Archive of SID

اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار

تهران - ۸ اسفندماه ۱۳۹۲

# بررسی عملکرد لوله های انعطاف پذیر در خاکهای اشباع با تمرکز روی پارامتر سفتی

**علی امین زاده**

**مدیر برند و تحقیقات بازار شرکت فراسان، ali01@farassan.org**

**معصومه فریدونپور**

**کارشناس واحد برند و تحقیقات بازار شرکت فراسان**

## چکیده

بررسی بازخور روی شبکه های اصلی زهکشی اجرا شده با لوله های انعطاف پذیر نشان نشان دهنده ی، عمر کوتاه برخی از انواع این لوله ها و شکستگی تحت تاثیر نیروی ناشی از شناوری می باشد. هدف از این مقاله بررسی تئوری علت وقوع شکستگی است. با توجه به معادلات موجود پارامتر سفتی کلیدی ترین نقش را در کارایی لوله های انعطاف پذیر دارد. از بررسی حدود یکصد پروژه ی انجام شده در سراسر ایران شرایط معمول اجرا برای چنین خطوطی استخراج شد و کارایی انواع لوله های انعطاف پذیر در شرایط استخراج شده به وسیله ی معادلات موجود محاسبه شد. از مقایسه ی نتایج، شرایط اجرای بهینه برای لوله ها محاسبه گردید. سپس، با در نظر داشتن بحرانی ترین شرایط، یعنی خاک اشباع روی لوله، عمق دفن بهینه برای حصول عمر تئوری بلند مدت برای جنسهای مختلف لوله های انعطاف پذیر از طریق حل عددی معادلات مربوط استخراج شد.

**واژه های کلیدی:** لوله های انعطاف پذیر، فایبرگلاس، Bi Axial، Uni Axial، PVC، پلی اتیلن، خاک اشباع.

## مقدمه

ساختار یک شبکه ی زهکشی از لوله های متخلخل و لوله های زهکش اصلی منتقل کننده ی آب تشکیل شده است. شبکه های دارای لوله های متخلخل به گونه ای انتخاب و طراحی می شوند که سطح آب زیر زمینی در اطراف خود را کنترل کنند و سطح آب در این نوع لوله ها قاعدتاً نباید روی لوله، بالاتر از تاج لوله باشد.

اما برای خطوط اصلی انتقال دهنده احتمال قرار گیری در خاک اشباع وجود دارد. در طراحی این خطوط، رفتار توام بارش و سیلاب در داخل شبکه مد نظر قرار گیرد و امکان دارد خاک در حالت اشباع قرار گیرد. از لوله های صلب و انعطاف پذیر به



www.SID.ir

Archive of SID

عنوان گزینه هایی برای اجرای شبکه های آبیاری و زهکشی به عنوان مجاری لوله ای نام برده می شود. جنسهای پیشنهادی لوله های انعطاف پذیر فایبرگلاس، پلی اتیلن و PVC عنوان شده اند و تصریح شده است که در مسیرهای موازی با خطوط تراز به دلیل تقاطع با سیلاب رودها و دره ها امکان ایجاد خاک اشباع وجود دارد. تاکید بر استفاده از مسیرهای مستقیم و تاکید بر هزینه ی کمتر در ساخت شبکه نیز منوط به بررسی شرایط زمین دانسته شده است. برخی مراجع اشاره ی خاصی به بحث عملکرد در خاکهای اشباع ندارند و بیشتر روی مدیریت شبکه از نظر توزیع تمرکز دارند. شمسائی (۱۳۹۱)، نشریه ۵۱۹ (۱۳۸۸)، نشریه ۱۰۹ (۱۳۷۳)، نشریه ی ۲۸۱ (۱۳۸۳).

بیشترین علل شکست لوله های پلاستیکی طراحی غیر اصولی خط لوله گزارش شده است که البته در آن فقط لوله های پلاستیکی ترموپلاستیک مد نظر قرار داشته اند و بحثی از لوله های GRP به میان نیامده است. با در نظر گرفتن مکانیزم تحمل بار، می توان گفت طراحی نامناسب بر اثر عدم در نظر گرفتن یک یا هر سه عامل زیر به وجود می آید: انتخاب سفتی نامناسب بدون توجه به جنس خاک، انتخاب خاک جانشین نامناسب و بی توجهی به فشرده سازی آن (compaction) و بی توجهی به سطح آبهای زیر زمینی و عدم دخالت آن در برآورد سفتی مناسب برای لوله. کوشکی (۱۳۸۸).

لوله های پلاستیکی به دو گروه تقسیم می شوند: ترموپلاستیک (thermoplastic) و ترموست (thermoset). لوله های پلی اتیلن و PVC جزو لوله های ترموپلاستیک و لوله های فایبرگلاس از هر دو کلاس Uni Axial و Bi Axial جزو لوله های ترموست طبقه بندی می شوند. با تغییر دمای محیط، خصلتهای لوله های ترموپلاستیک دچار تغییر می شود یعنی با گرم شدن، نرم شده و مقاومت آنها در برابر فشار و سفتی آنها کاهش می یابد و با سرد شدن نیز حالتی ترد و شکننده می گیرند. اما در مقابل، خصلتهای لوله های ترموست در محدوده ی دماهای متعارف شبکه های آبیاری زهکشی و گرم و سرد شدن هوا تغییری نخواهند کرد. Nayyar (2000)، فراسان-لوله های GRP (۱۳۹۲)، آب حیات (؟)، وینوپلاستیک (؟).

برای لوله های انعطاف پذیر، دستورالعمل های طراحی AWWA بر مبنای تئوری مارستون و با توجه به فرمول آیوا (Modified Iowa formula) رویکرد زیر را برای بررسی مقاومت لوله در برابر بارهای خارجی پیشنهاد می دهند: ابتدا بایستی حداکثر مقاومت لوله در برابر Buckling برآورد شود. سپس مجمع بارهای وارد به لوله در حالت خاک اشباع برآورد شود. چنانچه این بار از مقاومت لوله در برابر buckling بیشتر باشد، طراحی خط توصیه نمی شود. Moser (2008), AWWA M23 (2002), AWWA M45 (2005), AWWA M55 (2006).

نکته ی مهم این است که در این حالت سفتی (stiffness) لوله اساسی ترین نقش را در بقا خط لوله دارد کمیتی که روی پارامتر سفتی بیشترین تاثیر را دارد مدول الاستیسیته ی لوله می باشد با صرفنظر از رویکرد تغییر مدول الاستیسیته ی لوله های ترموپلاستیک با زمان و ثابت در نظر گرفتن آن می توان چنین نتیجه گرفت که توصیه نشدن طراحی لوله در شرایطی که بار خارجی از قدرت تحمل Buckling لوله بیشتر باشد به معنای شکست آنی لوله ی پلی اتیلن، PVC یا فایبرگلاس نمی باشد بلکه این امر باعث کاهش طول عمر لوله می باشد. مطالعات قبلی نشان می دهد در شرایط طراحی نادرست، به جای عمر ۵۰ سال، عمر کاری لوله به زحمت به ۵ سال خواهد رسید. کوشکی (۱۳۸۸)، Moser (2008), AWWA M23 (2002), AWWA M45 (2005), AWWA M55 (2006).

**مواد و روشها**

هدف اصلی این مقاله بررسی تاثیر متقابل پارامتر سفتی لوله های انعطاف پذیر یعنی پلی اتیلن، PVC و فایبرگلاس تحت تاثیر وجود خاک اشباع در اطراف آن است. برای لوله های یاد شده، رویکرد طراحی یکسان است. با فرض وجود جریان ثقلی در لوله، با صرفنظر از وجود خلا در خط، نیروی وارد به لوله $P_{exerted}$در حالت اشباع خاک اطراف لوله، به صورت زیر مدل شده است

$$P_{exerted} = \gamma_w h_w + (1 - 0.33\frac{h_w}{h})\gamma_s H \quad (1)$$



www.SID.ir

Archive of SID

که در آن $\gamma$ معرف وزن مخصوص با نیوتن بر متر مکعب است و پسوندهای w برای آب و s برای خاک می باشد. H معرف عمق دفن لوله بر حس متر و $h_w$ معرف تراز آب بالاتر از تاج لوله بر حسب متر می باشد.

برآورد مقاومت لوله در برابر buckling نیز در بین مراجع به کامل ترین شکل به صورت زیر عنوان شده است:

$$P_{buckling} = 0.264(0.149SN)^{0.33}(0.666\times 10^{6}M_s)^{0.67}\left(\frac{11.4}{11+{}^{D}/_{1000h}}\right) \quad (۲)$$

که در آن SN معرف سفتی لوله بر حسب کیلوپاسکال، D قطر لوله بر حسب میلیمتر و Ms مدول ترکیبی خاک می باشد. Ms تابعی از پارامترهای زیر می باشد:

$$M_s = f(E_{backfill}, E_{native}, B, D) \quad (۳)$$

که در آن E معرف مدول بر حسب مگا پاسکال و پسوندهای native معرف خاک محلی و backfill معرف خاک جانشین می باشند. B عرض ترانشه بر حسب متر و D قطر لوله بر حسب میلیمتر می باشد. با در نظر گرفتن پارامترهای یاد شده روند تعیین Ms با رجوع به جداول مرتبط، انجام محاسبات متعددی صورت می پذیرد که از ذکر آن در اینجا خودداری می شود AWWA M23 (2002), AWWA M45 (2005), AWWA M55 (2006).

اصولاً دستورالعملها و مراجع حد خاصی را برای عمق اجرای شبکه ی زهکشی ذکر نمی کنند اما از بررسی طرحهای انجام شده می توان شرایط ژئوتکنیکی معمول را برای چنین خطوطی استخراج نمود. از بین یکصد پروژه ی بررسی شده می توان عمق دفن را حداکثر ۲ متر در نظر گرفت. مهمترین مساله در انتخاب عمق دفن خط یخ زدگی می باشد. مدول خاک محلی نیز مابین ۱۰ تا ۴ مگا پاسکال متغیر می باشد که به طور متوسط می توان خاک محلی را از نوع SC4 در نظر گرفت. اجرای خاک جانشین (backfill) شرایط زیادی به پیمانکار مجری دارد. برای ایجاد شرایط یکسان، حداقل فشردگی (compaction) معادل با ۸۵٪ در نظر گرفته شده است که پایین ترین فشردگی است و بحرانی ترین شرایط را برای لوله ایجاد خواهد کرد. خاک جانشین نیز مخلوط معادل با SC3 در نظر گرفته شده است. قطر لوله های اجرا شده در شبکه های آبیاری زهکشی از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متغیر بودند. فشار کاری آنها اغلب زیر ۶ بار بود بنابراین خطوط به صورت جریان ثقلی در نظر گرفته شده اند و از وجود خلا و ضربه ی قوچ در لوله ها چشم پوشی شده است. فراسان-پروژه های آبیاری و زهکشی (۱۳۹۲)، نشریه ۵۱۹ (۱۳۸۸)، نشریه ۱۰۹ (۱۳۷۳)، نشریه ی ۲۸۱ (۱۳۸۳).

بررسی کاتالوگهای سازندگان لوله های یاد شده کلاسهای سفتی طبق جدول (۱) را برای لوله ها پیشنهاد می دهد. برای قطرهای مورد بحث از هر جنس حداکثر سفتی های قابل ارایه در نظر گرفته شده اند. هر چند لوله های پلی اتیلن و PVC در دونوع تحت فشار و فاضلابی (جریان ثقلی) موجود بودند برای شبیه سازی شرایط یکسان، تا حد امکان به دلیل سفتی بالاتر، از سفتی لوله های تحت فشار استفاده شده است. خاطر نشان می سازد برای استفاده از معادلات ۱ تا ۳، عدد سفتی بایستی طبق استاندارد ASTM و برحسب پاسکال یا کیلو پاسکال در معادلات منظور شود. برخی تولید کنندگان به جای بیان سفتی، کلاس سفتی را در کاتالوگها درج می کنند. در روند محاسباتی در این مقاله به این نکته دقت شده و تمامی سفتی ها بر اساس استاندارد ASTM مد نظر قرار گرفته اند. ASTM (2002)، فراسان-لوله های GRP (۱۳۹۲)، آب حیات (؟)، وینوپلاستیک (؟).



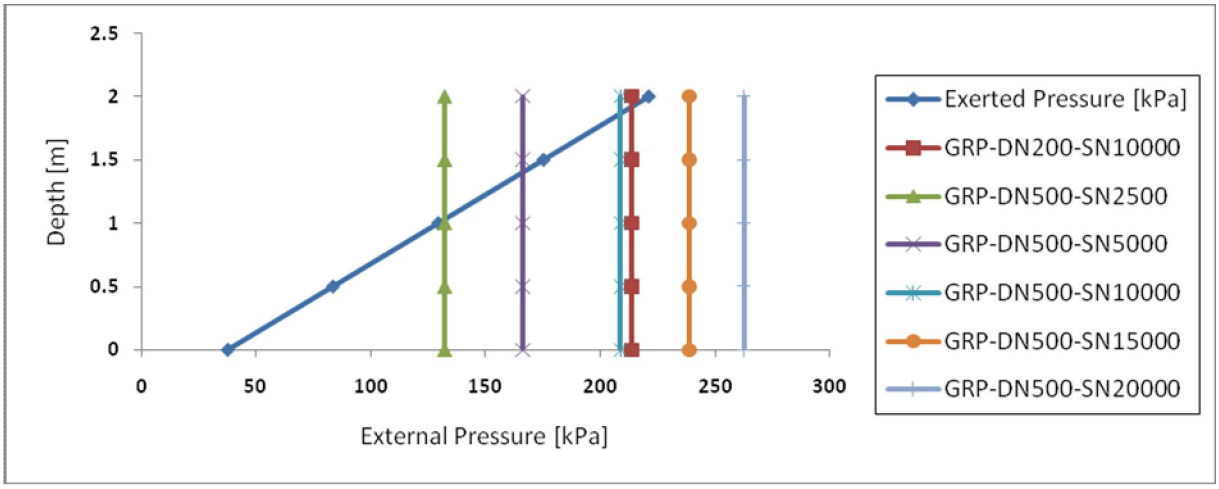
www.SID.ir

Archive of SID

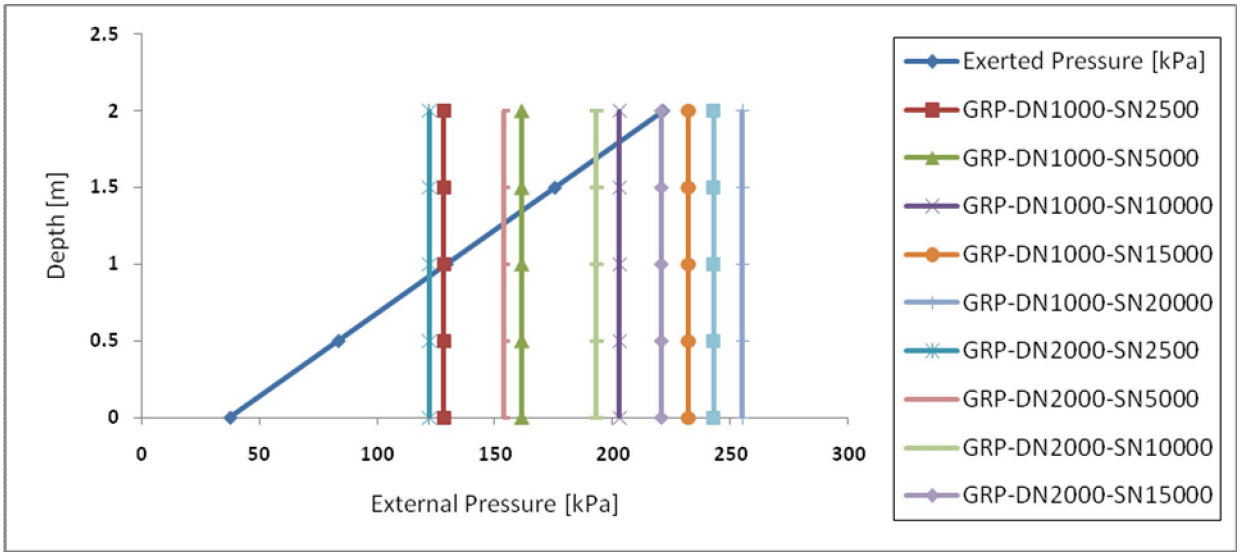
**جدول (۱): مشخصات لوله های بررسی شده**

| جنس | قطر [mm] | کلاسهای سفتی [kPa] | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| فایبرگلاس | ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ | ۱۲۴، ۲۴۸، ۴۹۶، ۷۴۴، ۹۹۲ | در دو کلاس Uni Axial و Bi Axial برای تمام قطرها وجود دارد. |
| پلی اتیلن | ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ | ۸، ۱۶، ۶۴ | قطر ۱۰۰۰ و بالاتر فقط به صورت جریان ثقلی وجود دارد. |
| PVC | ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ | ۲۰، ۱۶، ۶/۳ | حداکثر تا قطر ۱۰۰۰ تولید می شود. |

برای انجام محاسبات، عرض ترانشه به صورت استاندارد توصیه شده ی متعارف ۱/۷۵ قطر لوله در نظر گرفته شده بود. با استناد به معادله ی (۱) میزان فشار ناشی از خاک اشباع محاسبه شده و مشاهده شد که این فشار اعمالی، از عمق صفر تا ۲ متر به صورت خطی تغییر خواهد کرد. برای تمامی اقطار لوله های فایبرگلاس از کلاسهای Uni Axial و Bi Axial با توجه به کلاسهای سفتی متناظر با اقطار، حداکثر مقدار نیروی مجاز برای buckling محاسبه شده است. نتایج در شکلهای (۱) و (۲) نشان داده شده اند.




**شکل (۱): وضعیت نیروها برای لوله های GRP قطر ۲۰۰ و ۵۰۰ میلیمتر**



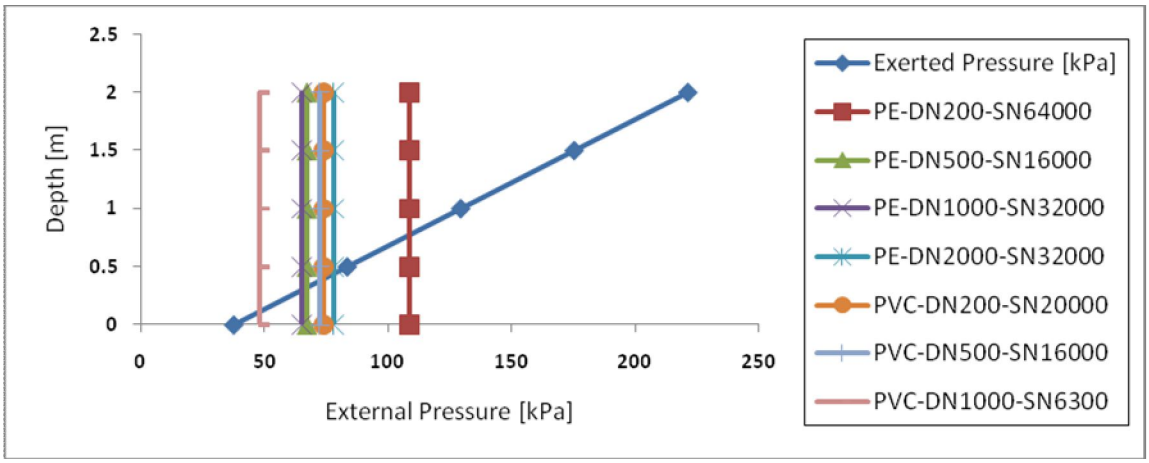



www.SID.ir

Archive of SID

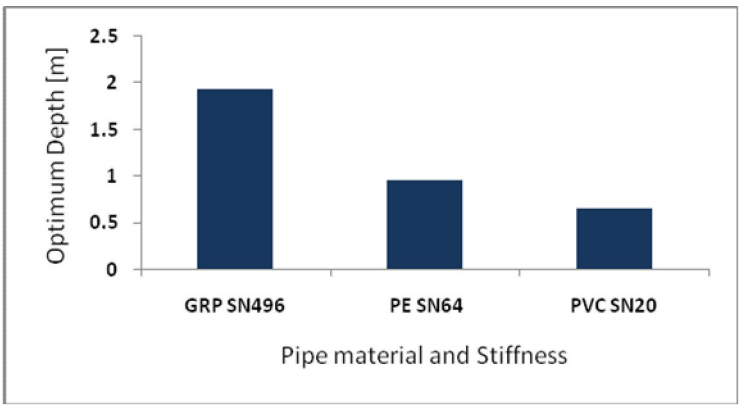
شکل (۲): وضعیت نیروها برای لوله های GRP قطر ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلیمتر

در شکلهای (۱) و (۲)، مقدار نیروی مجاز به صورت خطهای عمودی نشان داده شده اند و محل برخورد آنها با میزان تغییرات فشار وارد شده به وسیله ی خاک اشباع به لوله، حداکثر عمق مجاز دفن را نشان می دهد. با رویکرد یکسان، عملکرد لوله های پلی اتیلن و PVC را در برابر Buckling در خاک اشباع در شکل (۳) محاسبه و ارایه شده است.




شکل (۳): وضعیت نیروها برای لوله های پلی اتیلن و PVC قطرهای ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر

از آنجاییکه میزان مقاومت لوله در برابر buckling با تغییر عمق خاک تغییر خواهد کرد، هدف بعدی تعیین عمق بهینه کارگذاری در خاک اشباع بود. برای هر قطر و کلاس سفتی از جنسهای درج شده در جدول (۱)، طی یک برنامه در محیط QBasic معادلات (۱) تا (۳) به صورت عددی حل شدند و عمق دفن بهینه به دست آمد. نتایج در شکلهای (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده اند. عدد درج شده در جلوی SN در شکلهای یاد شده مقادیر سفتی بر اساس کیلوپاسکال می باشد.

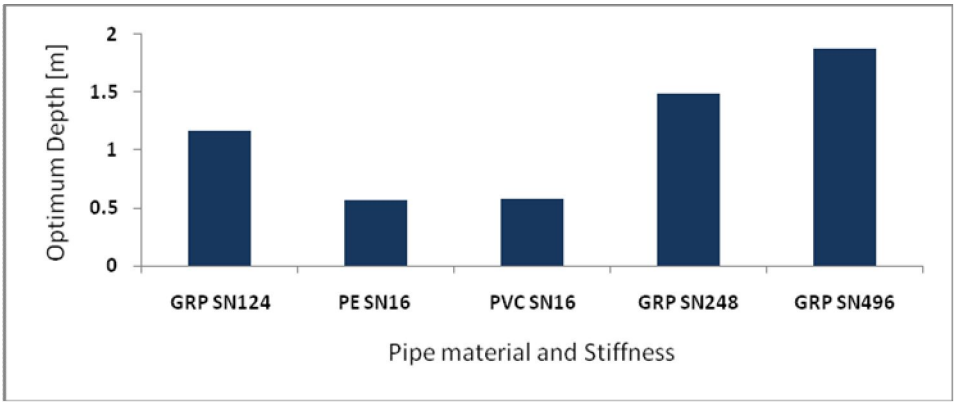



شکل (۴): عمق دفن بهینه برای قطر ۲۰۰ میلیمتر

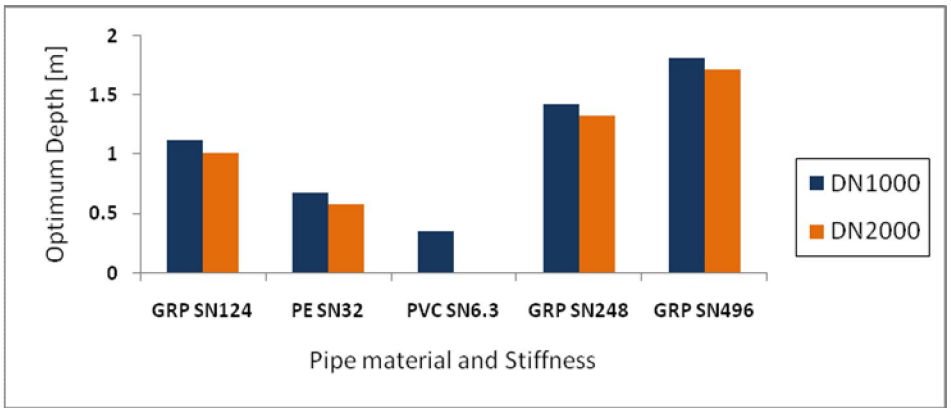


www.SID.ir

Archive of SID




**شکل (۵): عمق دفن بهینه برای قطر ۵۰۰ میلیمتر**



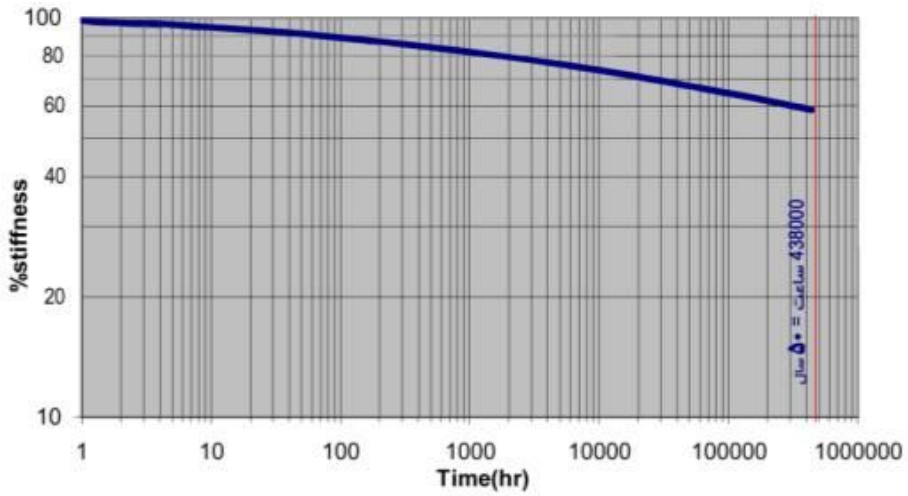

**شکل (۶): عمق دفن بهینه برای قطر ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلیمتر**

برای تفسیر شکلهای (۴) تا (۶)، نیاز به یک نمونه از گرافهای تغییرات سفتی لوله های انعطاف پذیر در بلند مدت نیز می باشد. یکی از خصیصه های اصلی لوله های پلاستیکی پایین بودن مدول الاستیسیته ی آنها و به عبارت دیگر انعطاف پذیری آنها است. به دلیل وجود اثرات ویسکوالاستیک، مدول لوله های پلاستیکی به ویژه لوله های ترموپلاستیک با گذشت زمان تغییر می کند هر چند عموماً بعد از گذشت ۱۰۰۰۰ (ده هزار) ساعت که معادل ۱۴ ماه است این پدیده وجود نخواهد داشت یا تاثیر آن کمتر می شود. مراجع توصیه می کنند برای در نظر گرفتن این تاثیرات، در محاسبات خصیصه های لوله از جمله مدول برای لوله های ترموپلاستیک تا حد ۸۰٪ کاهش یافته و سپس در محاسبات دخالت داده شود اما برای لوله های ترموست (لوله های GRP) چنین رویکردی توصیه نمی شود. نتیجه ی تست بلند مدت روی سفتی لوله های GRP در شکل (۷) نشان داده شده است. خاطر نشان می سازد رفتار تغییرات سفتی در لوله های پلی اتیلن و PVC تنها در صورتی به صورت کیفی قابل مقایسه با شکل(۷) می باشند که دمای محیط اجرای خط، ثابت و معادل با دمای متعارف آزمایشگاهی یعنی حدود ۲۵ درجه ی سانتیگراد در نظر گرفته شود Nayyar (2000)، Noll (2007)، AASHTO (1998) ، Cameron (2005).



www.SID.ir

Archive of SID




**شکل (۷): تغییرات سفتی لوله های GRP با گذشت زمان اخذ شده از فراسان-لوله های GRP (۱۳۹۲).**

**نتایج و بحث**

از مقایسه ی شکلهای (۱)، (۲)و (۳) مشاهده می شود که پارامتر سفتی، در تعیین مقاومت لوله نقش بسیار کلیدی ایفا می کند به نحوی که سفتی های پایین نظیر ۶۴۰۰۰ یا ۳۲۰۰۰ پاسکال، عمق دفن ایمن به حدود ۰/۷۵ متر کاهش پیدا می کند. برای سفتی ۶۳۰۰ پاسکال این عمق حتی به زیر ۰/۵ متر نیز می رسد. در مقابل، بدون در نظر گرفتن قطر، برای سفتی های بالا نظیر ۴۹۶۰۰۰ پاسکال، لوله تا عمق ۲ متر با وجود خاک اشباع در طرفین و بالای آن دارای مقاومت کافی می باشد. به طور کلی می توان گفت در زمینهایی که خاک به سرعت اشباع می شود و وقوع سیلاب و رواناب سطحی امکان دارد، سفتی های ۴۹۶۰۰۰ به بالا مطمئن ترین انتخاب هستند. عمق دفن ۲ متر را میتوان حداکثر عمق متعارف برای یک شبکه ی آبیاری یا زهکشی محسوب کرد اما با این وجود حداقل عمق دفن برای لوله ها ۵۰ سانتیمتر تعیین شده است AWWA M45 (2005).

با توجه به شکلهای (۱) تا (۳) هر چند به نظر می رسد قسمت اعظم کلاسهای سفتی برای کارایی بلند مدت در عمق دفن ۵۰ سانتیمتر مناسب نباشند اما به دلیل متغیر بودن بار وارد به لوله و تغییر مقاومت لوله در برابر buckling با عمق دفن، از روی شکلهای یاد شده نمی توان دقیقاً عمق دفن بهینه را مشخص نمود.

شکلهای (۴) تا (۶) که با حل عددی معادلات به دست آمده اند نشان می دهد که به جز کلاس سفتی ۶۳۰۰ پاسکال، سایر سفتی ها جوابگوی عملکرد در عمق بالای ۵۰ سانتیمتر در خاک اشباع هستند. چنانچه عمق دفن یک متر مد نظر باشد کلاسهای سفتی ۶۴۰۰۰ پاسکال با اغماض قابل استفاده هستند اما کلاسهای سفتی بالاتر نظیر ۱۲۴۰۰۰ تا ۹۹۲۰۰۰ بااطمینان خاطر می توانند استفاده شوند. کلاسهای سفتی بسیار بالا نظیر ۷۴۰۰۰ و ۹۹۲۰۰۰ تا عمق ۲ متر در وضعیت خاک اشباع مقاومت بسیار بالایی از خود نشان می دهند و حتی در اعماق بالاتر از ۲ متر نیز در خاکهای اشباع قابل استفاده هستند. به دلیل مشاهده ی این رفتار از لوله های یاد شده، نتایج محاسبات آنها در شکلهای (۴) تا (۶) گنجانده نشدند.

## نتیجه گیری

زیر بنای اصلی بررسی تئوریک انجام شده در این مقاله تئوری مارستون و فرمول آیوا است. هر چند این رویکرد، طبق تجربه برای خاکهای غیر اشباع محافظ کارانه تشخیص داده شده است اما برای خاکهای اشباع، با استناد به تحقیقات قبلی ارایه شده، به نظر می رسد این رویکرد چندان محافظ کارانه نباشد.



www.SID.ir

Archive of SID

سفتی لوله ی انعطاف پذیر اهمیتی حیاتی برای بقا لوله دارد. مکانیزم شکست بر اثر دوپهنی بیش از حد به صورت ناگهانی در لوله های اتعاف پذیر رخ نخواهد داد. بلکه اعمال بار بیش از مقاومت Buckling لوله باعث می شود لوله نسبت به عمر پیش بینی شده و اعلام شده از طرف سازنده، طول عمر بسیار پایین تری داشته باشد. با توجه به محاسبات انجام شده مشاهده می شود اعمال بار بیش از مقاومت buckling به لوله در خاکهای اشباع و سطح آب زیر زمینی بالاتر از تاج لوله بسیار محتمل است.

## مراجع


۱- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۳، ضوابط و معیارهای فنی شبکه های آبیاری و زهکشی: خدمات فنی دوران بهره برداری و نگهداری، نشریه ی شماره ی ۱۰۹.

۲- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۳، ضوابط عمومی طراحی شبکه های آبیاری و زهکشی، نشریه ی شماره ی ۲۸۱، دفتر استانداردها و معیارهای فنی.

۳- شرکت آب حیات، کاتالوگ لوله های پلی اتیلن تک جداره و کروگیت.

۴- شرکت فراسان، ۱۳۹۲، کاتالوگ پروژه های آبیاری و زهکشی.

۵- شرکت فراسان، ۱۳۹۲، کاتالوگ لوله های GRP فراتک.

۶- شرکت فراسان، ۱۳۹۲، کاتالوگ لوله های Bi Axial فراتک.

۷- شرکت وینو پلاستیک، کاتالوگ لوله های UPVC.

۸- شمسائی، ا.، ۱۳۹۱، هیدرولیک جریان آب در محیطهای متخلخل، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۹- کوشکی، ا.، ۱۳۸۸، آنالیز شکست در شبکه های لوله و اتصالات پلاستیک (تحلیل چند مورد شکست در ایران)، دومین سمینار ملی توسعه ی پایدار روشهای نوین آبیاری.

۱۰- معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی، وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیارهای فتی آب و آبفا، ۱۳۸۸، راهنمای برآورد رواناب در طراحی شبکه های آبیاری و زهکشی، نشریه ی ۵۱۹.

11- AASHTO, 1998, LRFD bridge design specifications, USA.

12- ASTM D2412, 2002, Standard Test Method for Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading.

13- AWWA M23 manual, 2002, PVC Pipes Design and Installation, AWWA, 2nd Edition.

14- AWWA M45 manual, 2005, Fiberglass pipe design, AWWA, 2nd Edition.

15- AWWA M55 manual, 2006, Polyethylene Pipes Design and Installation, AWWA.

16- Cameron D., 2005, Analysis of buried flexible pipes in granular backfill subjected to construction traffic, PhD, university of Sydney.

17- Jarvenkyla J., 1989, Thin-walled Thermoplastic pipes, 3, No.4.

18- Moser A.P., Folkman S., 2008, Buried Pipe Design, 3rd Edition, McGraw Hill.

19- Nayyar, M.L., 2000, Piping Handbook, 7th Edition, McGraw Hill.

20- Noll J., 2007 "Flexible pipes for culvert", Contech Inc.


**********



www.SID.ir