

بررسی لوله‌های پلی اتیلن چگالی بالا

چکیده

لوله‌های پلی اتیلن سنگین کاربری‌های بسیاری دارند. در این مقاله ضمن بررسی ساختار شیمیایی این دسته از لوله‌ها و ویژگی‌های آنها، به مقایسه این لوله‌ها با سایر لوله‌ها و اتصالات می‌پردازیم. در این رهگذر این لوله‌ها را با لوله‌های بتن مسلح، پی وی سی، چدن نشکن و فولادی مقایسه می‌کنیم و مزایا و معایب آنها و رفتار لرزه‌ای آنها را بررسی می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: لوله‌های پلی اتیلن سنگین، کاربرد اتصالات، مقایسه لوله‌ها

مقدمه

نتیجه خوردگی ناشی از کلر موجود در آب در لوله‌های پلی اتیلن به وجود می‌آید از این لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی استفاده چندانی نمی‌شود؛ اما امروزه این نقیصه‌ها در لوله‌های پلی اتیلن سنگین برطرف شده است و استفاده از این لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی روبه رشد است.

لوله‌های پلی اتیلن سنگین (چگالی بالا) در حوزه وسیعی از خطوط لوله شهری، صنعتی، دریایی، حفاری، دفن زباله و کشاورزی به کار می‌روند. کاربرد مطلوب این دسته از لوله‌ها در موقعیت‌هایی چون سطح زمین، حالت مدفون، شناور و سطوح زیر دریا آزمایش و به اثبات رسیده است. این لوله‌ها قابلیت انتقال آب آشامیدنی، فاضلاب، مواد شیمیایی، دوغاب و پسماندهای خطرناک و گازهای فشرده را دارند. استفاده از لوله‌های پلی اتیلن در صنایع نفت و گاز سابقه‌ای طولانی دارد و در مقایسه با سایر لوله‌ها کمترین میزان تعمیر و نگهداری را برای توزیع گاز شهری دارند. در گذشته به دلیل مسائل مربوط به نگهداری آنها در برابر خوردگی و آثاری که به مرور در

بررسی ساختار شیمیایی

پلی اتیلن‌ها خانواده‌ای از گرمانرم‌ها (ترموپلاستیک‌ها) هستند که از طریق پلیمریزاسیون گاز اتیلن به دست می‌آیند. این پلیمریزاسیون تحت فشار و دمای بالا و در حضور کاتالیست‌های فلزی انجام می‌شود. تحت این شرایط، مولکول‌های اتیلن به زنجیره‌هایی به طول ۵۰ تا ۵۰۰۰۰ واحد تبدیل می‌شوند و گاز اتیلن به یک ماده

و فشار وابسته است. بنابراین در محاسبات مربوط به طراحی لوله‌ها، همواره مقادیر خواص مکانیکی توسط آزمایشات طولانی مدت تعیین و الزاماً در یک فاکتور به نام فاکتور ایمنی تقسیم می‌شود [۳]. در ادامه به بیان ویژگی‌های این لوله‌های پر دازیم.

۱. مقاومت در برابر مواد شیمیایی: این لوله‌ها در برابر محیط‌های اسیدی و بازی، همچنین بسیاری از محلول‌ها و مواد شیمیایی مقاوم‌اند.

۲. وزن کم: این لوله‌ها دارای وزن کمتری نسبت به انواع لوله‌های فولادی، چدنی و بتنی‌اند که باعث سهولت حمل، بارگیری و نصب آسان لوله و اتصالات می‌شود.



شکل ۱. لوله‌های پلی اتیلن سنگین

۳. استحکام و انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت تحمل تنش: استحکام و قابلیت تحمل تنش‌های کششی و فشاری و انعطاف‌پذیری بالای این لوله‌ها به کاربر امکان حمل و نصب لوله و اتصالات را در اجرای انواع پروژه‌های صنعتی می‌دهد [۴].

۴. عدم نشت: این لوله‌ها، به دلیل دارا بودن ویژگی عدم نشت، گزینه مناسبی برای انتقال گاز هستند و از طرفی باعث کاهش تلفات و هزینه‌ها در پروژه‌های آبرسانی می‌شوند.

جامد سفید کریستالی تغییر حالت می‌دهد. پلی اتیلن شامل ساختار بسیار ساده‌ای است، به طوری که ساده‌تر از تمام پلیمرهای تجاری است. یک مولکول پلی اتیلن زنجیر بلندی از اتم‌های کربن می‌باشد که به هر اتم کربن آن دو اتم هیدروژن چسبیده است. پلی اتیلنی که تعداد زنجیره‌های جانبی آن کم و طول آنها کوتاه باشد، پلی اتیلن سنگین (پلی اتیلن خطی) نامیده می‌شود. در این حالت هیچ شاخه‌ای در مولکول وجود ندارد. پلی اتیلن خطی سخت‌تر از پلی اتیلن شاخه‌ای است، اما پلی اتیلن شاخه‌ای آسانتر و ارزانتر ساخته می‌شود. شکل این پلیمر کریستالی است. پلی اتیلن خطی محصول نرمالی با وزن مولکولی ۲۰۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ گرم است که آن را تحت فشار و دماهای نسبتاً پایین پلیمریزه می‌کنند. چگالی آن بین ۰/۹۴۱ تا ۰/۹۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب است و آن را بیشتر به وسیله فرایند پلیمریزاسیون، که زیگلا ناتا نامیده می‌شود، تهیه می‌کنند. تفاوت‌های خواص پلی اتیلن نوع سبک و سنگین به اندازه‌ای زیاد است که کاربردهای آنها را کاملاً متفاوت می‌کند و می‌توان آنها را از دو خانواده گوناگون فرض کرد [۱].

ویژگی لوله

این لوله‌ها، به دلیل عدم امکان نشت، فاسد شدن، نصب آسان و مقاومت در برابر حرکت خاک و فشار، حدود نیم قرن است که مورد مصرف قرار می‌گیرند [۲]. از طرفی چون پلی اتیلن ماده‌ای ویسکوالاستیک است و مثل تمامی ترموپلاستیک‌ها رفتار خزش از خود نشان می‌دهد، بر اثر مرور زمان دچار تغییر شکل می‌شود. چنین پدیده‌ای حتی در دمای معمولی و فشار نسبتاً کم نیز صورت می‌پذیرد و همانند دیگر پلاستیک‌ها، خواص مکانیکی پلی اتیلن به سه پارامتر زمان، حرارت

می‌تواند باعث عملکرد ضعیف آن در بستر خاک شود.

۱۱. مقاوم در برابر حلال‌های آلی

۱۲. مقاوم در برابر اشعه فرابنفش آفتاب

۱۳. مقاوم در برابر سرما و گرمای شدید

۱۴. سهولت در نصب و اجرای سریع و حمل و نقل آسان

۱۵. امکان استفاده از انواع اتصالات

کاربرد لوله‌ها

موارد استفاده از لوله‌های پلی اتیلن سنگین بدین شرح است:

- استفاده در شبکه‌های آبرسانی شهری و روستایی
- استفاده در شبکه‌های فاضلاب شهری و روستایی
- استفاده در شبکه‌های گازرسانی و زهکشی
- سیستم‌های مایعات و فاضلاب صنعتی
- شبکه‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای و بارانی)
- سیستم‌های آبیاری متحرک
- پوشش کابل‌های مخابراتی و فیبر نوری
- پوشش کابل‌های برق
- پوشش لوله‌های فلزی
- به‌عنوان کانال‌های تهویه

بررسی اتصالات لوله‌ها

اتصالات این دسته از لوله‌ها با توجه به کاربردهای گوناگون‌شان متفاوت است. اتصالات الکتروفیوژن برای پروژه‌های گازرسانی و اتصالات پیچی برای پروژه‌های آبرسانی تا فشار ۱۰ اتمسفر استفاده می‌شود. برای بقیه پروژه‌ها از اتصالات جوشی پلی اتیلن طبق استاندارد DIN 16963 آلمان استفاده می‌شود. فاضلاب خانگی از قوانین اشاره‌شده تبعیت نمی‌کنند [۵].

۵. مقاوم بودن در برابر ضربه: مقاومت بسیار بالای این لوله‌ها در مقابل ضربه نیاز به کارگیری فشارهای بالاتر لوله و اتصالات و خریداری تجهیزات ضدضربه را منتفی می‌کند. این خاصیت در پروژه‌های بزرگ صنعتی باعث سهولت اجرا و کاهش بسیار زیاد هزینه‌های اجرا می‌شود، ضمن آنکه ضایعات اجرا را به میزان صفر کاهش می‌دهد. این عامل می‌تواند دلیل بسیار موجهی برای جایگزینی لوله و اتصالات پلی اتیلن سنگین با انواع لوله‌های بتنی باشد.

۶. رسوب‌ناپذیری: به دلیل صیقلی و صاف بودن و داشتن زبری بسیار پایین سطح داخلی لوله، سیالات درون آن جریان سریعی دارند.

۷. مقاوم بودن در برابر سایش: این لوله مقاومت بالایی در مقابل سایش دارد. بنابراین انتخابی خوب برای انتقال مایعات دارای مواد جامد غیرمحلول است.

۸. مقاوم در برابر حمله جوندگان و ریزجاندارها: به دلیل فقدان ارزش غذایی و سختی سطح لوله و اتصالات، جوندگان نمی‌توانند به آنها آسیبی برسانند.

۹. عدم نیاز به پوشش و حفاظت کاتدی: این لوله‌ها به علت مقاومت در برابر زنگ‌زدگی و خوردگی نیازی به پوشش و حفاظت کاتدی ندارند.

۱۰. داشتن عمر طولانی: این لوله دارای دوره مصرف طولانی است. نکته‌ای که باید همواره در مباحث عمر مفید بدان توجه کرد، کیفیت و نحوه نصب و کارگذاری لوله است. تمامی سازه‌های مدفون به نوعی بخشی از ساختار خاک محسوب شده، لذا نیروهای وارده را با برهمکنشی که با یکدیگر دارند، تحمل می‌نمایند. در نتیجه نصب بی‌دقت لوله،

ویژگی اتصالات این لوله‌ها بدین شرح است:

- مقاومت بسیار خوب اتصالات پلی‌اتیلن در برابر شکستگی و ترک‌خوردگی ناشی از فشارهای خارجی
- مقاومت بالا در مقابل فشار و ضربه
- مقاوم در برابر مواد شیمیایی
- مقاوم در برابر خوردگی و ساییدگی
- مقاومت عالی در برابر ارتعاشات ناشی از زلزله
- مقاوم در برابر زنگ‌زدگی
- صاف و صیقلی بودن جداره داخلی و خارجی
- عدم رسوب‌گیری و افت فشار بسیار کم ناشی از اصطکاک سطح داخلی
- انعطاف‌پذیری بالا، هزینه بسیار پائین نصب و اجرا، سرعت اجرا و عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین در زمان اجرای خطوط لوله‌های پلی‌اتیلن

مقایسه این دسته از لوله‌ها با سایر لوله‌ها

در این بخش به مقایسه لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین با چهار نوع دیگر لوله، که دارای مصرف زیادی هستند، می‌پردازیم.

لوله پلی‌اتیلن سنگین و لوله بتنی مسلح

این دو لوله در موارد زیر با هم مقایسه شده‌اند [۶]:

الف) فنی و اجرایی:

- لوله پلی‌اتیلن سنگین به دلیل داشتن وزن کمتر نسبت به لوله بتنی دارای حمل و نصب آسانی است و سرعت لوله‌گذاری با آن بیشتر می‌باشد.
- عمر مفید بسیار بالاتر لوله پلی‌اتیلن سنگین نسبت به لوله بتنی با توجه به مقاومت بالای آن به فاضلاب
- روش‌های متنوع اتصال

○ عمر انبارداری بالا و اشغال فضای کم انبار

○ عدم نشت

○ انعطاف‌پذیری

○ روش‌های متنوع اتصال

ب) اقتصادی:

○ قیمت لوله‌های بتنی در قطرهای مساوی یا بالاتر ۶۰۰ میلی‌متر بیشتر از لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین است.

○ هزینه حمل به دلیل سبکی و هزینه انبارداری به علت اشغال فضای کم برای لوله پلی‌اتیلن سنگین کمتر است.

○ هزینه‌های تأمین سیمان، میلگرد و شن و ماسه، که از عوامل تولید لوله‌های بتنی‌اند، باعث بالا بودن هزینه تولید لوله‌های بتنی نسبت به لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین می‌شود.

○ هزینه لوله‌گذاری برای قطرهای معادل در لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین بین ۲۵ تا ۴۰ درصد لوله‌های بتنی است.

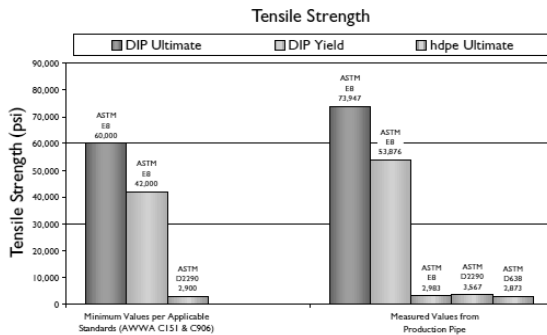
ج) دوام:

○ لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین در برابر سایش مقاومت بالایی دارند.

د) بهره‌برداری:

○ لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین از نظر انجام عملیات ترمیمی و مقاومت در برابر جابه‌جایی‌های زمین نسبت به لوله‌های بتنی دارای مزایای بسیاری هستند. این عامل، عمر مفید شبکه‌های اجرا شده و دوره طرح را افزایش می‌دهد و نیاز به اصلاح شبکه را به تأخیر می‌اندازد.

○ در لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین، امکان ایجاد انشعابات و اتصالات پس از اجرا و در طول بهره‌برداری بیشتر، ارزانتر و آسانتر است.



شکل ۲. مقایسه تنش کششی لوله پلی اتیلن سنگین و چدن نشکن

۲. عملکرد در شرایط دمایی: تغییرات و نوسانات معمول در دمای نصب و عملکرد لوله چدن نشکن تأثیری روی استحکام آنها ندارد [۸]. در دمای سرویس کاری لوله نشکن هیچ تغییر محسوسی، حتی در محدوده دمایی بالاتر از ۶۰ درجه سانتی گراد، در استحکام کششی ایجاد نمی شود، اما به دلیل طبیعت پلیمری و ترموپلاستیکی لوله پلی اتیلن، عملکرد آن به شدت به دمای سرویس و کارکرد آن بستگی دارد. چون ضریب انبساط حرارتی پلی اتیلن ۱۸ برابر چدن نشکن است، این احتمال وجود دارد که در حین قرارگرفتن در معرض تغییرات دمایی شدید دستخوش جابه جایی سراسری خط لوله گردد. شکل ۳ نشان می دهد که در دمای ۴۳ درجه سانتی گراد (۱۱۰ درجه فارنهایت) استحکام کششی پلی اتیلن سنگین تقریباً ۷۰ درصد استحکام آن در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد (۷۳/۴ درجه فارنهایت) است. این کاهش استحکام در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد (۱۴۰ درجه فارنهایت) به ۵۰ درصد می رسد.

۳. مقاومت فشاری: مقاومت در برابر فشار هیدرواستاتیک ترکیب لوله چدن داکتیل ۶/۱ برابر لوله پلی اتیلن سنگین است. مستقیم ترین روش برای

لوله پلی اتیلن سنگین و لوله پی وی سی

در بررسی های انجام شده میان چند جنبه فنی و اقتصادی این دو نوع لوله، مزایای آنها نسبت به هم به صورت زیر بیان شده است [۷]:

۱. لوله های پی وی سی سبک تر است و به ازای مقاومت مساوی به حجم مواد اولیه کمتری نیاز دارد. یک لوله پی وی سی در حدود ۰/۶ تا ۰/۷ برابر لوله پلی اتیلن هم قطر خود وزن دارد.

۲. مواد اولیه لوله پی وی سی ارزانتر است. نیاز به انرژی در مراحل ساخت آن نیز به ازای واحد طول لوله کمتر است.

۳. قیمت تمام شده لوله پی وی سی تقریباً ۵۰ تا ۶۰ درصد لوله های مشابه از نوع پلی اتیلن سنگین می باشد.

۴. لوله های پی وی سی سخت ترند و در مقابل فشار و دما تغییر شکل کمتری می دهند.

۵. لوله های پلی اتیلن سنگین از نظر زیست - محیطی کم خطرتر از لوله های پی وی سی هستند.

۶. قابلیت بازیافت مواد پلی اتیلنی بیشتر است.

۷. لوله پلی اتیلن سنگین در برابر اشعه فرابنفش مقاوم تر است.

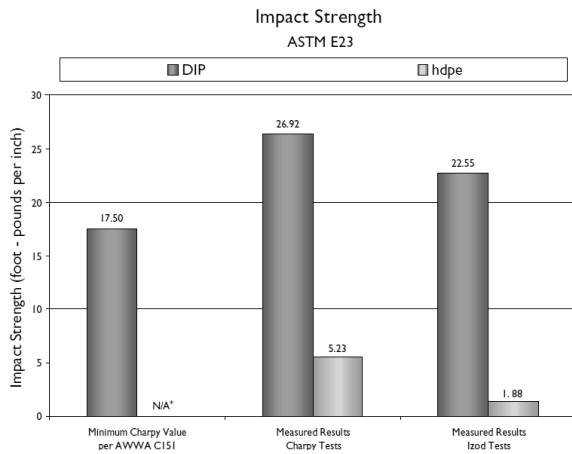
۸. لوله پلی اتیلن سنگین به دلیل نرمی بیشتر در برابر ضربه مقاوم تر است.

لوله پلی اتیلن سنگین و لوله چدن نشکن

در بررسی های انجام شده بین این دو لوله، مزایای لوله چدن نشکن به لوله پلی اتیلن سنگین اینگونه بیان شده است:

۱. استحکام کششی: استحکام کششی لوله چدن نشکن ۲۴ برابر بیشتر است و برخلاف آن لوله های پلی اتیلن سنگین حتی در مقادیر پایین تنش کششی دچار خزش می شوند.

شده است. همانند استحکام کششی، استحکام ضربه نیز در لوله چدن نشکن از دمای نصب تأثیر نمی‌پذیرد [۹].

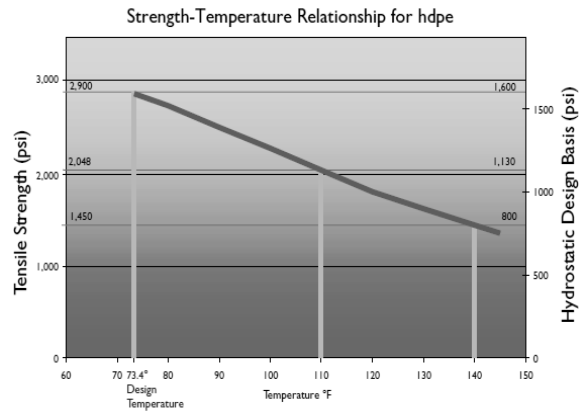


شکل ۵. مقایسه استحکام در برابر ضربه لوله پلی اتیلن سنگین و چدن نشکن

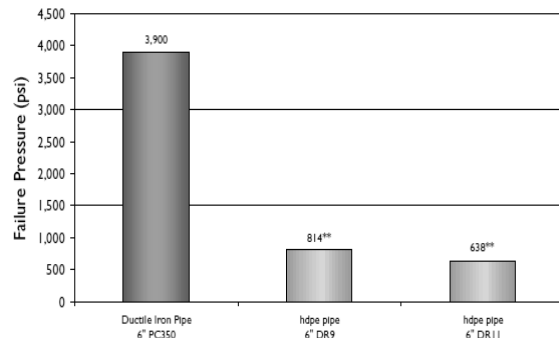
لوله پلی اتیلن سنگین و لوله فولادی مزایای لوله پلی اتیلن سنگین نسبت به لوله فولادی بدین قرار است [۱۰]:

- ارزانی قیمت
- حمل و نقل آسان به علت سبکی
- عدم خوردگی و زنگ زدگی
- یکنواختی ضخامت جداره لوله‌ها
- صاف و صیقلی بودن جداره داخلی و در نتیجه حداقل ته نشین شدن رسوبات
- قابلیت انعطاف حتی در سرمای زیر صفر
- نشکستن و ترک برداشتن در اثر و فشار خارجی
- تولید در سیستم متریک و غیره با قطرهای متنوع و به طول‌های مورد نظر به صورت حلقه‌ای شکل
- عایق بودن در برابر حرارت
- سهولت طریقه اتصال آنها به هم؛ یعنی نصب سریع و نیاز کمتر به وسائل اتصال

اندازه‌گیری مقاومت لوله در برابر فشار، تست هیدرواستاتیک است. تمامی لوله‌های چدن نشکن که تا مرحله شکست تحت فشار قرار گرفتند فقط دچار ترک شدند، در حالی که تمامی لوله‌های پلی اتیلن سنگین پس از شکست دچار بادکردگی، انحناء، پیچش و اعوجاج گردیدند.



شکل ۳. بررسی استحکام کششی لوله پلی اتیلن سنگین در رابطه با دما



شکل ۴. مقایسه مقاومت در برابر فشار هیدرواستاتیک لوله پلی اتیلن سنگین و چدن نشکن

۴. استحکام در برابر ضربه: استحکام در برابر ضربه لوله چدن نشکن ۱۲ برابر لوله پلی اتیلن سنگین است. این ویژگی به خصوص در شرایط حمل و نقل و نصب مؤثر است. آزمایشات به هر دو روش شارپی و ایزود در دمای 21 ± 2 درجه سانتی‌گراد انجام

○ عدم لزوم ماشین آلات سنگین و حجیم جهت نصب و جوشکاری

بررسی رفتار لرزه‌ای لوله‌ها

در این بخش به بررسی رفتار لرزه‌ای لوله‌های چدن نشکن، آزیست سیمان، بتنی، فولادی و لوله‌های پلی اتیلن می‌پردازیم:

لوله‌های چدن نشکن: لوله‌های چدن نشکن برخلاف لوله‌های چدن معمولی، که در برابر زلزله آسیب پذیرند و برای مناطق زلزله‌خیز توصیه نمی‌شوند، در برابر زلزله مقاوم‌اند.

لوله‌های بتنی: این لوله‌ها نسبت به لوله‌های آزیست سیمان انعطاف پذیرترند، اما در حالت کلی برای مناطق زلزله‌خیز توصیه نمی‌شوند. این لوله‌ها در قطرهای بالا، به علت رفتار خمشی، کمتر دچار آسیب می‌شوند. لوله‌های بتنی هسته فولادی نسبت به سایر لوله‌های بتنی رفتار مناسب‌تری در برابر زلزله داشته‌اند [۱۱].

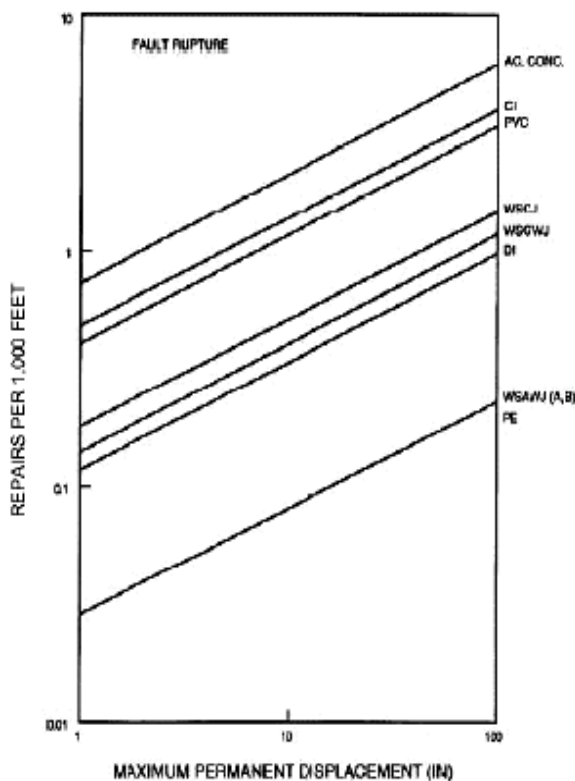
لوله‌های فولادی: این لوله‌ها، به ویژه اگر در مسیرهای انحنادار یا دارای شکستگی استفاده شوند، در برابر زلزله مقاومند و آسیب پذیری آنها بیشتر در حالت برخورد عمود برگسل اتفاق می‌افتد. این لوله‌ها در مقایسه با لوله‌های چدنی، بتنی و آزیست کمتر آسیب می‌بینند. اگر از خوردگی این لوله‌ها ممانعت شود، کاربرد آنها در مناطق زلزله‌خیز با خطر کم و متوسط و حتی بدون اتصال انعطاف‌پذیر قابل قبول است. لازم به ذکر است که در صورت اتصال جوشی و به صورت یکپارچه در آوردن خطوط لوله می‌توان انتظار عملکرد لرزه‌ای بهتر و مناسب‌تری از این لوله‌ها داشت.

لوله‌های پلی اتیلن سنگین: این لوله‌ها با جوش‌های فیوژن رفتار لرزه‌ای خوبی دارند و برای مناطق

زلزله‌خیز توصیه می‌شوند. دارای انعطاف‌پذیری مناسبی هستند و در زلزله‌های گذشته کمتر دچار آسیب شده‌اند. اما با گذشت زمان در برابر کلر موجود در آب لایه‌لایه شده و بایستی نسبت به عمر آنها دقت کافی داشت.

مقایسه میزان ترمیم ناشی از زلزله در لوله‌ها

میزان حرکت گسل و جنس لوله دو پارامتر اساسی در برآورد میزان خرابی لوله‌هاست؛ اگرچه خصوصیات مقاومتی خاک، زاویه استقرار خط لوله نسبت به جهت گسل و عمق کارگذاری لوله نیز جزء پارامترهای مؤثر می‌باشند. در شکل ۶ میزان ترمیم برای آسیب ناشی از حرکت گسل برای انواع لوله نمایش داده شده است.



شکل ۶. مقایسه میزان ترمیم برای آسیب ناشی از حرکت گسل بر لوله‌ها

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که لوله‌های مقاوم در برابر زلزله، دارای اتصالات مقاومی هستند. بنابراین برای کاهش آثار ناشی از زلزله می‌توان از لوله‌های فولادی با اتصالات جوشی یا لوله‌های چدن نشکن با اتصالات مقاوم در برابر جداشدگی در قطرهای بالا، و لوله‌های پلی‌اتیلنی با اتصالات قوس الکتریکی در قطرهای پایین استفاده کرد.

منابع

- [4] Marelly Pipe Systems, *HDPE Physical Properties*, 2009
- [5] AWWA Committee Report, *Design and Installation of Polyethylene (PE)*, American Water Works Association, Denver, Colorado, 1998.
- [6] AWWA, *Concrete Pressure Pipe (M9)*, American Water Works Association, Denver, Colorado, 1979.
- [7] Uni-Bell PVC Pipe Association, *Handbook of PVC Pipe, Design and Construction*, Dallas, Texas, 1983.
- [8] DIPRA, *Handbook of Ductile Iron Pipe*, 6th ed., Ductile Iron Pipe Research Association, Birmingham, Alabama, 1984.
- [9] Bonds, Richard. W., "Ductile iron pipe versus HDPE pipe", DIPRA Company, 2000.
- [10] AWWA, *Steel Pipe-A Guide for Design and Installation (M11)*, American Water Works Association, Denver, Colorado, 1989.
- [11] Pigg, B. J., "Asbestos-cement pipe", ASTM Standardization News, 1988.

- [1] Schwartz, S. S, Goodman, S. H., *Thermoset Plastics, Materials and Processes*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1982.
- [2] Plastics Pipe Institute, *High-Density Polyethylene Pipe Systems*
- [3] Willoughby, David, *Plastic Piping Handbook*, McGraw-Hill, New York

* * *