دسته‌بندی جامع پارامترهای تعیین‌کننده به‌منظور انتخاب لوله‌های شبکه انتقال آب و تحلیل تنش آنها

اردلان آریاشاد [۱]، امیر نورانی [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ardalan.arya@sharif.edu
[۲] استادیار، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، nourani@sharif.edu

چکیده

جنس لوله‌های شبکه انتقال آب در دنیا و ایران عمدتاً چدنی، فولادی، بتنی و پلیمری (پلی‌اتیلن، PVC و GRP) است. البته در حال حاضر در کشورهای پیشرفته لوله‌های پلی‌اتیلنی پراستفاده‌ترین لوله‌ها هستند. درحالی‌که در داخل کشور عموم طراحان و مهندسان مشاور بیشتر به استفاده از خطوط چدنی راغب هستند. به همین دلیل در ابتدا با مطالعه مراجع مزیت‌ها و خصوصیات مهم لوله‌های پلی‌اتیلنی مطالعه و سپس با طراحی یک پرسش‌نامه و انجام مصاحبه با فعالان این حوزه پارامترهای دارای تضاد با مطالعات انجام‌گرفته تعیین گردید و پس از مشورت با اساتید نسبت به شبیه‌سازی پدیده ضربه قوچ مطابق استانداردهای روز دنیا و تعیین مقاومت لوله‌های پلی‌اتیلن ساخت داخل اقدام شد. نتایج این شبیه‌سازی‌های نشان داد پلی‌اتیلن‌های ساخت داخل قادر هستند در شرایط حداکثر فشار ضربه قوچ استحکام کافی داشته و دچار ترکیدگی و خرابی نشوند. در انتها نیز باتوجه‌به مطالعات انجام‌گرفته پیشنهادهایی برای اصلاح نشریات ابلاغی نظام فنی و مهندسی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی

لوله‌های پلی‌اتیلنی، پدیده ضربه قوچ، شبیه‌سازی به روش المان محدود، پارامترهای تعیین جنس لوله

مقدمه

طراحی صحیح خطوط لوله در ایران به دلایل متعدد همچون هدررفت ۲۰ درصدی حجم آب در اثر خرابی لوله (نشتی) و شرایط خشکسالی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تعیین جنس لوله یکی از اصلی‌ترین بخش‌های طراحی خطوط انتقال و توزیع آب می‌باشد که همواره با چالش‌هایی همراه بوده است. لوله‌های چدنی، فولادی، بتنی و پلیمری شامل پلی‌اتیلن، PVC و GRP مهم‌ترین و پراستفاده‌ترین لوله‌های ایران و جهان را شامل می‌شوند. روش رایج در ایران استفاده از لوله‌های فلزی (به طور ویژه چدنی) است، درحالی‌که کشورهای پیشرفته عمدتاً از لوله‌های پلیمری و به ویژه پلی‌اتیلنی در خطوط توزیع و انتقال آب استفاده می‌کنند. همچنین با استناد به مطالعات و داده‌های انجمن لوله و اتصالات پلی‌اتیلنی، در حال حاضر روشی صحیح و قابل استناد برای طراحی و به ویژه تعیین جنس لوله در صنعت آب ایران وجود ندارد. در نتیجه این پروژه به درخواست انجمن و به‌منظور شفاف‌سازی پارامترهای مؤثر در انتخاب جنس لوله شبکه توزیع و انتقال آب تعریف گردید.

مرور مقالات

برای تعیین وضعیت فعلی استانداردها و پیشنهادهای ابلاغی جنس لوله در ایران نشریه شماره ۳-۱۱۷ نظام فنی و مهندسی با عنوان ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی [1] مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در بخش ششم این نشریه نکاتی که باید در هنگام طراحی و انتخاب جنس لوله مدنظر قرار گیرند آورده شده است. از مهم‌ترین این نکات می‌توان به مواردی همچون عمر لوله، ضریب زبری، قیمت لوله و اتصالات، مقاومت در برابر فشارهای داخلی و ضربه قوچ و مقاومت در برابر عوامل خورنده داخلی و خارجی اشاره کرد. همچنین جدولی تحت عنوان امتیازبندی انتخاب و جنس لوله‌ها در این نشریه ارائه شده که به هر یک از جنس‌های مختلف لوله در پارامترهای مختلف امتیازی تخصیص داده شده است. نکته حائز اهمیت این جدول تعارض امتیازبندی برخی از پارامترها با ادعاهای منابع دیگر مطالعه شده بود. مهم‌ترین این تعارضات در پارامترهای مقاومت در برابر زلزله و نیروهای خارجی خصوصاً در لوله‌های چدنی، فولادی و پلی‌اتیلنی است. همچنین در منابع مختلف [2-3] مزایای عمده‌ای همچون طول عمر بالا و هزینه پایین، مقاوم در برابر خوردگی و مواد شیمیایی، بازدهی هیدرولیکی، مقاومت دمایی، قابلیت انعطاف‌پذیری، نرخ خرابی پایین و مقاومت در برابر زلزله برای لوله‌های پلی‌اتیلن نسبت به لوله‌های چدنی و فولادی معرفی شده است. در انتها با مطالعه استانداردهای طراحی روز دنیا پارامترهای اصلی تعیین‌کننده جنس لوله شامل فشار کاری، نفوذپذیری، تأثیرات دمایی و ضربه قوچ تعیین شدند.

مطالعات میدانی

در مرحله بعد با طرح یک پرسش‌نامه وضعیت کنونی لوله‌های موجود در بازار تعیین و از منظر پارامترهای تعیین انتخاب جنس لوله مانند آمار خرابی، مقاومت در برابر زلزله و ضربه قوچ، ضریب زبری، فشار کاری و ... مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله ۱۱ مصاحبه با فعالان این حوزه صورت گرفت که نتایج آن همانند انتظار نشان‌دهنده تعارض در وضعیت فعلی طراحی و انتخاب جنس لوله در ایران با استانداردهای روز دنیا بود. این تعارضات عمدتاً در پارامترهای تعیین هزینه در طول عمر، تحمل فشار ضربه قوچ، مقاومت فشاری و ضربه‌ای

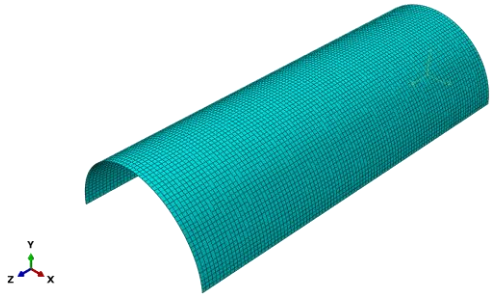
اتصالات و پارامترهای خستگی مشهود بودند. در نهایت و با مشورت اساتید و باتوجه‌به تعریف پروژه در حوزه کارشناسی موضوع مطالعه و بررسی لوله‌های پلی‌اتیلنی در هنگام پدیده ضربه قوچ به‌عنوان هدف اصلی برای ادامه کار انتخاب گردید.

ضربه قوچ

پدیده ضربه قوچ در لوله‌های تحت‌فشار در اثر افزایش یا کاهش سرعت جریان سیال اتفاق می‌افتد، این تغییر موجب ایجاد موجی فشاری در سیال و لوله می‌شود که در طول لوله حرکت کرده و می‌تواند منجر به ترکیدگی و خرابی اتصالات شود. پدیده ضربه قوچ به دو نوع تکرارشونده و اتفاقی دسته‌بندی شده و به حداکثر افزایش یا کاهش فشار که در هنگام پدیده ضربه قوچ اتفاق می‌افتد فشار ضربه قوچ گفته می‌شود. محاسبه فشار ضربه قوچ در لوله‌های پلی‌اتیلنی با استفاده از جدول ارائه شده در استاندارد C906 آمریکا [4] انجام می‌پذیرد. با مطالعه منبع [5] مشخص گردید که شبیه‌ترین تست آزمایشگاهی به این پدیده تست ترکیدگی[1] نام دارد که در این آزمایش لوله از دو جهت ثابت شده و با یک نرخ بارگذاری معین تا حد ترکیدگی فشار داخلی به آن وارد می‌شود.

شبیه‌سازی پدیده ضربه قوچ

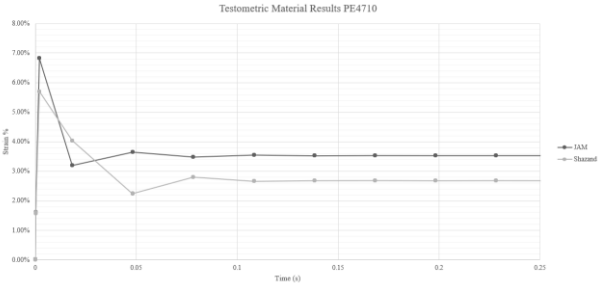
برای شبیه‌سازی این پدیده از روش المان محدود و نرم‌افزار Abaqus استفاده شد. هندسه لوله از مثال آورده شده در استاندارد C906 آمریکا [5] انتخاب گردید و در جهت کاهش هزینه محاسباتی و باتوجه‌به اصول تقارن تنها نیمی از لوله مدل شد. شرایط مرزی و بارگذاری شبیه‌سازی پدیده ضربه قوچ نیز همانند شرایط مرزی تست ترکیدگی تعریف و در انتها مطابق منبع [5] المان از نوع پوسته[2] انتخاب شد. همچنین در ابتدا برای راستی‌آزمایی مدلسازی انجام گرفته داده‌های استاندارد و منبع [6] مورد شبیه‌سازی قرار گرفت که نتایج شبیه‌سازی مطابقت خوبی با نتایج گزارش شده داشت. در انتها نیز شبیه‌سازی با استانداردهای لوله‌های PE3408, PE4710 انجام شد. تصویر مدلسازی مربوطه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: مدلسازی پدیده ضربه قوچ

نتایج شبیه‌سازی

نمودار کرنش – زمان به دست آمده از شبیه‌سازی پدیده ضربه قوچ مطابق استاندارد لوله‌های PE4710 آمریکا برای پلی‌اتیلن‌های پتروشیمی جم و شازند در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور مشاهده می‌شود حداکثر کرنش به‌دست‌آمده در شبیه‌سازی ۶.۹ درصد است که از کرنش تسلیم گزارش شده برای ماده پلی‌اتیلن ساخت پتروشیمی‌ها (۸.۶ درصد) کمتر می‌باشد.



شکل ۲: نمودار کرنش - زمان مطابق استاندارد PE4710

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

بررسی منابع مختلف داخلی و خارجی و مطالعات میدانی نشان داد که روند طراحی و انتخاب جنس لوله در ایران در برخی پارامترها، همچون مقاومت لوله در برابر پدیده ضربه قوچ و زلزله، تأثیر خستگی در لوله و تعیین هزینه کلی عمر لوله‌ها، از تعارضات و ضعف‌هایی نسبت به دیگر کشورها برخوردار است. همچنین شبیه‌سازی‌های انجام شده بر اساس استانداردهای طراحی لوله در هنگام پدیده ضربه قوچ نشان داد که لوله‌های ساخته شده از پلی‌اتیلن تولیدی پتروشیمی‌های جم و شازند از استحکام کافی برای مقاومت در برابر فشار ضربه قوچ برخوردار هستند.

تشکر و قدردانی

از اساتید گرامی جنابان دکتر امیر نورانی و مهندس علیرضا صحاف که اینجانب را در تمامی مسیر این تحقیق همراهی کردند صمیمانه تشکر می‌کنم. از انجمن لوله و اتصالات پلی‌اتیلن به‌خاطر حمایت مالی و اطلاعاتی کمال تشکر را دارم. در انتها از دوست عزیزم جناب آقای محمد صالح فقفوریان به دلیل همیاری در انجام این پروژه سپاسگزارم.

مراجع و منابع

[۱] ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی. شماره ۱۱۷-۳، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۲

[2] Plastics Pipe Institute. Handbook of Polyethylene Pipe. CLVR Company, 2012.

[3] H. Omuro and T. Himono, “Polyethylene pipeline performance against earth-quake,” 2019

[4] ANSI/AWWA. Awwa C906-15 Polyethylene Pe Pressure Pipe and Fittings, 4 In. Through 65 In. 100 Mm Through 1,650 Mm , for Waterworks.2015

[5] J. Yang and S. Hu, “Estimation of Burst Pressure of PVC Pipe Using Average Shear Stress Yield Criterion: Experimental and Numerical Studies,” Applied Sciences, vol.11, no.21, p.10477, 2021

[6] M. A. Guidara, M. A. Bouaziz, M. Dallali, C. Schmitt, E. Haj Taieb, and Z. Azari, “HDPE Pipe Failure Analysis Under Overpressure in Presence of Defect,” Design and Modeling of Mechanical Systems—III, pp.1027–1038, 2017

[1] Burst test
[2] Shell