

تحلیل پارامتریک رفتار غیر خطی اعضای لوله‌ای شکل تحت بار جانبی دینامیکی

محمد رضا بهاری^۱؛ بابک مهدی زاده رحیمی^۲

چکیده

بررسی رفتار غیر خطی اعضای لوله ای شکل تحت تأثیر بار جانبی که بصورت دینامیکی وارد شود، موضوع مقاله حاضر است. با بررسی منحنی های نیرو - تغییر مکان مدل فرضی که توسط روشهای عددی بدست آمده مشخص شد که پارامترهای مختلف از جمله ضخامت، پیش بارگذاری محوری و شرایط انتهایی تأثیر بسزایی بر ظرفیت باقیمانده عضو لوله‌ای تحت اثر ضربه جانبی دارد. بر این اساس روش مناسبی برای محاسبه ظرفیت باقیمانده عضو لوله ای شکل ارائه شده و نتایج در قالب یک نمودار با روشهای پیشین مقایسه شده است. تفاوت نتایج تحلیل شبه استاتیکی تحقیقات گذشته در این زمینه با نتایج دینامیکی در این تحقیق مقایسه و برای سنجش دقت مدل پیشنهادی، نتایج بدست آمده با نتایج موجود در مقالات و آزمایشات عملی در این زمینه مورد مقایسه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

اعضای لوله ای شکل، بار جانبی دینامیکی، رفتار غیرخطی، ظرفیت باقیمانده محوری، سازه های فراساحل.

Parametric Analysis of Nonlinear Behavior of Tubular Members under Lateral Dynamic Loads

Mohammad Reza Bahaari; Babak Mehdizadeh Rahimi

ABSTRACT

Non-linear behavior of tubular members with axial pre-load is studied against dynamic lateral impact. Nonlinear behavior of these members would be due to material non-linearity (NLM) or geometric non-linearity (NLG). Study of the curves of load displacement of arbitrary tubular member by analytical solutions indicates that changes in parameters such as pipe thickness, magnitude of axial pre-loading, and end conditions of the member under study has significant affect on their residual strength subject to application of dynamic lateral impact. Based on this analysis, a reliable method for calculation of residual strength of tubular member is proposed. The results of the comparison between the two methods using quasi-static and dynamic analyses are shown in a diagram. In addition, to measure the reliability of the model it has been validated using available test results from the literatures.

KEYWORDS

Tubular members, Lateral dynamic load, Nonlinear behavior, Residual strength, Offshore structures.

^۱ دانشیار دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران: Email: mbahari@ut.ac.ir

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه - دانشکده مهندسی عمران - پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران:

Email: Babakmz@gmail.com



پرداخته‌اند. در بیشتر تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته اثر بار به شکل ثابت و شبه استاتیکی در نظر گرفته شده و اندکی از آنها اثر دینامیکی بار را مد نظر قرار داده‌اند. همچنین در این مقالات رفتار موضعی عضو تحت اثر بار جانبی بررسی شده، اما اثر این تغییر شکل بر کاهش ظرفیت باربری عضو مورد بررسی قرار نگرفته است تعدادی از محققان [۹،۱۰] در زمینه تغییر شکل پایانی عضو هنگام اعمال ضربه تحقیقاتی ارائه نموده‌اند که اطلاعات مفیدی در زمینه تغییر شکل نهایی عضو ارائه می‌دهند، اما این اطلاعات تنها بر پایه پاسخ غیر خطی عضو در برابر بار جانبی که به صورت شبه استاتیکی به عضو اعمال شده می‌باشند. رفتار عضو لوله‌ای در حالت همزمانی نیروی محوری و بار جانبی در اکثر این مقالات مورد توجه قرار نگرفته است، حال آنکه در این مقاله نشان داده خواهد شد اثر فشاری بار محوری تأثیر بسزایی بر فرورفتگی ناشی از بار جانبی دارد. همچنین تأثیر میزان فرورفتگی بر کاهش ظرفیت باربری عضو را نشان داده و ثابت می‌شود که روش‌های تعیین ظرفیت باربری عضو پس از آسیب دیدگی مناسب نبوده و مقداری بیشتر از آنچه که در عمل اتفاق می‌افتد را منتج می‌شوند. در حالت واقعی اعضای لوله‌ای در حال انتقال بارهای بهره برداری بوده و این بارها که بیشتر بصورت محوری می‌باشند نقش موثری را در توسعه آسیب هنگام برخورد جانبی خواهند داشت.

۲- مدلسازی با روش اجزاء محدود

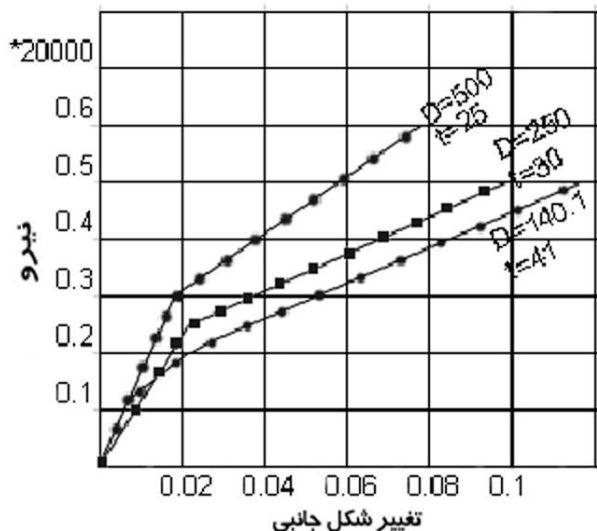
برای تحلیل رفتار عضو لوله‌ای شکل با در نظر داشتن مسائل غیر خطی، از یک مدل نمونه با ابعاد $t=20$ mm، $D=500$ mm و $L=3500$ mm استفاده شده است. در سازه‌های دریایی بیشتر لوله‌های استفاده شده، دارای نسبت قطر به ضخامت $D/t \leq 300$ و $L/D \leq 15$ می‌باشند. پیشتر ثابت شده [۸] که مدل‌های گوناگون لوله در این محدوده که در صنعت فراساحل موارد استفاده زیادی دارند، دارای رفتارهای مشابهی می‌باشند، بنابراین ابعاد این مدل مناسب تشخیص داده شده و تحت بررسی‌های مختلف اعمال بار جانبی قرار می‌گیرد. از المان Shell 181 برای مدلسازی در نرم افزار Ansys استفاده شده و به منظور حل دقیقتر، محل اعمال بار با المانهای ریزتری شبکه بندی شده است. تعداد المانهای بکار رفته برحسب آزمایشات مختلف و نتایج بدست آمده اصلاح شده است.

المان Shell 181 یک المان چهار گرهی دارای قابلیت‌های مناسبی برای مدلسازی برای سازه‌های جدار نازک با پوسته یکنواخت و شش درجه آزادی در هر گره می‌باشد. این المان

اعضای لوله‌ای فولادی بطور گسترده‌ای در سازه‌های صنعتی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این سازه‌ها، سازه‌های فراساحل می‌باشند. اعضای لوله‌ای در این سازه‌ها در برابر بارهای جانبی ناگهانی، مانند بار ناشی از برخورد کشتی‌های تدارکاتی، سقوط اجسام سنگین بر روی این اعضا در مدت بهره برداری و بارهای وارد شده به آنها بطور تصادفی در حین عملیات نصب می‌باشند. فعالیت‌های بسیاری برای بررسی رفتار و مقاومت اعضای فولادی انجام شده است. از بیشترین این مطالعات، بررسی مقاومت محوری باقیمانده در لوله‌های دارای فرورفتگی می‌باشد. این تحقیقات بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، روش‌های عددی از قبیل اجزای محدود و تفاضلهای محدود و استفاده از مدل‌های تحلیلی ساده شده می‌باشند. از جمله این مطالعات می‌توان به تحقیقات آزمایشگاهی Smith [۱] اشاره کرد. این مطالعات نشان می‌دهند که لوله‌هایی با مقیاس کوچک وسیله رضایت بخشی برای تحقیق در مورد اثر آسیب دیدگی بر روی اعضای فولادی و مهارها (brace) می‌باشند. راه حل دیگری توسط Ellinas [۲] ارائه شده است. او با در نظر گرفتن هندسه فرو رفتگی و با استناد به معادلات تعادل برای ناحیه فرورفته، رابطه‌ای برای تعیین مقاومت محوری ارائه می‌کند. روش دیگری نیز توسط Ellinas, Valsgard [۳] پیشنهاد شده است تا بار جانبی پایانی در لوله‌ای با شرایط انتهایی ساده یا گیردار تعیین گردد. Taby [۴] مدل ساده‌ای از اعضای فولادی فرورفته که در معرض بار محوری قرار دارند، ارائه کرده که این مدل با نتایج آزمایشگاهی مربوط به ۲۱ نمونه کنترل شده است. ایده دیگری که توسط Pacheco [۵] پیگیری شده، جایگزینی مدل واقعی فرورفتگی با مدل ایده آل می‌باشد تا بتوان با حداقل اطلاعات، یعنی عمق فرورفتگی مدل را ایجاد نموده و مقاومت محوری لوله فرورفته را تعیین کرد. Ricles و همکارانش [۶] نیز رابطه‌ای برای تعیین مقاومت باقی مانده لوله‌های فرو رفته تحت اثر نیروی محوری و ممان خمشی ارائه کرده‌اند که با تکیه بر نتایج آزمایشگاهی انجام شده است. هدف از ارائه این مقاله تعیین ارتباط لنگر، نیروی محوری و دوران برای اعضای لوله‌ای فولادی فرو رفته که بصورت تیرستون عمل می‌کنند می‌باشد Fatt et al [۷] closed analytical solutions را بمنظور تحلیل ورق، تحت بار دینامیکی پیشنهاد کرده است. Harding, Zeiniddini [۸] نیز به بررسی رفتار دینامیکی اعضای لوله‌ای شکل با پیش بارگذاری محوری، تحت اثر بار ضربه‌ای

۴ - تغییر شکل مقطع تحت اثر بار جانبی به شکل منفرد

در صورتیکه تغییر شکل مقطع عضو در این حالت مورد بررسی گردد، دیده می‌شود که همزمان با فرورفتگی جانبی در قسمتی از دیواره لوله که در زیر بار جانبی قرار دارد دیواره سمت مقابل نیز کمی به داخل فرو می‌رود اما سرعت و مقدار این فرورفتگی کمتر می‌باشد.



شکل (۱): مقایسه نتایج مدلهای رایانه ای با مدل تجربی

اگر در یک نمودار منحنی نیرو-تغییر شکل را برای هر دو دیواره رسم شود، منحنی مشابه شکل (۲) بدست می‌آید. در این منحنی تغییر شکل قسمت میانی لوله که به بیرون متمایل می‌شود نیز به شکل قدر مطلق تغییر شکل رسم شده است. همانگونه که در شکل نیز مشخص می‌باشد نقطه P2 در سطح مقطع عضو با سرعت بیشتری نسبت به نقطه P3 به سمت خارج متمایل می‌شود. در صورتیکه روند فرو رفتگی جانبی ادامه پیدا کند، عضو لوله‌ای پایداری جانبی خود را از دست داده و فرو رفتگی به داخل که در پشت لوله اتفاق افتاده بود به جای خود باز خواهد گشت.

۵ - اثر تغییر ضخامت

همانگونه که پیشتر گفته شد پارامترهای مختلفی بر منحنی نیرو تغییر شکل عضو لوله‌ای موثر می‌باشند. یکی از پارامترهای مهم، ضخامت می‌باشد. در مدل موردنظر منحنی نیرو - تغییر شکل برای حالتی که مدل دارای ضخامت‌های معادل ۲/۵، ۳، ۴، ۴/۵ سانتیمتر و ۳۰٪ بار نهایی به عنوان بار پیش محوری در هنگام اعمال بار جانبی، موجود بوده بدست آمده و در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. به عنوان نمونه مشخص

قابل استفاده در تحلیل‌های خطی، دورانه‌های بزرگ، کرنشها و تغییر شکل‌های بزرگ در تحلیل غیر خطی می‌باشد. همچنین مدل استفاده شده دارای مش مناسب برای تحلیل توسط نرم افزار می‌باشد.

۳ - بررسی دقت مدل ساخته شده

در این بخش برای اطمینان از درستی مدل ساخته شده، قبل از انجام محاسبات دینامیکی نتایج حل استاتیکی با آزمایشات موجود مقایسه می‌شوند. همچنین تحلیل استاتیکی روشی جهت فراهم سازی اطلاعات مفید اولیه بوده و پارامترهای موثر بر پاسخ سیستم و نکات مهمی که می‌بایست در حل دینامیکی مورد توجه قرار گیرند را در اختیار قرار خواهند داد. مشخصات هندسی لوله مدل شده عبارتند از:

$$\text{Density} = 7.85 \times 10^{-6} \text{ (Kg/mm}^3\text{)}$$

$$\text{Poisson's ratios} = 0.3$$

$$\text{Material yield stress} = 240 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Modulus of elasticity (E)} = 200 \times 10^3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Tangent modulus (Et)} = E/15$$

$$L = 3500 \text{ mm}$$

بار متمرکز جانبی جهت آنالیز غیر خطی در چند مرحله افزایشی بر عضو اعمال شده و منحنی نیرو تغییر شکل آن به بدست آمده است. منحنی بدست آمده با نتایج یک نمونه آزمایشگاهی [۸] در شکل (۱) مقایسه شده است. در این مرجع خصوصیات مصالح بکار رفته در این آزمایش و شرایط انتهایی مشخص نشده‌اند، شکل (۱) مقایسه منحنی حاصل از آنالیز نرم افزار برای دو مدل مختلف با شبکه بندی بسیار ریز به شرح جدول (۱) و منحنی حاصل از نتایج آزمایشگاهی می‌باشد.

جدول (۱): مشخصات مدلهای مورد استفاده در شکل (۱)

مدل	نیروی محوری (N)	ضخامت (mm)	قطر (mm)
رایانه ای	۲۰,۰۰۰	۲۵	۵۰۰
رایانه ای	۲۰,۰۰۰	۳۰	۲۵۰
تجربی	۲۰,۰۰۰	۴۱	۱۴۰/۱

همانگونه که در شکل (۱) دیده می‌شود، نتایج محاسبات رایانه‌ای مدل با نتایج حاصل از آزمایش تجربی از روند مشابهی برخوردار می‌باشند و تفاوت نشان داده شده می‌تواند به دلیل تفاوت در خواص مصالح و یا هندسه آنها باشد. این محاسبات برای مدلی با شرایط انتهایی گیر دار بدست آمده‌اند.

۶- اثر شرایط انتهایی

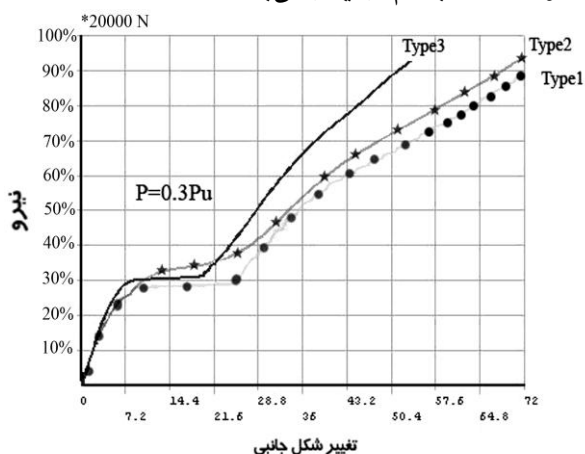
در برخی از تحقیقات گذشته برای بدست آوردن بار نهایی که لوله آسیب دیده می‌تواند تحمل کند ابتدا عضو لوله‌ای را با شرایط انتهایی دو سر گیردار تحت اعمال بار جانبی قرار داده و سپس جهت افزایش بار محوری و بدست آوردن میزان آن، دو سر لوله آزاد بوده و به شکل مفصلی در نظر گرفته شده است. حال آنکه این پژوهش نشان می‌دهد که شرایط انتهایی عضو بر توسعه آسیب در هنگام اعمال بار جانبی اثر چشمگیری داشته و باید هنگام محاسبه ظرفیت نهایی عضو همان شرایطی که در هنگام اعمال بار جانبی در نظر گرفته شده منظور شوند. برای بررسی این موضوع در مدل ساخته شده، شرایط انتهایی را تغییر داده و مدل برای حالات Type ۱ - Type ۳ بررسی شد.

- ۱ Type (هر دو سر عضو در مقابل جابجایی و دوران آزاد باشند)
- ۲ Type (دو سر عضو تنها در مقابل جابجایی محوری آزاد باشند)
- ۳ Type (هر دو سر عضو گیر دار کامل باشند)

شکل (۴) سه منحنی نیرو - تغییر مکان مدل با تکیه گاههای متفاوت را مقایسه می‌کند. در این شکل به خوبی مشخص است که انواع مختلف تکیه گاهی یاد شده تا چه میزانی بر عمق فرو رفتگی موثر می‌باشند.

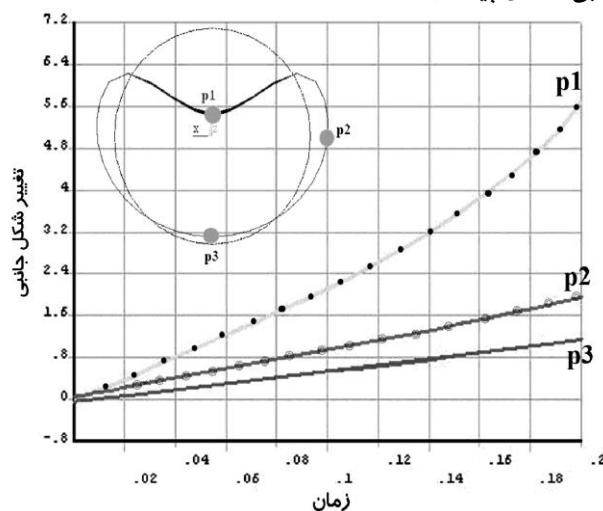
این منحنی ها در شرایط ۳۰٪ بار محوری نهایی و تحت اثر نیروی جانبی بدست آمده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که نتایج بدست آمده در حالت ۱ و Type ۲ به هم نزدیکتر می‌باشند.

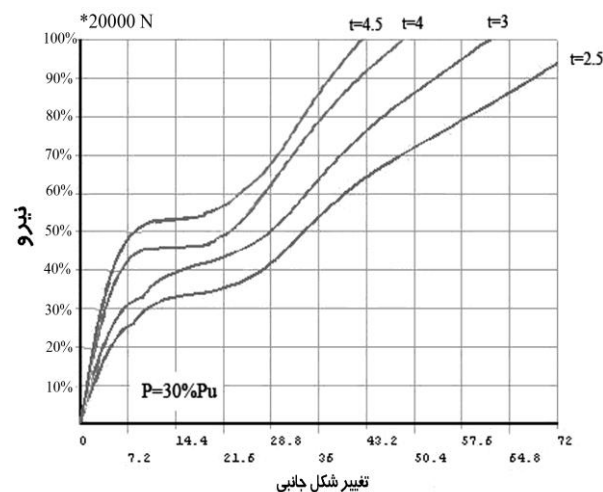


شکل (۴): منحنیهای مربوط به نیرو - تغییر مکان عضو لوله ای شکل با شرایط مختلف انتهایی

شد که اگر لوله‌ای با مشخصات مدل آنالیز شده توسط نرم افزار، تحت بار جانبی حد اکثر تا ۲۰،۰۰۰ نیوتن قرار بگیرد. در صورتیکه از ورقی به ضخامت ۲۵ میلیمتر استفاده شود، تنها ۵۰٪ از این بار کافی است تا تغییر شکلی در حدود ۳۵ میلیمتر در آن ایجاد شود و در صورتیکه در همان لوله از ورقی به ضخامت ۴۵ میلیمتر استفاده شود، چیزی در حدود ۸۵٪ نیرو لازم است تا به همان فرو رفتگی رسید. همان گونه که در شکل (۳) مشخص می‌باشد. با افزایش ضخامت، تغییر شکل جانبی کاهش پیدا کرده است.

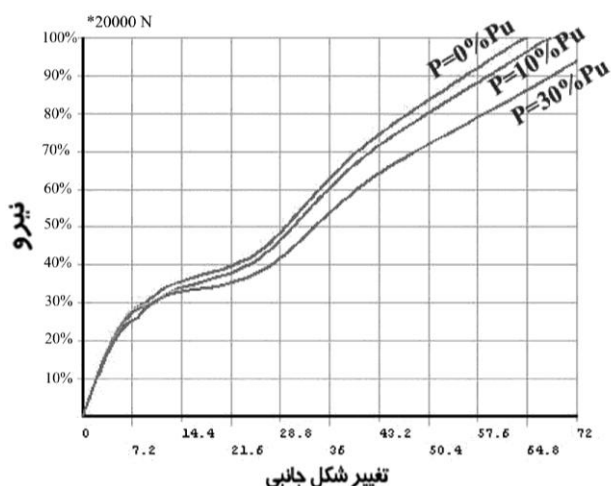


شکل (۵): منحنیهای زمان-تغییر شکل برای سه نقطه متفاوت از مقطع عضو لوله ای شکل



شکل (۶): منحنی های نیرو - تغییر شکل جانبی برای ضخامت‌های مختلف و تحت پیش بارگذاری ۳۰٪ حداکثر بار نهایی محوری

در شکل (۲) منحنی تغییر شکل نقطه P۳ برای امکان مقایسه با تغییر شکل نقاط دیگر در عضو لوله‌ای به صورت قرینه و در یک جدول نمایش داده شده است.



شکل (۵): منحنی نیرو تغییر مکان برای سه حالت پیش بارگذاری محوری

در صورتی که لوله‌ای بدون پیش بارگذاری محوری دچار همان مقدار فرو رفتگی شود، نیرویی به میزان $0/4$ نیروی جانبی نیاز می‌باشد. حال منحنی نیرو - تغییر مکان را برای لوله‌ای با پیش بارگذاری ۳۰ درصد بار محوری نهایی بررسی می‌شود. در این حالت نیروی معادل $0/37$ نیروی جانبی، ۲۶ میلی‌متر فرو رفتگی در آن ایجاد کرده است. در صورتی که اگر لوله‌ای بدون پیش بارگذاری محوری دچار همان مقدار فرو رفتگی شود، نیرویی به میزان $0/44$ نیروی جانبی نیاز می‌باشد. بنابراین با اعمال چنین نیرویی بر عضو، تغییر شکلی حاصل می‌شود که در صورت پیش بارگذاری معادل ۳۰ درصد بار نهایی و بار جانبی $0/37$ نیروی جانبی نهایی، می‌بایستی اعمال می‌شد و به این ترتیب با این کار شرایط مسئله به هم تبدیل می‌شوند. در ادامه ظرفیت باربری نهایی عضو زمانیکه $0/37$ بار نهایی جانبی بر آن وارد شده برای دو حالت مختلف پیش بارگذاری محوری ۱۰٪ و ۳۰٪ بار نهایی، به روش یاد شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور از نرم افزار Ansys استفاده شده است. شکل (۶) در حالت اول (پیش بارگذاری معادل ۱۰٪ بار نهایی محوری) زمانیکه $0/67$ بار مورد نظر وارد شده، لوله توانایی مقاومت را از دست می‌دهد. در حالت بعدی (پیش بارگذاری معادل ۳۰٪ بار نهایی محوری) شرایطی بررسی می‌گردد که لوله بدون پیش بارگذاری محوری تحت نیروی جانبی $0/44$ بار جانبی نهایی قرار گرفته و تغییر شکل بوجود آمده در آن معادل حالتی باشد که لوله تحت بار محوری معادل ۳۰ درصد بار نهایی محوری بوده و تحت بار جانبی معادل $0/37$ نیروی جانبی، قرار گرفته باشد. در این صورت

۱-۷) معمولاً هنگام برخورد احتمالی کشتی‌ها با اعضای لوله‌ای سازه‌های فراساحل، این اعضا تحت بارهای بهره برداری و دارای نیروی محوری (بیشتر به شکل فشاری) می‌باشند. ممکن است شدت برخورد به میزانی باشد که اثر توام پیش بارگذاری محوری و بار جانبی اعمال شده باعث تلاشی عضو گردد. در صورتیکه منحنی بار تغییر مکان لوله تحت بار متمرکز جانبی برای حالت‌های مختلف پیش بارگذاری رسم شوند این موضوع به شکل مناسبی قابل درک خواهد بود. رویکرد اغلب تحقیقات انجام شده برای بررسی تأثیر برخورد ضربه بر کاهش مقاومت محوری لوله‌ها، ایجاد یک نقص اولیه (Imperfection) به واسطه اثر بار جانبی بر لوله می‌باشد [۴ و ۵]. محاسبات نشان می‌دهد که تغییر شکل لوله در اثر بار جانبی تا پیش بارگذاری ۲۰٪ بار نهایی محوری به هم نزدیک می‌باشند اما مقادیر فرورفتگی با افزایش این بار بتدریج تفاوت زیادی خواهند داشت. در بسیاری از مراجع این اثر هنگام بررسی ظرفیت باقیمانده عضو لوله‌ای در نظر گرفته نشده است. در این مراجع ابتدا بار جانبی به لوله‌ای که دارای بار محوری نبوده اعمال شده و لوله در اثر این بار دچار یک فرورفتگی موضعی شده است. سپس بار محوری فشاری تا آنجا که دیگر توانایی تحمل بار را نداشته باشد افزایش می‌یابد. تفاوت میان بار محوری که لوله بدون آسیب دیدگی و لوله آسیب دیده می‌توانند تحمل کنند، به عنوان کاهش ظرفیت باربری عضو تحت اثر بار جانبی معرفی شده است. حال آنکه در این تحقیق این موضوع بدین شکل مطرح شده که از ابتدا نیروی جانبی می‌بایست بر لوله با پیش بارگذاری محوری اثر کند زیرا این حالت شرایط واقعی مسئله می‌باشد. عمق فرو رفتگی در این حالت بدلیل وجود پیش بارگذاری محوری بیشتر خواهد بود و در عمل نیز اعضای لوله‌ای در هنگام برخورد جانبی در حال انتقال بار بهره برداری خود می‌باشند و آشکار است که لوله‌ای که عمق فرو رفتگی در آن بیشتر باشد بار نهایی کم‌تر خواهد بود.

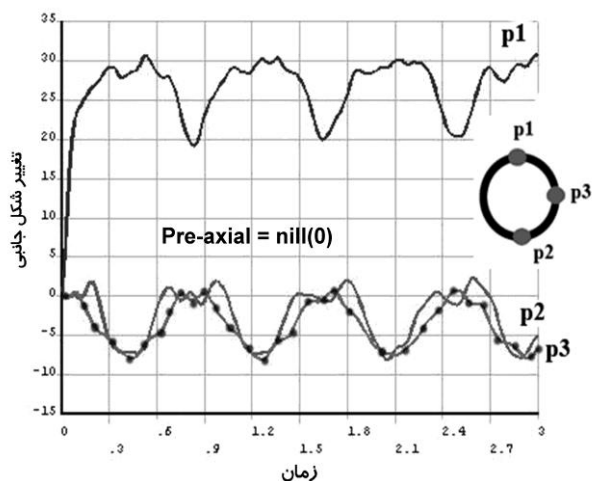
۲-۷) با ترسیم این نمودارها می‌توان روش ساده‌ای می‌توان برای تخمین ظرفیت باربری عضو آسیب دیده تحت پیش بارگذاری محوری بدست آورد.

برای مثال در شکل (۵)، منحنی نیرو تغییر مکان برای سه حالت مختلف دیده می‌شود. برای نیرویی معادل $0/37$ نیروی جانبی در صورت پیش بارگذاری معادل ۱۰ درصد بار نهایی محوری تغییر شکلی به میزان $21/6$ میلی‌متر می‌باشد که این

وجود پیش بارگذاری محوری وارد شده است. L_2 منحنی مربوط به حالتی است که ابتدا فرو رفتگی در جسم ایجاد شده و سپس نیروی محوری آنقدر افزایش یافته تا اینکه عضو مقاومت خود را از دست داده است. همانگونه که در شکل مشخص می‌باشد، در این حالت تغییر شکل بیشتری برای رسیدن به ظرفیت حداکثری عضو مورد نیاز می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که در پژوهشهایی [۱۱،۱۲،۱۳] که در آغاز تغییر شکلی در عضو ایجاد کرده و سپس بار محوری را به منظور رسیدن به بار نهایی افزایش داده اند، مقادیر بیشتری برای ظرفیت باقیمانده آن بدست آورده اند و منحنی L_1 بیشتر به واقعیت نزدیک خواهد بود.

۸- اعمال بار دینامیکی

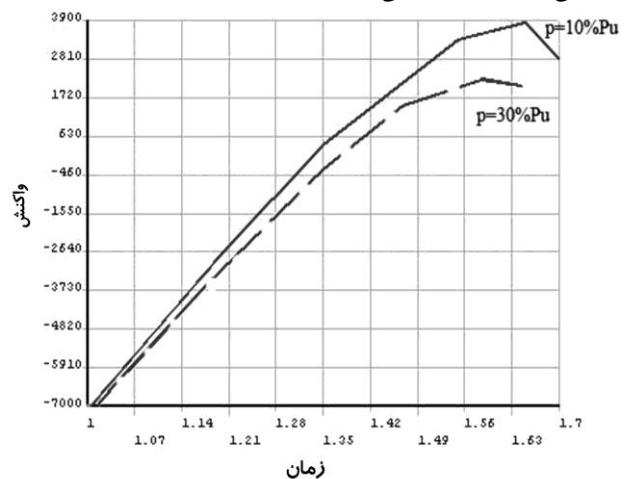
معمولا اعمال بار جانبی در واقعیت جنبه دینامیکی داشته و باید اثر دینامیکی اعمال بار نیز در پژوهش مورد بررسی قرار گیرد. در اینجا مدلی که پیشتر تهیه شده و تحت اعمال بار جانبی و تحلیل غیر خطی قرار گرفته، توسط آنالیز Transient نرم افزار Ansys مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل معرفی شده تحت تاثیر بار دینامیکی جانبی معادل ۸۰۰۰ نیوتن قرار گرفته و نتایج آزمایش در دو حالت بدون پیش بارگذاری محوری و حالت وجود پیش بارگذاری اولیه معادل ۳۰٪ بار نهایی، در اشکال (۸ و ۹) دیده می‌شوند. اثر دینامیکی بار بدین شکل وارد شده که در اولین Time Step معرفی شده به برنامه کل بار به شکل پله‌ای اعمال شده و تا چند ثانیه رفتار ۳ نقطه متفاوت از مقطع لوله در مکان اعمال بار مورد بررسی قرار گرفته است. برای آنکه رفتار عضو بعد از اعمال ضربه واقعی تر جلوه کند مقدار کمی Damper (۱۰٪) نیز به مشخصات عضو اضافه شده است.



شرایط جدید مورد آنالیز قرار گرفته و واکنش تکیه گاهی برای همان گره در حالت قبل رسم شده و با هم مقایسه می‌شوند. همانگونه که در شکل (۶) دیده می‌شود زمانیکه، ۰/۵۶ بار مورد نظر اعمال شده، عضو لوله ای شکل مقاومت خود را از دست داده است.

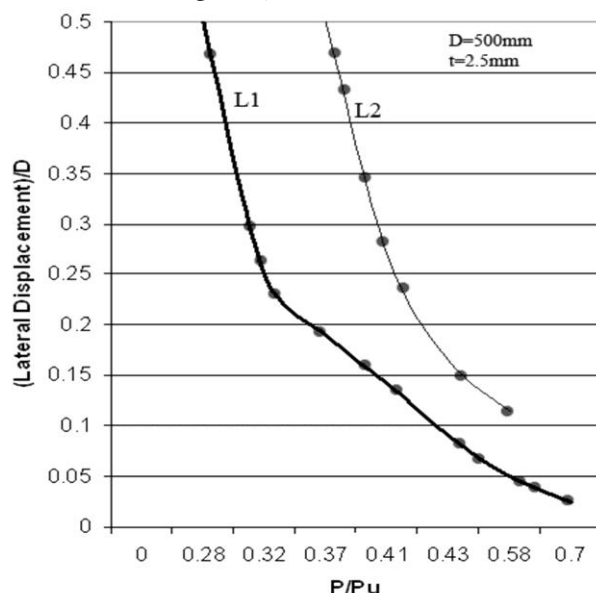
دیده می‌شود که با افزایش بار محوری از ۱۰٪ به ۳۰٪، مقاومت باقیمانده عضو لوله‌ای در هنگام ضربه جانبی ۱۱ درصد کاهش پیدا کرده است.

شکل (۷)، نتیجه چندین آزمایش مقاومت نهایی بر روی مدل معرفی شده را نشان می‌دهد.



شکل (۶): منحنی های تغییرات واکنش تکیه گاهی در پای لوله با زمان

اعمال بار جانبی همزمان با پیش بارگذاری محوری L_1
افزایش نیروی محوری بعد از آسیب دیدگی عضو L_2



شکل (۷): مقایسه نتایج مربوط به دو روش متفاوت بررسی مقاومت نهایی

L_1 مربوط به حالتی می‌باشد که بار جانبی همزمان با

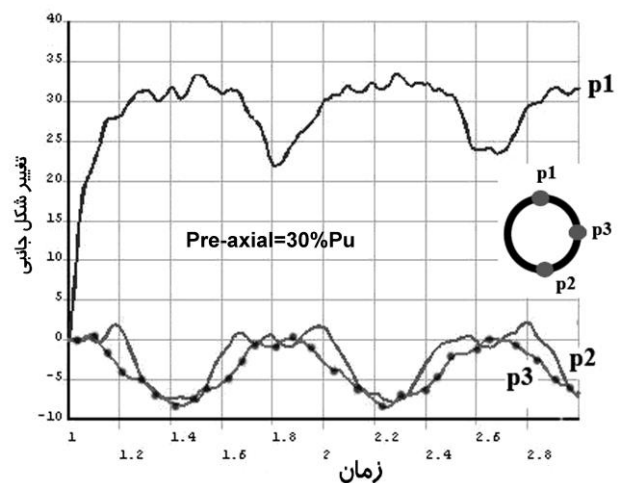
شده (در این حالت اثرات دینامیکی توسط برنامه لحاظ نمی‌شود بلکه تنها بار به چندین زیرمرحله (Substep) تقسیم شده و به تدریج افزایش پیدا می‌کند) و مقدار تغییر مکان جانبی ایجاد شده با حالت اعمال بار به شکل دینامیکی قابل بررسی خواهد بود. همانگونه که دیده می‌شود مقدار حداکثر تغییر مکان در این حالت ۲۵ میلیمتر می‌باشد در حالیکه مقدار جابجایی جانبی در حالت اعمال بار به شکل دینامیکی برای حالت بدون پیش بارگذاری محوری ۲۹ میلیمتر است.

شکل (۸): جابجایی نقاط زیر بار جانبی، مقابل و کناری لوله تحت اثر بار دینامیکی (بدون پیش بارگذاری محوری)

همانگونه که در اشکال (۷ و ۸) مشخص می‌باشد.

۱- جابجایی پشت لوله عکس دیواره مقابل بوده و هر جا که لوله به داخل فرو رفته دیواره مقابل نیز به سمت داخل متمایل شده است اما مقدار آن به مراتب کمتر از مقدار جابجایی دیواره در زیر بار جانبی می‌باشد و نشان می‌دهد که عضو دچار تغییر شکل کلی نشده و اثر بار جانبی به شکل موضعی قابل بررسی می‌باشد.

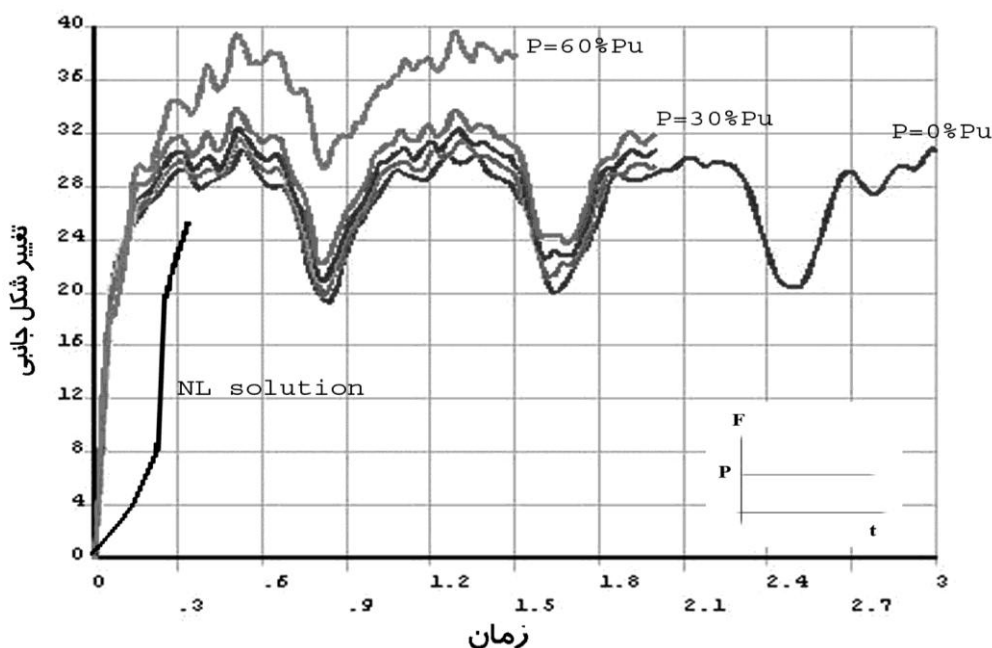
۲- با افزایش پیش بارگذاری محوری، فرکانس طبیعی عضو شکل (۸) تغییر محسوسی نداشته اما منحنی تغییر مکان نوک تیز تر بوده و نشان می‌دهد که عضو حساسیت بیشتری در مقابل ضربه جانبی پیدا کرده است.



شکل (۹): جابجایی نقاط زیر بار جانبی، مقابل و کناری لوله تحت اثر بار دینامیکی (پیش بارگذاری محوری به میزان ۳۰٪ بار محوری نهایی)

۳- با توجه به اینکه نیروی جانبی برای هر دو عضو مقداری برابر بوده است، منحنی تغییر مکان در حالت دوم (با پیش بارگذاری محوری) مقادیر بیشتری برای تغییر مکان را نشان می‌دهد یعنی تغییر مکان حداکثر در حالت اول ۳۱ میلیمتر و در حالت دوم ۳۴ میلیمتر می‌باشد. با توجه به اینکه هر چه مقدار فرو رفتگی جانبی بیشتر باشد ظرفیت باقیمانده عضو کاهش پیدا می‌کند در نتیجه با افزایش پیش بارگذاری در عضو لوله ای پس از اعمال بار جانبی ظرفیت باقیمانده کاهش پیدا خواهد کرد.

برای بررسی دقیق تر این موضوع تلاش‌های زیادی بر روی مدل انجام شده و حاصل آن در شکل (۹) دیده می‌شود. همچنین برای انجام مقایسه‌ای میان تحلیل شبه استاتیکی و آنالیز دینامیکی بار، نیروی ۸۰۰۰ نیوتن در ۰/۳۵ ثانیه نیز اعمال



شکل (۱۰): منحنیهای نیرو - تغییر مکان جانبی تحت بار جانبی دینامیکی

است. در انتها اثر دینامیکی اعمال بار با حالت تاثیر آن به شکل شبه استاتیکی و همچنین تاثير پيش بارگذاري محوري در هنگام اعمال بار جانبی در حالت دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته و به صورت منحنی های تغییر مکان بر حسب زمان ارائه شده است.

۹- خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله رفتار عضو لوله‌ای تحت تاثیر بار جانبی که در آغاز به شکل شبه استاتیکی و سپس دینامیکی بر آن وارد شد مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تاثیر پارامترهای مختلف بر پاسخ عضو در مقابل بار جانبی از جمله تغییر ضخامت و شرایط مختلف تکیه گاهی مورد بررسی قرار گرفته و نقش پيش بارگذاري محوري در توسعه آسیب هنگام برخورد جانبی و کاهش ظرفیت باربری عضو پس از آسیب بررسی شده، مشخص شد که به ازاء افزایش بار محوری از ۱۰٪ به ۳۰٪ بار نهایی، ۱۱ درصد از مقاومت نهایی عضو کاسته خواهد شد.

همچنین نشان داده شد که وجود پيش بارگذاري محوري و تاثیر بار جانبی به شکل دینامیکی شرایط واقعی تری برای بررسی اثر برخورد کشتی به سازه‌های فراساحلی را فراهم می‌کند. رفتار نقاط مختلف لوله در هنگام اعمال بار جانبی چه به صورت شبه استاتیکی و چه دینامیکی به شکل نمودارهای نیرو - تغییر مکان ارائه شده است.

مقایسه میان چگونگی محاسبه ظرفیت باقیمانده عضو در حالتی که ابتدا تغییر شکل اعمال شده و سپس بار نهایی محاسبه می‌شود با حالت پیشنهادی که در آن اثر پيش بارگذاري در هنگام اعمال بار جانبی دیده شده است انجام شده و نتایج در قالب یک نمودار ارائه شده است.

روش مناسبی برای تعیین ظرفیت باقیمانده معرفی شده

۱۰- مراجع

- [۱] Smith, C.S, Somerville, W.L, Swan, J.W, (1983), " Comparison test on full-scale and small - scale tubular bracing members Including damage effect" Dept. of Energy, Report No OTC 8079.
- [۲] Ellinas, C.P.(1984) " Ultimate strength of damaged tubular bracing member". ASCE, j. of structural Eng., Vol.110 , No.2, PP 245-259.
- [۳] Ellinas, C.P. and S Valsgard, (1985), " Collision and damage of offshore structure ". A state - of - the art , Proc. of the Forth International offshore Mechanics and Arctic Eng. Symposium American Society of Mechanical Engineers, Vol.112, No.2 PP 475-495.
- [۴] Taby, j, Moan, T.(1985) " Collapse and residual strength of damaged tubular members ". 4th International Conference on Behavior of Offshore Structures, BOSS 85, Delft, The Netherlands.
- [۵] Pacheco, L.A., Durkin, S., 1988. "Denting and collapse of tubular members": a numerical and experimental study. International Journal of Mechanical Sciences Vol.30, No.5, PP 317-331.
- [۶] J. M. Ricles , W.B. Hamport, T E Gillum , (1992) , "Residual strength of damaged offshore steel tubular bracing ". Proc. 24th Annual offshore technology Conference, OTC 6938.

- Fatt, M.S.H., Wierzbicki, T., Moussouros, M., Koenig, J., (1996). "Rigid-plastic approximations for predicting plastic deformation of cylindrical shells subject to dynamic loading". *Journal of Shock and Vibration*, Vol.3, No.3, PP169–181. [۷]
- Zeinoddini M, Harding JE, Parke GAR. "Dynamic behavior of axially pre-loaded tubular steel members of offshore structures subjected to impact damage". *Ocean Engineering* (1999);No.26,PP.963– 78. [۸]
- Allan JD, Marshall J."The effect of ship impact on the load carrying capacity of steel tubes". *Health safety Executive* (1992);OTH90 317. [۹]
- Frieze PA,Cho SR. "Impact damage and assessment of offshore tubulars". 25th Offshore Technology Conf, OTC 7152,pt.2,(1993);PP.193-200. [۱۰]
- Harding, J., Onoufriou, T., 1995. "Behaviour of ring-stiffened cylindrical members damaged by local denting". *Journal of Constructional Steel Research* Vol.33, No.3, PP. 237–257. [۱۱]
- Rambeck JF, Dahl T. "Capacity of stiffened tubular cross section subjected to concentrated load impact from ship collision".13th Int. Conf.onOffshore Mechanics and Arctic Engng, (1994), No.1, PP.449-6. [۱۲]
- Ricles, J.M., Lamport, W.B., Gillum, T.E., (1992). "Residual strength of damaged offshore steel tubular bracing". In:24th International Offshore Technology Conference, OTC 6938, pp. 585–595. [۱۳]
- Suh, M.S., (1988). "Plastic analysis of dented tubes subjected to combined loading". Ph.D. thesis. Massachusetts Institute of Technology. [۱۴]