایش عمق دفن تغییر قطر لوله افزایش می یابد که ناشی از وزن بیشتری از خاک روی لوله می باشد. هر دو روش تطابق خوبی با یکدیگر دارند که نشان دهنده صحت و دقت محاسبات دستورالعمل راهنمای

AWWA-M45 در محاسبات سازه های لوله های GRP می باشد. برای لوله های سایز ۱۰۰۰ میلی متر و ۲۰۰۰ میلی متر نیز نتایج مشابهی در جداول ۴ و ۵ به ترتیب آورده شده است. در جداول ۴ و ۵ نیز همانطور که دیده می شود بین نتایج استخراج شده از دستورالعمل راهنمای AWWA-M45 و روش اجزای محدود تطابق خوبی وجود دارد. اختلاف موجود بین این دو روش را می توان ناشی از خطای محاسبات عددی در روش اجزای محدود و فرضیات ساده شونده در راهنمای AWWA-M45 دانست.

جدول ۳. دوپهن شدگی DN500-PN10-SN5000 تحت وزن خاک

| FEM | AWWA-M45 | عمق دفن |
|-------|----------|---------|
| ٪۰/۶۲ | ٪۰/۶۶ | ۱ |
| ٪۰/۹۴ | ٪۰/۹۹ | ۱/۵ |
| ٪۳/۱۴ | ٪۳/۳ | ۵ |

جدول ۴. دوپهن شدگی لوله ی DN1000-PN16-SN10000 تحت وزن خاک

| FEM | AWWA-M45 | عمق دفن |
|-------|----------|---------|
| ٪۱/۳۷ | ٪۱/۴۹ | ۲ |
| ٪۲/۰۶ | ٪۲/۲۳ | ۳ |
| ٪۳/۴۳ | ٪۳/۵۵ | ۵ |

جدول ۵. دوپهن شدگی لوله ی DN2000-PN10-SN5000 تحت وزن خاک

| FEM | AWWA-M45 | عمق دفن |
|-------|----------|---------|
| ٪۱/۴۷ | ٪۱/۵۸ | ۲ |
| ٪۳/۷۲ | ٪۳/۹۶ | ۵ |
| ٪۵/۹۲ | ٪۶/۳۲ | ۸ |

بدون بار ترافیکی رابطه ی خطی بین تغییر قطر و عمق دفن لوله ها وجود دارد ولی در حالتی که بار ترافیکی وجود دارد، رابطه غیر خطی است که از نتایج جداول نیز مشخص است.

در جداول ۶ تا ۸ علاوه بر اثرات وزن خاک اثرات بار ترافیکی روی تغییر قطر لوله ها در عمق دفن های مختلف آورده شده است. در این حالت نیز تطابق خوبی بین نتایج هر دو روش اعمال شده وجود دارد. در حالت

جدول ۶. دوپهن شدگی لوله ی DN500-PN10-SN5000 تحت وزن خاک و بار ترافیک

| بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن | | بار ترافیک ۵۰ کیلونیوتن | | عمق دفن |
|--------------------------|----------|-------------------------|----------|---------|
| FEM | AWWA-M45 | FEM | AWWA-M45 | |
| ٪۱/۱۹ | ٪۱/۲۹ | ٪۰/۹۱ | ٪۰/۹۷ | ۱ |
| ٪۱/۳۱ | ٪۱/۴ | ٪۱/۱۴ | ٪۱/۲ | ۱,۵ |
| ٪۳/۱۷ | ٪۳/۴۱ | ٪۳/۱۶ | ٪۳/۳۶ | ۵ |

جدول ۷. دوپهن شدگی لوله ی DN1000-PN16-SN10000 تحت وزن خاک و بار ترافیک

| بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن | | بار ترافیک ۵۰ کیلونیوتن | | عمق دفن |
|--------------------------|----------|-------------------------|----------|---------|
| FEM | AWWA-M45 | FEM | AWWA-M45 | |
| ٪۱/۸۲ | ٪۱/۸۲ | ٪۱/۵۲ | ٪۱/۶۵ | ۲ |
| ٪۲/۲۳ | ٪۲/۴۴ | ٪۲/۱۶ | ٪۲/۳۳ | ۳ |
| ٪۳/۷۲ | ٪۳/۸۲ | ٪۳/۴۹ | ٪۳/۷۷ | ۵ |

جدول ۸. دوبهن شدگی لوله‌ی DN2000-PN10-SN5000 تحت وزن خاک و بار ترافیک

| بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن | | بار ترافیک ۵۰ کیلونیوتن | | عمق دفن |
|--------------------------|----------|-------------------------|----------|---------|
| FEM | AWWA-M45 | FEM | AWWA-M45 | |
| ٪۱/۸ | ٪۱/۹۴ | ٪۱/۶۴ | ٪۱/۷۶ | ۲ |
| ٪۳/۸ | ٪۴/۰۷ | ٪۳/۷۸ | ٪۴/۰۲ | ۵ |
| ٪۵/۷۱ | ٪۶/۴۰ | ٪۵/۹۸ | ٪۶/۳۷ | ۸ |

مشخص است وجود آبی زیر زمینی بالا باعث افزایش چگالی خاک و در نتیجه افزایش وزن روی لوله و تغییر قطر لوله می‌شود.

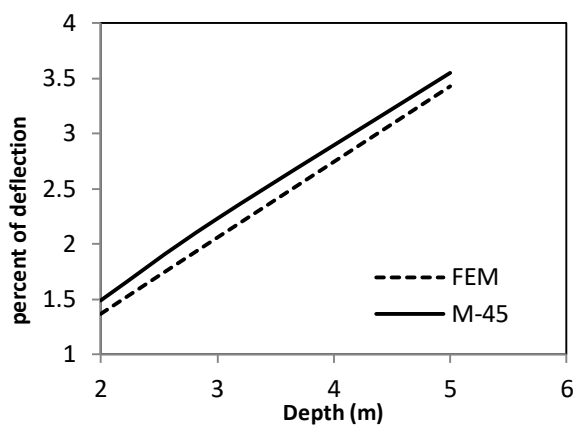
در جدول ۹ تاثیر آب زیر زمینی روی رفتار لوله‌ها مشاهده می‌شود. این نتایج برای حالتی که سطح آب زیر زمینی هم سطح زمین باشد استخراج شده است. همانطور که انتظار می‌رود و از نتایج جدول ۹ نیز

جدول ۹. دوبهن شدگی لوله‌ها در عمق ۵ متری تحت وزن خاک تحت شرایط آب زیر زمینی بالا

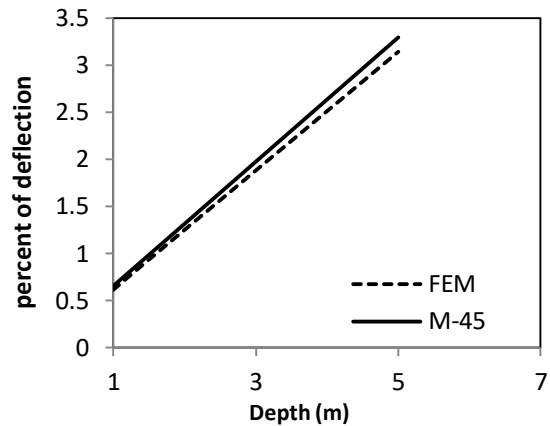
| FEM | AWWA-M45 | مشخصات لوله‌های مورد مطالعه |
|-------|----------|-----------------------------|
| ٪۳/۳۵ | ٪۳/۶۰ | DN500-PN10-SN5000 |
| ٪۳/۵۹ | ٪۳/۸۹ | DN1000-PN16-SN10000 |
| ٪۳/۸۴ | ٪۴/۰۶ | DN2000-PN10-SN5000 |

نمودارها نیز تطابق نتایج حاصل از دو روش دستورالعمل راهنمای AWWA-M45 و مدلسازی اجزای محدود مشخص است.

در شکل‌های ۵ تا ۷ نتایج درصد تغییر قطرهای لوله برای عمق دفن‌های مختلف و شرایط بدون بار ترافیک و به همراه بار ترافیک آورده شده است. در این

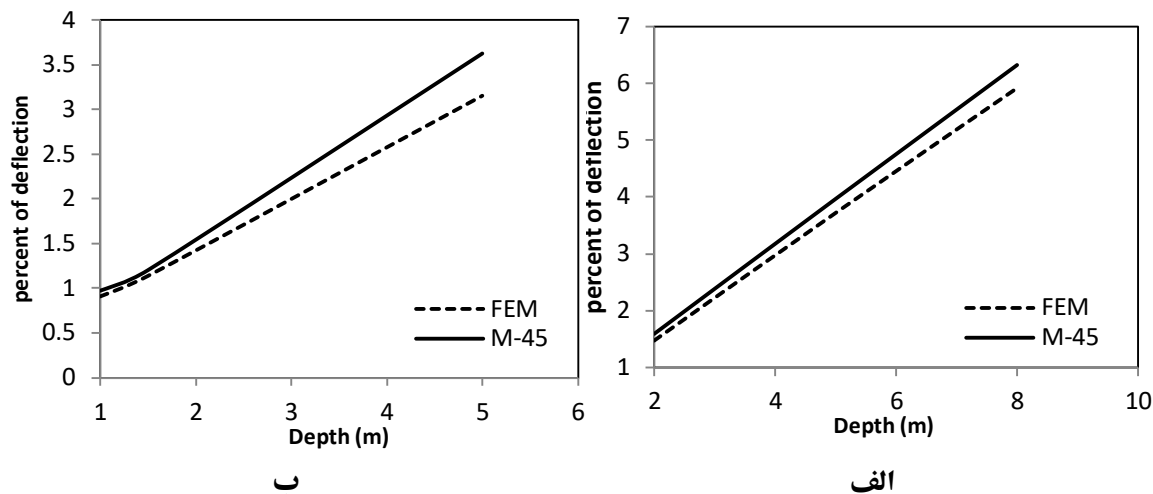


ب



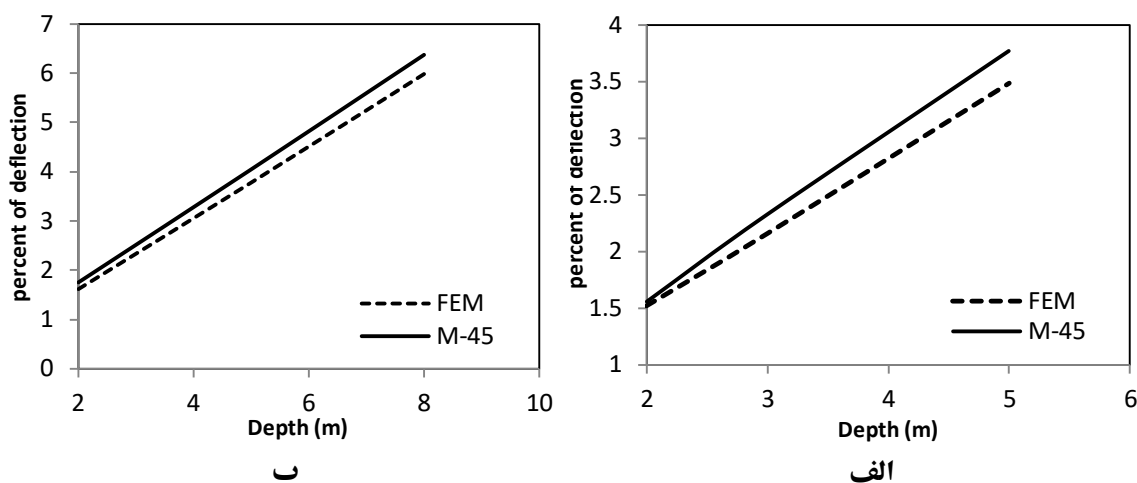
الف

شکل ۵. درصد تغییر قطر لوله‌های GRP تحت وزن خاک در عمق‌های مختلف (الف) سایز ۵۰۰، (ب) سایز ۱۰۰۰



شکل ۶. درصد تغییر قطر لوله‌های GRP.

(الف) سایز ۲۰۰۰ بدون بار ترافیک، (ب) سایز ۵۰۰ و بار ترافیک ۵۰ کیلونیوتن

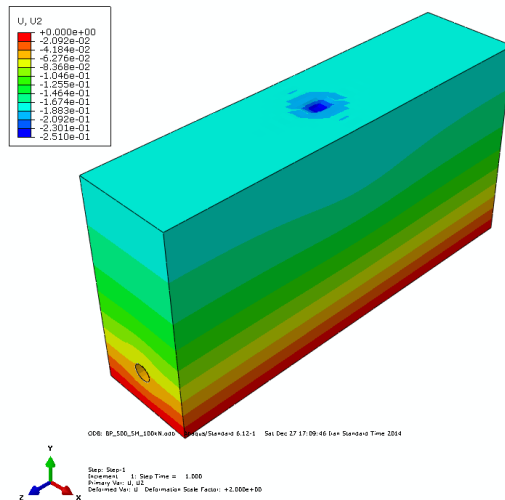


شکل ۷. درصد تغییر قطر لوله‌های GRP تحت وزن خاک و بار ترافیک ۵۰ کیلونیوتن.

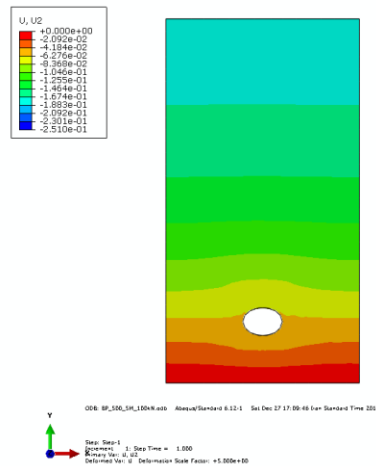
(الف) سایز ۱۰۰۰، (ب) سایز ۲۰۰۰

نمای دوبعدی تغییر شکل‌ها نشان داده شده است که دوبهن شدگی لوله در این حالت به وضوح دیده می‌شود.

در شکل ۸ کانتور تغییر شکل عمودی خاک و لوله تحت وزن خاک و بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتنی برای لوله‌ی با سایز ۵۰۰ میلی‌متر در عمق دفن ۵ متر مشاهده می‌شود. در شکل ۹ نیز برای همین حالت



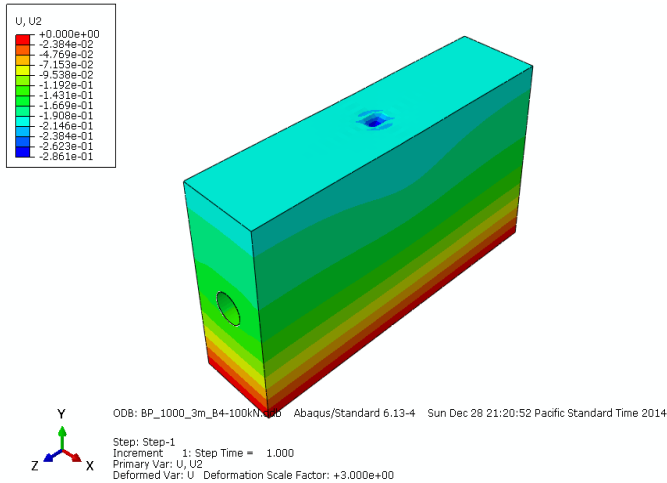
شکل ۸- جابجایی عمودی خاک و لوله ی DN500-PN10-SN-5000 در عمق ۵ متری و بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن با بزرگنمایی ۵ برابر



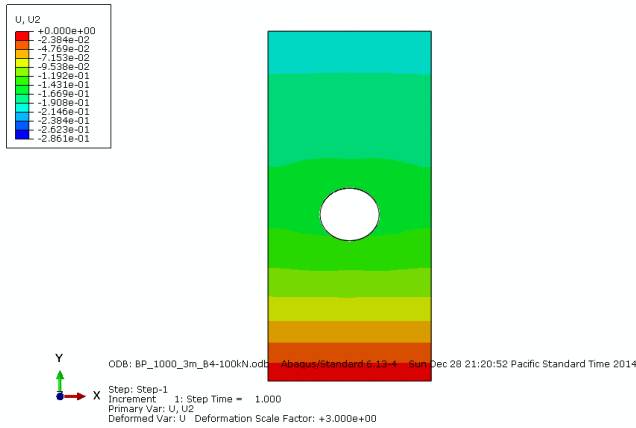
شکل ۹- جابجایی عمودی خاک و لوله ی DN500-PN10-SN5000 در عمق ۵ متری و بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن با بزرگنمایی ۵ برابر

نمای دوبعدی تغییر شکل‌ها نشان داده شده است که دو پهن شدگی لوله در این حالت به وضوح دیده می‌شود.

در شکل ۱۰ کانتور تغییر شکل عمودی خاک و لوله تحت وزن خاک و بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتنی برای لوله ی با سایز ۱۰۰۰ میلی متر در عمق دفن ۳ متر مشاهده می‌شود. در شکل ۱۱ نیز برای همین حالت



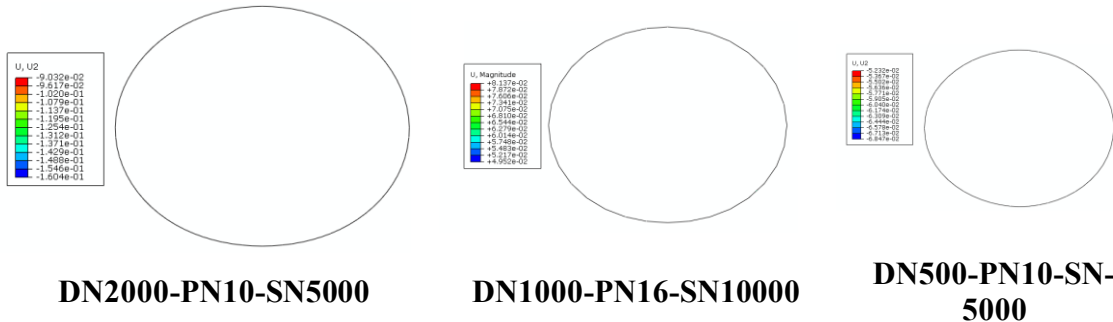
شکل ۱۰- جابجایی عمودی خاک و لوله ی DN2000-PN10-SN5000 در عمق ۳ متری و بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن با بزرگنمایی ۳ برابر



شکل ۱۱- جابجایی عمودی خاک و لوله ی DN2000-PN10-SN5000 در عمق ۳ متری و بار ترافیک ۱۰۰ کیلونیوتن با بزرگنمایی ۳ برابر

دلیل انعطاف پذیری بالا قابلیت تحمل این تغییر شکل-ها را دارا می باشد.

در شکل ۱۲ دو پهن شدگی مقطع سه لوله در عمق دفن ۵ متری نشان شده است. تغییر قطر لوله ها در این شکل به وضوح دیده می شود که لوله های GRP به



شکل ۱۲- دوپهن شدگی مقطع سه لوله در عمق دفن ۵ متری با بزرگنمایی ۳ برابر

نتیجه گیری

خوب روش مرسوم طراحی لوله‌های مدفون GRP بر اساس راهنمای AWWA-M45 با روش اجزای محدود می‌باشد. نتایج نشان دهنده‌ی رابطه‌ی خطی تغییر قطر لوله با عمق دفن در عدم حضور بار ترافیکی و رابطه‌ی غیر خطی در حضور بار ترافیکی است. وجود سطح آب زیر زمینی بالا باعث افزایش تغییر قطر لوله می‌شود، البته در این حالت باید تمهیدات لازم برای جلوگیری از شناور شدن لوله در نظر گرفته شود.

در این پژوهش رفتار لوله‌های GRP مدفون در خاک تحت عمق دفن‌های مختلف در حضور بار ترافیکی و فشار داخلی لوله مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله همچنین تاثیر سطح آب زیر زمینی بالا روی رفتار لوله‌های مدفون بررسی شده است. به منظور تحلیل رفتار لوله‌ها از دو روش دستورالعمل راهنمای AWWA-M45 و مدل‌سازی اجزای محدود استفاده شده است. نتایج استخراج شده حاکی از تطابق

منابع

- ۱- بولز.جی، (۱۳۷۹)، تحلیل و طراحی پی، (ترجمه اردشیر اطمیایی)، تهران، نشر جویبار
- ۲- حضرتی، فریده، فیوض، علیرضا، کشاورز، امین، (۱۳۹۲)، "بررسی پاسخ مکانیکی خط لوله‌ی مدفون در خاک تحت تاثیر حرکت گسل امتداد لغز به روش اجزای محدود"، کنفرانس مهندسی عمران و توسعه‌ی پایدار، مشهد
- ۳- حمید عرب‌زاده، مصطفی زین‌الدینی. (۱۳۸۹)، "پاسخ عضو لوله‌ای تحت فشار در برابر بار جانبی و تحت اثر پارامترهای بستر خاک"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد
- 4- Burton RH, Craig JM. (1963). "An investigation into the energy absorbing properties of metal tubes loaded in the transverse direction". B.Sc. (Eng.) Report, University of Bristol, Bristol, U.K.
- 5- Kokavessis. N.K and Anagnostidis, G.S. (2006). "Finite element modeling of buried pipelines subjected to seismic loads: soil structure interaction using contact elements". Proceedings of the ASME PVP conference, Vancouver, BC, Canada.
- 6- Lee.H, (2010). "Finite element analysis of buried pipelines". M.Sc Thesis, University of Manchester, Manchester, England
- 7- Newmark. N. M and Hall, W. J. (1975). " Pipeline design to resist large fault displacement". Proceedings of U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Pp. 416-425.
- 8- Reddy TY, Reid SR. (1979). "On obtaining material properties from the ring compression test". Nuclear Engineering and Design, Vol.52, No.2, Pp.257-263.
- 9- Reid SR, Bell W. (1978). "Influence of strain hardening on the deformation of thin rings subjected to opposed concentrated loads". International Journal of Solids and Structures, Vol.18, No.8, Pp.643-658.
- 10- Wang.L. R. L and Yeh, Y. A. (1985). "A refined seismic analysis and design of buried pipeline for fault movement". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.13, No.1, Pp. 75-96.

