

بررسی رفتار لوله‌های GRP تحت بار دندانه‌ای به روش المان محدود

زانبار قانعی^{۱*}؛ حسین شوکتی^۲

۱- کارشناس ارشد سازه- آذربایجان غربی- ارومیه- خیابان برق- Zanyarghanei@yahoo.com

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران- دانشگاه ارومیه - h.showkati@urmia.ac.ir

چکیده

در دو دهه اخیر لوله‌های کامپوزیت بدلیل مزایای زیادی که نسبت به لوله‌های دیگر دارند، کاربردهای گسترده‌ای یافته‌اند. شناخت کامل این نوع مصالح، کمک بسیاری به انتخاب کاربرد و محافظت از آن می‌کند. بارهای خارجی ممکن است بوسیله ابزارهای فشاری یا سقوط اجسام بر روی لوله‌ها ویا برخورد ماشین‌آلات حفاری و... به لوله‌ها وارد گردد و موجب آسیب‌های جدی در این خطوط گردد. به همین دلیل بررسی اثر اینگونه نیروها از اهمیت زیادی برخوردار است. تحقیق حاضر با هدف بررسی رفتار و تغییر شکل‌های ناشی از بارهای موضعی در لوله‌های GRP به روش المان محدود انجام گرفته‌است. جامعه آماری این تحقیق شامل ۷۲ نمونه لوله با سختی یکسان و فشار اسمی مختلف ۶، ۱۰ و ۱۶ بار و قطرهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌متر و طولهای ۵ و ۱۰ متری و محل بار در وسط دهانه و یک سوم دهانه، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته‌است. روش ساخت لوله‌ها، پیچش پیوسته الیاف با زاویه متغیر ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درجه می‌باشد. نمونه‌ها بوسیله نرم افزار ABAQUS و تحت تحلیل RIKS مورد بررسی قرار گرفتند که در تحلیلهای مذکور از مش S4R استفاده شده‌اند. ضخامت و قطر لوله‌ها از تولیدات شرکت فراسان انتخاب شده‌اند. تغییر مکان زیر گوه بارگذاری و زیر لوله در محل بارگذاری و تغییر شکل جانبی لوله مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهای بار-تغییر مکان آنها باهم مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکل‌های لوله‌های GRP از نظر شکل، بسیار شبیه لوله‌های فولادی می‌باشد. همچنین کنار لوله‌ها، قبل از رسیدن به بار تئوری لنگر پلاستیک، در اثر تغییر شکل جانبی تسلیم می‌گردد.

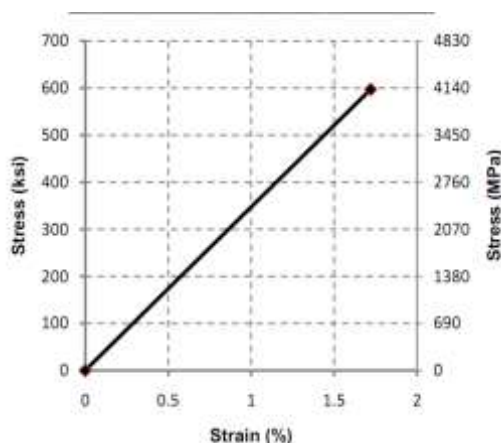
واژه‌های کلیدی: لوله‌های GRP ، بار دندانه ای ، تحلیل RIKS ، نمودار بار- تغییر مکان ، روش المان محدود

۱- مقدمه

امروزه فناوریهای جدید در تولید لوله، امکان کسب عملکرد بهتر با هزینه کمتر را فراهم نموده‌است. لوله‌های GRP (GLASS REINFORCEMENT POLYMER) لوله‌هایی سبک و مقاوم در برابر خوردگی می‌باشند و کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف دارند. در خطوط لوله نفت و گاز، بارهای خارجی که بوسیله ابزارهای فشاری نظیر لنگر کشتی یا تخته‌های ماهیگیری و یا برخورد تجهیزات سنگین حفاری و غیره ایجاد می‌شود، دارای اهمیت فراوانی هستند. زیرا موجب آسیب ناگهانی و جدی می‌شوند. به‌علاوه، بارهای جانبی روی اعضای لوله‌های سکوها دریا، می‌تواند تهدیدی بر رفتار ایمن این سازه‌ها باشد. در نتیجه با توجه به استفاده روزافزون لوله‌های GRP در خطوط جدید لوله‌ای، تحقیق و آزمایش در زمینه این لوله‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی شده‌است رفتار لوله‌های GRP در اثر بارهای دندانه‌ای مورد بررسی قرار گیرد، تا بتوان آنها را از آسیبها و خسارتهای ناشی از ورود این نوع بار به لوله‌ها محافظت نمود و راهکارهای مناسب پیشنهاد کرد.

لوله‌های GRP یا لوله‌های پلیمری تقویت شده با الیاف شیشه، لوله‌هایی از جنس رزین گرماسخت هستند که با الیاف شیشه تقویت شده‌اند. ممکن است ساختار لوله‌ها دارای پرکننده‌های ریزدانه، دانه‌درشت یا صفحه‌ای شکل و عوامل غلظت دهنده باشند. لوله‌های GRP شامل سه لایه داخلی، خارجی و دیواره سازه ای می‌باشند. آستر داخلی و خارجی لوله باید در برابر عوامل شیمیایی مقاوم باشد، چون در تماس با مواد خورنده قراردارند. کیفیت این لایه ضامن عملکرد لوله در برابر خوردگی شیمیایی و نفوذ ناپذیری لوله و محافظت لوله در مقابل نور خورشید می‌باشد. ضخامت این آسترها ۰/۵ تا ۱/۲ میلی‌متر می‌باشد که در صورت نیاز یا برحسب مورد، ضخامت‌های بیشتری نیز در طراحی مدنظر قرار می‌گیرد. دیواره سازه‌ای، لایه تقویت شده با الیاف شیشه می‌باشد که تضمین مقاومت مکانیکی در کل لوله در مقابل تنشهای ناشی از فشار داخلی و خارجی و بارهای حرارتی می‌باشد. ضخامت این لایه بستگی به شرایط طراحی دارد [1]. رزینها، دسته‌ای از مواد آلی جامد یا شبه‌جامد با جرم مولکولی بالا که دارای یک محدوده دمایی برای نقطه ذوب یا نقطه نرمی می‌باشند که بصورت‌های گرما نرم و گرما سخت وجود دارد. تقویت کننده‌ها، شامل الیاف شیشه نوع C, E و ECR که دارای پیونده و سازگارکننده سطحی متناسب با رزین هستند [2]. در نمودار ۱ منحنی تنش - کرنش الیاف شیشه نشان داده شده‌است.

استانداردهای ASTM, AWWA و ISIRI جهت کاربردهای مختلف لوله‌های GRP بکار گرفته می‌شوند. وجه مشترک استانداردهای مختلف، تعریف کارایی لوله‌ها برای مصارف خاص بر اساس عمر مفید می‌باشد. در استانداردهای مذکور به آزمایشات شکل ظاهری، ابعاد و مشخصات فنی لوله‌های GRP و بارهای متداول توجه شده است و بر روی بارهای دندانه ای تمرکز چندانی نشده‌است [2] [3].



نمودار ۱: منحنی تنش - کرنش لوله‌های GRP

پاسخ دویعدی لوله‌های فولادی تحت بارهای جانبی فشاری، نخستین بار در سال ۱۹۶۳ میلادی به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفت. در کارهای مذکور بار فشاری بوسیله صفحات موازی صلب به لوله وارد می‌شد و در طول لوله ثابت بودند. در ادامه Reddy, Reid تحقیقات بیشتری انجام و هندسه مقطع را تغییر دادند تا علاوه بر کارهای قبلی، اثر سخت‌شوندگی کرنشی را نیز لحاظ نمایند. آنها پی‌بردند که پاسخ لوله، تواما" به سخت‌شوندگی کرنشی مصالح و نسبت قطر به ضخامت D/t بستگی دارد. نتایج آزمایشگاهی در مورد ظرفیت لوله‌های فولادی و آلومینیومی با توجه به حالات ممکن خرابی و طولهای متفاوت لوله‌ها ارائه شد [4].

Khedmati و Nazari یک بررسی عددی بر روی رفتار محوری اعضای لوله‌های فولادی پیش‌بارگذاری شده تحت اثر بار جانبی را انجام دادند [5]. آنها موقعیت بار جانبی را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که نیروی لازم برای فرورفتگی با تغییر محل بارگذاری از وسط دهانه تا انتهای لوله افزایش می‌یابد.

بررسی‌های تجربی بر روی ترکیب بار محوری و دندانه‌ای را توسط جکهای هیدرولیکی عمودی و افقی، بر روی لوله‌های فولادی انجام دادند و برای آنها نمودارهای بار- تغییر مکان رسم نمودند [6]. آنها تغییر شکلهای حاصل از آزمون را با نرم افزار، مقایسه نمودند که تغییر شکلهای و نتایج تجربی و تئوری تطابق بسیار خوبی با هم داشتند. همچنین در یک تحقیق دیگر رفتار لوله‌ها را بصورت تجربی تحت بار محوری بررسی نمودند و نتایج را با روش المان محدود مقایسه نمودند [7].

Gohari و همکاران تحقیقی بر روی صفحات استوانه ای GRP تحت فشار استاتیکی خارجی به روش المان محدود انجام دادند. آنها زوایای الیاف ۴۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را در نظر گرفتند و تنش و کرنش حداکثر را در لوله‌ها مورد بررسی قرار دادند [8]. Rafiee و Amini نیز در سال ۲۰۱۴ تحقیقی تئوری و تجربی بر روی رفتار خرابی لوله‌ها در اثر فشار هیدرواستاتیکی را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند [9]. مدلسازی در این تحقیق، شامل تجزیه و تحلیل تنش، ارزیابی شکست و تجزیه مواد برای پیش‌بینی وقوع خرابی صورت گرفت. نمونه‌ها از ۴ نسبت حجمی مختلف ۵۲/۵٪، ۵۷/۵٪، ۵۵٪ و ۶۰٪ در سه زاویه الیاف مختلف ۵۲/۵، ۵۷/۵ و ۶۰/۱۹ درجه مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج، نشان می‌دهد مقاومت در لایه اول با نسبت حجمی الیاف رابطه مستقیم دارد. نتایج بدست آمده در این تحقیق ۳/۲٪ با نتایج تحقیقات تجربی قبلی اختلاف داشته‌است.

JiJin و همکاران تجزیه و تحلیلی بر روی طراحی بهینه لوله‌های GRP بر اساس خصوصیات مصالح تشکیل‌دهنده آن، انجام دادند [1]. این تحقیق بر روی رفتار ساختاری لوله‌های زیرزمینی انجام گردید. این مطالعه روشی برای ارزیابی مقاومت و خرابی با توجه به خصوصیات مواد دیواره لوله ارائه کرده‌است. همچنین در این مطالعه، فرمولی برای محاسبه بهینه ضخامت دیواره لوله برای لنگر خمش کل (مجموع لنگرهای حاصل از فشار عمودی زمین، فشار افقی زمین و بار زنده) پیشنهاد می‌دهد.

۲- مدلسازی نمونه‌ها

تحقیق حاضر به روش المان محدود انجام گردید، که برای این امر نیاز به نرم‌افزاری می‌باشد که بتواند خروجیها را بصورت گرافیک مناسبی نشان دهد که نرم‌افزار ABAQUS انتخاب گردید و مدلسازی بوسیله همین نرم افزار انجام گردید. جامعه آماری این تحقیق شامل ۷۲ نمونه لوله با مشخصات مصالح و سختی یکسان با فشار اسمی مختلف ۶، ۱۰ و ۱۶ بار و قطرهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌متر و طولهای ۵ و ۱۰ متری و محل بار در وسط دهانه و یک سوم دهانه، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته‌است.

روش ساخت لوله‌ها، پیچش پیوسته الیاف با زاویه متغیر ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درجه می‌باشد. مشخصات مصالح لایه‌ها و همچنین رزین مورد استفاده در آستر خارجی و داخلی که مطابق تحقیق Rafiee و Amini انتخاب گردیده‌است، در جدول شماره ۱ نشان داده شده است [9]. در نمونه‌ها از مدلسازی کامپوزیت استفاده شده و لایه اول (آستر خارجی) و آخر (آستر داخلی) از رزین و لایه ساختاری توسط لایه‌های یک میلی‌متری در جهات مختلف مدلسازی شده‌اند. ابعاد گوه‌ای که جهت اعمال بار دندانه‌ای از آن استفاده شده‌است، در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

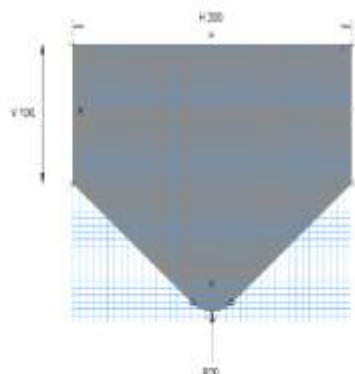
گوه به عمق ۵۰۰ میلی‌متر برای لوله‌های با قطر ۵۰۰ میلی‌متر و ۱۰۰۰ میلی‌متر برای لوله‌های با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر مدلسازی شده‌است. ابعاد آن برحسب میلی‌متر می‌باشد. از تحلیل Riks برای بررسی رفتار لوله‌ها و همچنین تغییر شکل آنها در مقابل بارهای موجود استفاده شده‌است. این تحلیل مناسب‌ترین روش برای مسائل استاتیکی کم‌انرژی می‌باشد. جهت تحلیل، نیاز به بارگذاری می‌باشد که اندازه آن برای شروع ۱ کیلوگرم می‌باشد و با افزایش گامها، بصورت خودکار توسط نرم افزار تا رسیدن به تنش حداکثر افزایش می‌یابد.

اندرکنش بین لوله و گوه بصورت Surface to Surface بوده و نقطه مبنای آن بر روی گوه انتخاب شده است. تماس بین دو عضو، بدون اصطکاک تعریف شده است. برای جلوگیری از نفوذ دو عضو در همدیگر، از Hard Contact استفاده و گوه نیز بعنوان عضو صلب Rigid Body معرفی گردیده است.

جدول ۱: مشخصات مصالح نمونه ها

لایه ساختاری		رزین	
مدول الاستیسیته X (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	۱۴۱۶۰۰۰۰۰	مدول الاستیسیته	۷۰۰۰۰۰۰۰
مدول الاستیسیته Y (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	۱۰۷۰۰۰۰۰۰		
مدول الاستیسیته Z (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	۱۰۷۰۰۰۰۰۰	مدول برشی	۲۸۶۹۰۰۰۰۰
مدول الاستیسیته XY (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	۳۵۷۰۰۰۰۰		
مدول الاستیسیته XZ (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	۳۸۸۰۰۰۰۰	ضریب پواسون	۰/۲۲
مدول الاستیسیته YZ (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	۳۸۸۰۰۰۰۰		
ضریب پواسون xy	۰/۲۸۶	دانسیته (گرم بر سانتی متر مربع)	۱/۱۵
ضریب پواسون xz	۰/۴۹۵		
ضریب پواسون yz	۰/۴۹۵		

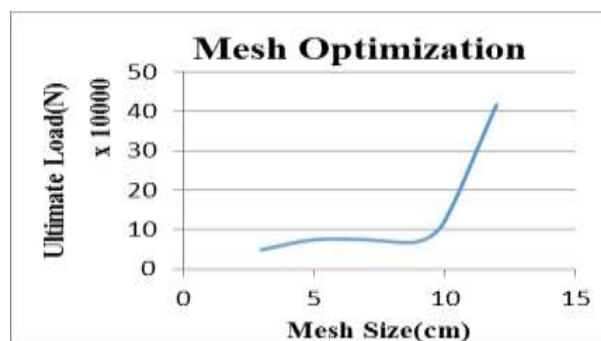
المان مورد استفاده در این تحقیق S4R می باشد که با توجه به اینکه این نوع مش بندی بدلیل دقت کافی و سرعت مناسب برای اعضای استوانه ای و همچنین صفحات جدارنازک مناسب می باشد، انتخاب شده است.



شکل ۱- ابعاد گوه بر حسب میلیمتر

اعضای لوله با قطر ۵۰ میلی متر و طول ۵ متر به ۳۲۰۰ المان چهارگرهی و اعضای با طول ۱۰ متر به ۶۴۰۰ المان تقسیم بندی شده اند.

لوله‌های با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر به طول ۱۰ متر به ۱۲۷۳۶ المان و طول ۵ متر به تعداد ۶۳۳۶ المان تقسیم شده‌اند. ابعاد المانها در مقاطع ۵*۵ سانتی متر در نظر گرفته شده‌اند که ابعاد بهینه با توجه به نمودار ۲ انتخاب شده‌اند. تکیه‌گاههای دو طرف لوله از نوع مفصلی انتخاب شده‌اند که بصورت تیر حلقوی دور تا دور لوله ها را فرا گرفته است. تکیه‌گاههایی نیز در چهار طرف گوه در نظر گرفته شده که حرکت گوه را در راستای عمود بر لوله محدود می‌نماید، تا نیرو بدون هیچگونه انحرافی از طرف گوه به لوله وارد گردد.



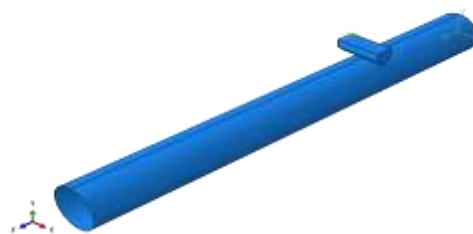
نمودار ۲- ابعاد گوه بر حسب میلیمتر

۳- تجزیه و تحلیل داده ها

همانگونه که اشاره گردید، نسبت دهانه به قطر لوله‌ها ۵، ۱۰ و ۲۰ می باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است. لوله‌های GRP با نسبت‌های مختلف دهانه به قطر در زمان بارگذاری رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند.



شکل ۲-ب- نسبت دهانه به قطر ۲۰



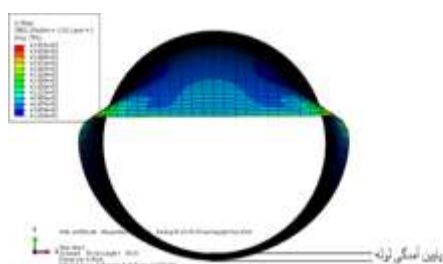
شکل ۲-الف- نسبت دهانه به قطر ۱۰



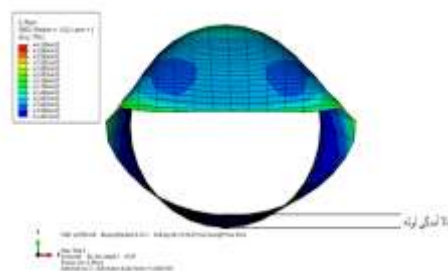
شکل ۲-الف- نسبت دهانه به قطر ۵

لوله‌های با نسبت دهانه به قطر بیشتر، تغییر مکان جانبی بیشتری از خود نشان‌داده، اما زیر این لوله‌ها در محل بارگذاری به سمت خلاف اعمال بار تغییر مکان می‌دهد و تا رسیدن به تنش تسلیم این تغییر مکان ادامه می‌یابد. در لوله‌های با نسبت

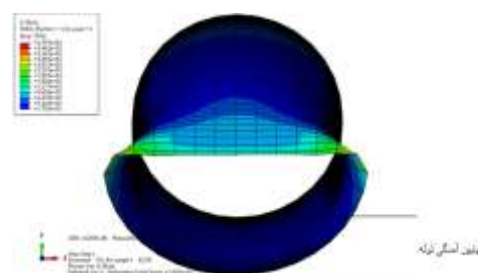
دهانه به قطر متوسط این تغییر مکان به صورتی می باشد که پس از اعمال بار، تا حد متوسطی به سمت خلاف جهت بار حرکت می کند و پس از آن، هم جهت حرکت بار تغییر مکان می دهد. اما زمانیکه لاغری بیشتر می گردد، زیر لوله از ابتدای بارگذاری به سمت جهت بار تغییر مکان می دهد. این رفتارها، در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-ب- تغییر مکان زیر لوله در لوله های با لاغری ۱۰

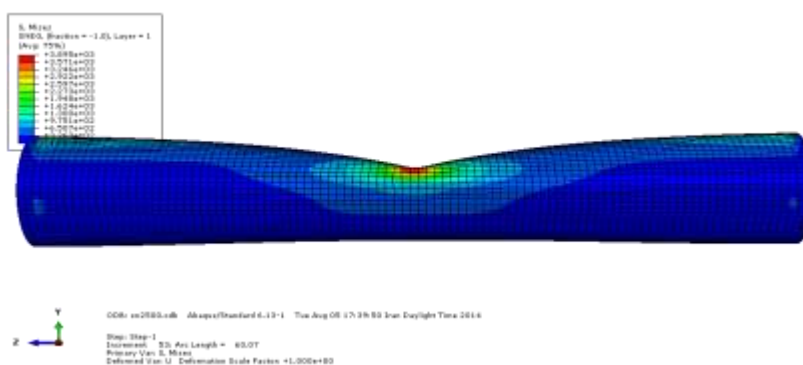


شکل ۳-الف- تغییر مکان زیر لوله در لوله های با لاغری ۵



شکل ۳-ج- تغییر مکان زیر لوله در لوله های با لاغری ۲۰

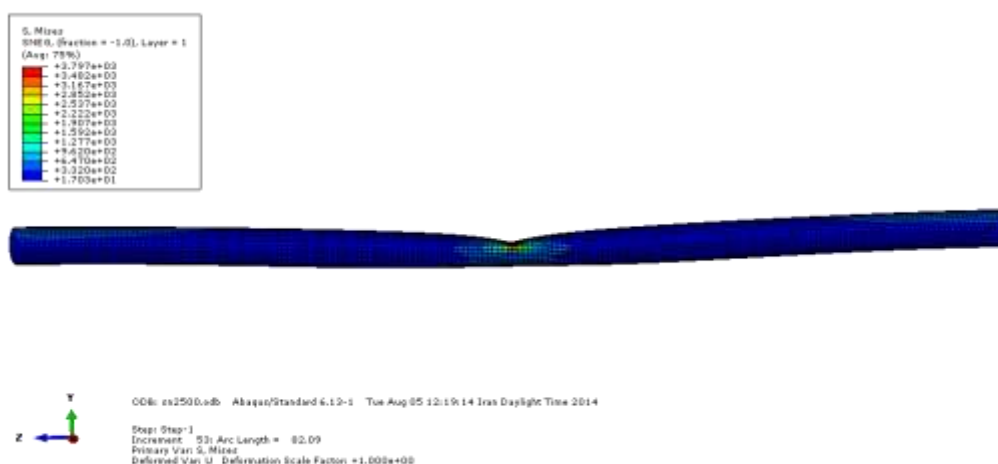
در شکل ۴ نحوه پخش تنش در لوله های GRP در محل بارگذاری وسط دهانه را نشان می دهد. در این شکل می توان تغییر شکل های لوله ها را نیز مشاهده نمود. همانگونه که مشاهده می گردد، زیر لوله در اثر بارگذاری به سمت خلاف جهت فرود بار تغییر شکل می دهد. در صورتی که نسبت دهانه به قطر کم باشد، این روند تا رسیدن به نقطه تسلیم لوله که در کنار لوله قابل مشاهده می باشد، ادامه می یابد.



شکل ۴- تنش و تغییر شکل در لوله های با نسبت دهانه به قطر ۵

اما در صورتیکه نسبت دهانه به قطر افزایش پیدا کند، زیر لوله ها پس از بالارفتگی اندکی که در آنها رخ می دهد، تغییر مکان آنها به سمت حرکت بار تغییر مسیر داده و تا رسیدن به نقطه تسلیم در همان جهت حرکت می کند.

در شکل ۵ لوله‌ای با نسبت دهانه به قطر ۲۰ را در زمان نزدیک به نقطه تسلیم نشان می‌دهد که تغییر شکل آن به سمت حرکت بار دندان‌های می‌باشد. همچنین در شکل‌های مذکور می‌توان تنش‌های موجود در لوله‌ها را مشاهده نمود که در نسبت دهانه به قطر ۲۰، تمرکز تنش‌ها کاملاً در نزدیکی بارگذاری و نقطه تسلیم نیز در ناحیه کناری لوله، زیر بار دندان‌های رخ می‌دهد.



شکل ۵- تنش و تغییر شکل در لوله‌های با نسبت دهانه به قطر ۲۰

اما در لوله‌های با نسبت دهانه به قطر ۵ تنش در کل بالای لوله پخش گردیده و تا تکیه‌گاه بصورت یکنواخت ادامه می‌یابد. نکته قابل توجه این است که نسبت دهانه به قطر، تأثیری بر روی محل تسلیم لوله‌ها ندارد و تمام لوله‌ها در نقطه مشابه به همدیگر دچار خرابی می‌گردند.

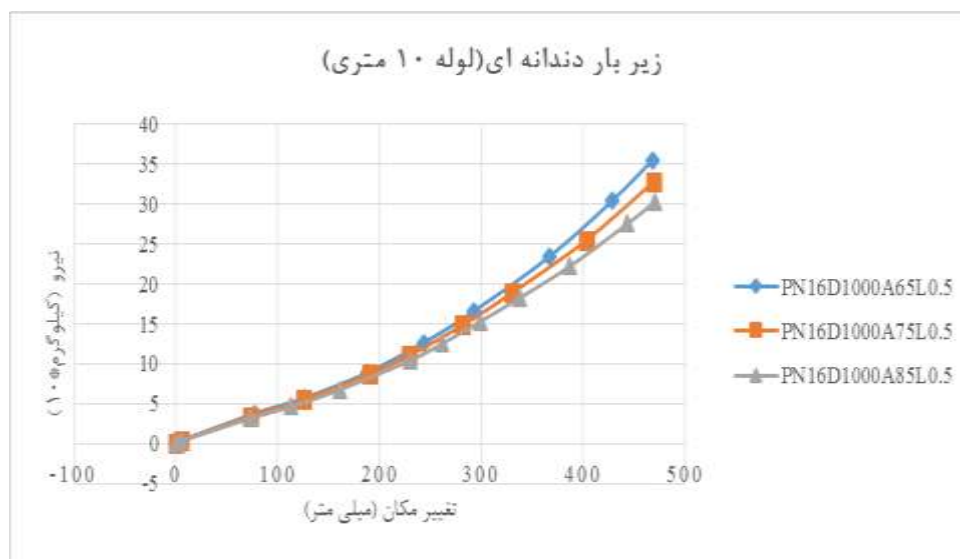
در تحقیق حاضر به بررسی رفتار ۳ نقطه اصلی و بحرانی لوله در اثر بارهای دندان‌های ای پرداخته شده است، که شامل محل اتصال لوله و زیر گوه بارگذاری، زیر لوله در محل بار موضعی و تغییر مکان جانبی لوله در محل بار موضعی می‌باشد. در نمودارها، منحنی بار- تغییر مکان لوله‌ها با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر بصورت (D1000) و قطر ۵۰۰ میلی‌متر (D500) و نام نمونه (PN16)، (PN10) و (PN6) که از فشار قابل تحمل داخلی انتخاب شده است و محل بارگذاری آن در نصف دهانه (L0/5) و ۳ متری از تکیه‌گاه (L0/3) با زاویه الیاف متغیر ۶۵ (A65)، ۷۵ (A75)، و ۸۵ درجه (A85) نشان داده شده و با هم مقایسه گردیده‌اند. مقدار بار دندان‌های در وسط دهانه با مقدار بار لنگر پلاستیک که در تحقیقات قبلی بدست آمده‌اند، مقایسه گردیده‌اند. فرمول محاسبه لنگر پلاستیک و نیروی آن به شکل زیر می‌باشد [10]:

$$M_p = D^2 t \sigma_y \quad (1)$$

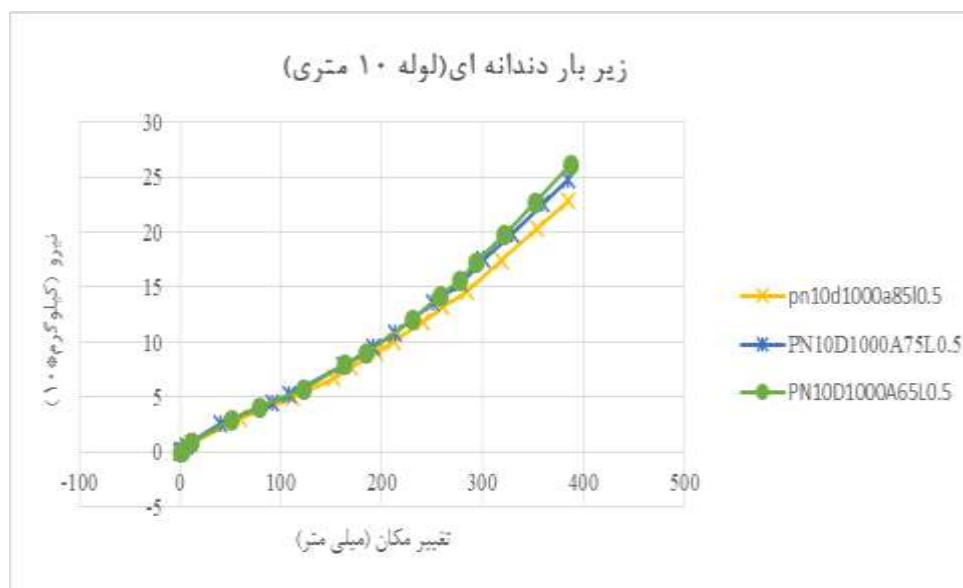
$$P_p = \frac{8M_p}{L} \quad (2)$$

که M_p لنگر پلاستیک، D ، t و σ_y به ترتیب قطر، ضخامت و تنش تسلیم لوله می‌باشند. L نیز طول لوله‌ها می‌باشند.

در شکل‌های ۶ تا ۹ مشاهده می‌گردد که زمانیکه بار در وسط دهانه باشد، لوله‌های با زاویه ایاف ۶۵ درجه بار بیشتری را نسبت به زوایای دیگر تحمل می‌نمایند.



شکل ۶- منحنی بار-تغییر مکان لوله ها در زیر گوه با نسبت دهانه به قطر ۱۰ و نسبت قطر به ضخامت ۹۵/۲۴



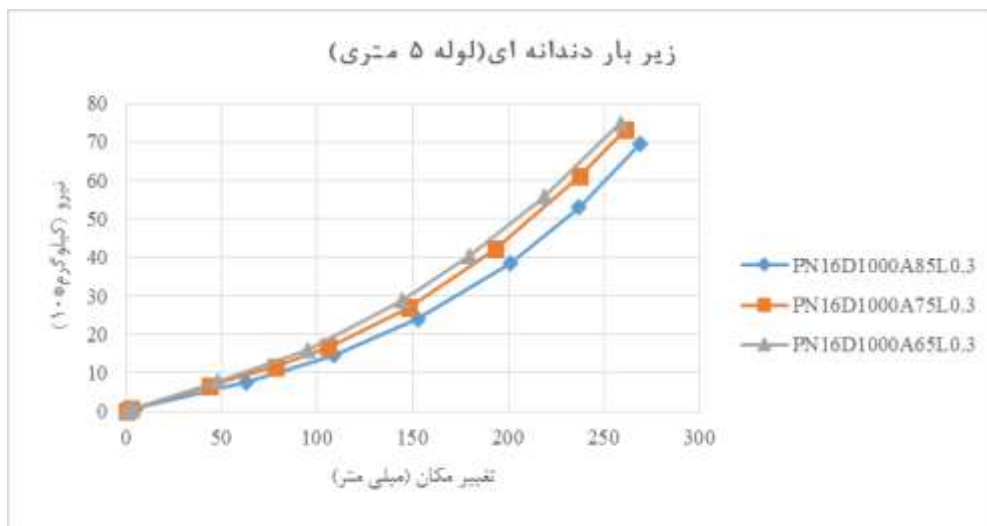
شکل ۷- منحنی بار-تغییر مکان لوله ها در زیر گوه با نسبت دهانه به قطر ۱۰ و نسبت قطر به ضخامت ۹۰/۱

در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب منحنی بار- تغییر مکان در زیر گوه بارگذاری برای لوله های با نسبت دهانه به قطر ۱۰ و نسبت قطر به ضخامت ۹۵/۲۴ و ۹۰/۱ نشان داده شده است. در نمودارهای مذکور نتایج با نیروی لنگر پلاستیک نیز مقایسه شده است که لوله ها در اثر بار دندانان ای به ترتیب ۲۱٪ و ۱۶٪ نیروی لنگر پلاستیک را تحمل می نمایند. در نمودار ۵ منحنی

بار- تغییر مکان زیر گوه بارگذاری برای لوله های با نسبت دهانه به قطر ۵ و نسبت قطر به ضخامت ۹۵/۲۴ نشان داده شده است و نمونه های مذکور ۱۸٪ بار لنگر پلاستیک را برای رسیدن به تنش تسلیم متحمل می گردند. با مقایسه نمودارهای فوق مشخص می گردد که لوله های با نسبت دهانه به قطر کمتر بار بیشتری را تا رسیدن به تنش تسلیم می توانند تحمل نمایند.



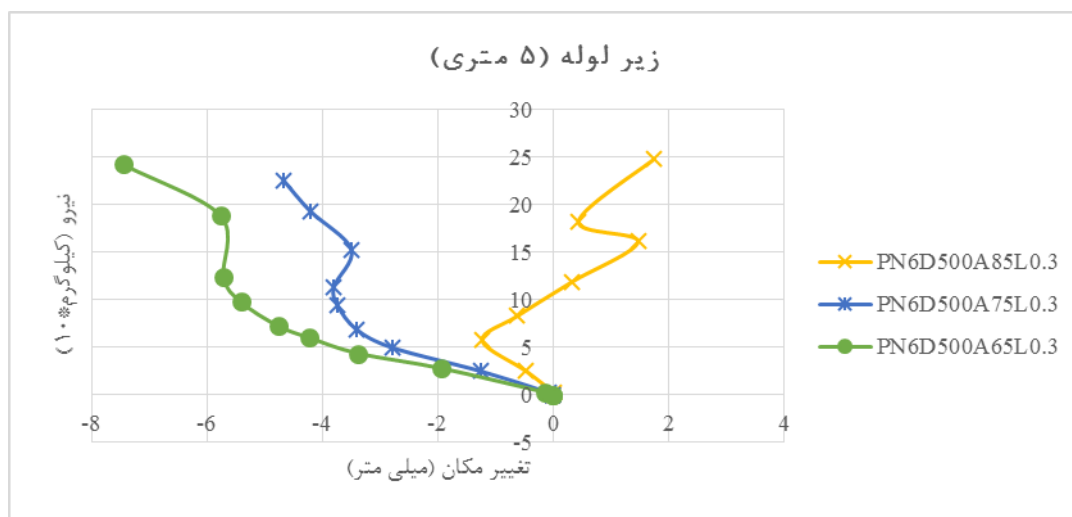
شکل ۸- منحنی بار-تغییر مکان لوله ها در زیر گوه با نسبت دهانه به قطر ۵ و نسبت قطر به ضخامت ۹۵/۲۴ و محل بار وسط دهانه



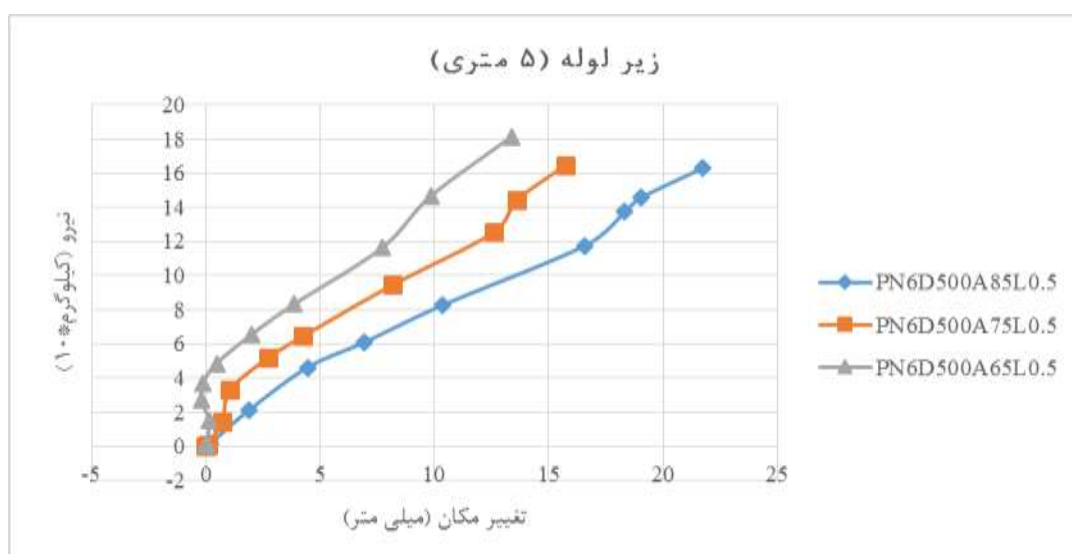
شکل ۹- منحنی بار-تغییر مکان لوله ها در زیر گوه با نسبت دهانه به قطر ۵ و نسبت قطر به ضخامت ۹۵/۲۴ و محل بار یک سوم دهانه

با مقایسه شکل های فوق که از نظر نسبت قطر به ضخامت یکسان می باشند، در می یابیم که در صورت افزایش ضریب دهانه به قطر، بار وارده به لوله ها توسط بار دندانان ای به نیروی لنگر پلاستیک نزدیکتر می گردد. با مقایسه اشکال ۸ و ۹ که لوله های آنها از نظر ظاهری کاملاً مشابه می باشند، اما از نظر محل قرارگیری بار دندانان ای با هم متفاوت هستند در می یابیم که

با تغییر محل بارگذاری به طرف تکیه‌گاه، بار بیشتری برای تغییر شکل مشابه نیاز می‌باشد. بطوری که لوله‌های شکل ۹ با توجه به اعمال بار بیشتر، تغییر شکل کمتری از خود نشان می‌دهند.



شکل ۱۰- منحنی بار-تغییر مکان لوله ها در زیر گوه با نسبت دهانه به قطر ۱۰ و نسبت قطر به ضخامت ۷۸/۱۲ و محل بار یک سوم دهانه

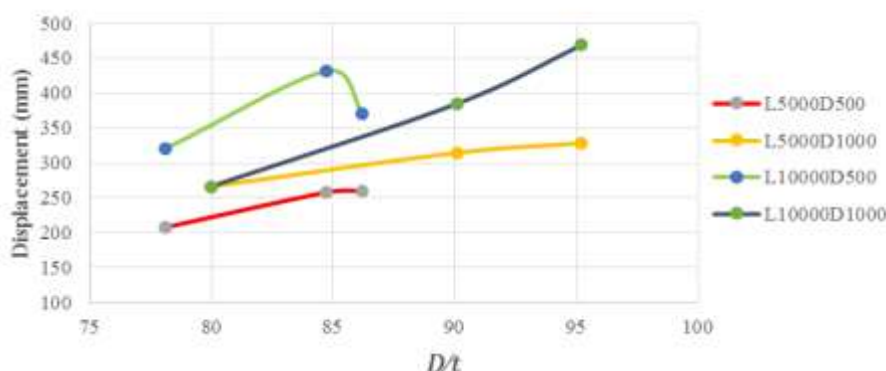


شکل ۱۱- منحنی بار-تغییر مکان لوله ها در زیر گوه با نسبت دهانه به قطر ۱۰ و نسبت قطر به ضخامت ۷۸/۱۲ و محل بار وسط دهانه

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ منحنی بار - تغییر مکان‌های زیر لوله‌های ۵ متری با قطر ۵۰۰ میلی متر به ترتیب برای محل بارگذاری یک سوم دهانه و نصف دهانه نشان داده شده است. در نمودارهای مذکور مشاهده می‌گردد که زاویه چیدمان الیاف تاثیر بسیار زیادی بر رفتار زیر لوله‌ها در اثر بارگذاری دارند. بطوریکه زاویه ۶۵ درجه، تغییر شکل کمی نسبت به زوایای دیگر از خود نشان می‌دهد. بصورتی که زیر لوله در ابتدا به سمت بالا تغییر مکان داده و پس از افزایش بار، تغییر مکان به سمت

حرکت بار ایجاد می‌گردد. اما در زوایای ۷۵ و ۸۵ درجه، زیر لوله کاملاً به سمت بالا تغییر شکل داده و پس از سخت‌شدگی کمی که در آن رخ می‌دهد، تا تسلیم لوله به تغییر شکل خود ادامه می‌دهد. با مقایسه شکل‌های فوق می‌توان تفاوت تغییر شکل زیر لوله‌ها در محل بارگذاری‌های مختلف را مشاهده نمود. در بارگذاری وسط دهانه، باز هم مشاهده می‌گردد که زاویه الیاف ۶۵ درجه بار بیشتری را در تغییر مکان کمتر تحمل می‌نماید.

در شکل ۱۲، منحنی تأثیر نسبت قطر به ضخامت به مقدار تغییر شکل زیر گوه بارگذاری در لوله‌های GRP را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- منحنی مقایسه تغییر مکان زیر گوه بارگذاری در نسبت قطر به ضخامتهای مختلف

با مشاهده شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد که مقدار تغییر مکان در لوله‌های با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر و نسبت قطر به ضخامت ۸۰ با هم برابر هستند و با افزایش نسبت قطر به ضخامت، لوله‌های با نسبت دهانه به قطر ۱۰، تغییر شکلی معادل ۱/۵ برابر لوله‌ها با نسبت دهانه به قطر ۵ از خود نشان می‌دهند. اما در لوله‌های با قطر ۵۰۰ میلی‌متر و نسبت قطر به ضخامت ۷۸/۱۲ مقدار جابجایی زیر گوه بارگذاری، در لوله‌های با نسبت دهانه به قطر ۲۰، حدود ۱/۵ برابر لوله‌های با نسبت دهانه به قطر ۱۰ می‌باشد و با افزایش نسبت قطر به ضخامت، مقدار جابجایی افزایش می‌یابد. اما در نسبت قطر به ضخامت ۸۶/۲۰ اختلاف به ۱/۵ برابر می‌رسد.

۴- نتیجه گیری

لوله‌ها ممکن است در طول عمر بهره‌برداری خود تحت تأثیر نیروهای مختلفی قرار گیرند که بارهای موضعی نیز یکی از انواع این نیروها می‌باشد. بار دندان‌های یا موضعی ممکن است بر اثر برخورد اجسام و یا برخورد ماشین‌آلات حفاری به لوله‌ها وارد و خسارات سنگینی به بار آورد. در نتیجه، بررسی رفتار این لوله‌ها در اثر این بارها از اهمیت زیادی برخوردار است. در نتیجه در تحقیق حاضر، رفتار لوله‌های GRP تحت این نوع بارها مورد بررسی قرار گرفته شده است. همچنین با بررسی و مقایسه نمونه‌ها مشخص گردید که خرابی در این لوله‌ها، در کنار لوله و زیر گوه اتفاق می‌افتد. همچنین الیاف با زاویه پیش ۶۵ درجه بهترین عملکرد را در مقاومت زیر لوله و زیر بار را از خود نشان می‌دهد و حدود ۲۰٪ نیروی بیشتری نسبت به زوایای دیگر تحمل می‌نماید. هرچه نسبت دهانه به قطر کاهش یابد، مقدار تغییر مکان زیر بار دندان‌های افزایش می‌یابد و لوله‌ها بار کمتری برای رسیدن به تنش تسلیم تحمل می‌نمایند. با توجه به اینکه در محل بارگذاری یک سوم دهانه نیروی بیشتری برای

رسیدن به نقطه تسلیم نیاز می‌باشد. تحقیق حاضر با تحقیقات قبلی تطابق دارد. هرچه ضخامت لوله‌ها و تعداد لایه های آن بیشتر باشد، تغییر مکان جانبی کمتری در آنها ایجاد می‌گردد. در نتیجه مقدار تغییر مکان جانبی با تعداد لایه ها رابطه عکس دارد.

مراجع

- [1] Ji Jin, Hwang and Yeon, "Structural analysis and optimum design of GRP pipes based on properties of materials," *Construction and Building Materials*, vol. 38, pp. 316-326, 2013.
- [2] ISIRI10729, 1387.
- [3] "ASTM standard," American Society for Testing and Materials, 2001.
- [4] Reid and Reddy, "Effects of strain hardening on the lateral compression of tubes between rigid," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 14, pp. 213-225, 1978.
- [5] Khedamati and Nazari, "A numerical investigation into strength and deformation characteristics of preloaded tubular members under lateral impact load," *Marine Structures*, vol. 25, pp. 33-57, 2012.
- [6] Eyvazinejad Firouzsalar and Showkati, "Thorough investigation of continuously supported pipelines under combined," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, pp. 83-95, 2013.
- [7] Eyvazinejad Firouzsalar and Showkati, "Behavior of pre-compressed tubes subjected to local loads," no. 65, pp. 19-31, 2013.
- [8] Gohari et al., "First-ply of thick circular cylindrical GRP composite shell subjected to static external pressure via finite element simulation and analytical approaches," *Advanced Materials Research*, vol. 463, pp. 477-483, 2012.
- [9] Rafiee and Amini, "Modeling and experimental evaluation of functional failure pressures in glass fiber reinforced polyester pipes," *Computational Materials Science*, vol. In press, 2014.
- [10] Walker and Ellinas, "Damage on offshore tubular bracing members," *IABSE Colloquium on Ship Collisions With Bridges and Offshore Structures*, vol. 42, pp. 253-261, 1983.