

## بکارگیری روش شکل دهی به کمک لاستیک در انقباض موضعی لوله به منظور

### مونتاژ لوله‌ها در سازه خودرو

میثم حسینی درویشی<sup>۱\*</sup>، محمد صدیقی<sup>۲</sup>، مهرداد خاندایی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۶ خرداد ۹۲ تاریخ پذیرش: ۵ مرداد ۹۲

#### چکیده

امروزه اتصال لوله‌ها در سازه‌های خودرو مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. در این مقاله به بررسی انقباض قطر موضعی لوله فولادی St37 توسط یک رینگ لاستیکی پرداخته شده است. در مرحله اول این کار توسط نرم افزار المان محدود به صورت عددی شبیه سازی شد در ادامه به منظور اعتبارسنجی نتایج عددی این فرآیند بصورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً نتایج حاصل از آزمایش های تجربی و عددی در قالب نمودارهایی مورد مقایسه واقع گردید. در ادامه توسط روش المان محدود به بررسی مونتاژ لوله‌های فولادی با کاهش قطر موضعی در حوزه اتصال توسط رینگ لاستیکی پرداخته شده و نتایج حاصل از این شبیه سازی در قالب نمودارهایی مورد مقایسه قرار گرفت در پایان با مشاهده پروفیل تغییر شکل به مقایسه این روش با سایر روش های مونتاژ لوله پرداخته خواهد شد.

واژگان کلیدی: انقباض قطر موضعی، رینگ لاستیکی، روش المان محدود، مونتاژ لوله.

#### ۱. مقدمه

اتصال لوله‌ها در این نوع کاربردها توصیه می‌گردند. زیرا توسط این روش اتصال لوله بدون هرگونه تغییرات متالورژیکی مقدور می‌باشد. و در دراز مدت با خوردگی و شکست کمتری نسبت به اتصال جوشی روبرو می‌باشد

طی سال‌های اخیر در این راستا روش‌های گوناگونی توسط افراد مختلف پیشنهاد شده است. در سال ۱۹۸۱ روش اتصال لوله‌ها به کمک جوشکاری انفجاری توسط فاکس [۳] ارائه شده است. سپس روش بهره‌گیری از غلطک‌های فرم جهت کاهش قطر موضعی لوله‌ها و اتصال آنها توسط بوسین و همکاران ارائه

مونتاژ لوله‌ها از فرآیندهای مطرح در بسیاری از صنایع، از جمله صنایع خودروسازی و صنایع هوایی می‌باشد تاکنون روش‌های مختلفی جهت مونتاژ لوله ارائه شده است که از قدیمی ترین آنها می‌توان به اتصالات جوشی و پیچی اشاره نمود. در شکل ۲ نمونه‌ای از کاربرد جوشکاری جهت اتصال لوله‌ها در آگزور ارائه شده است.

اما اتصالات جوشی به دلیل حساسیت منطقه تحت تاثیر حرارت جوش دچار خوردگی و ایجاد ترک می‌گردند. لذا روش‌هایی نظیر کاهش قطر موضعی با رینگ لاستیکی جهت

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، mysam.darvishi@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک- دانشگاه علم و صنعت ایران

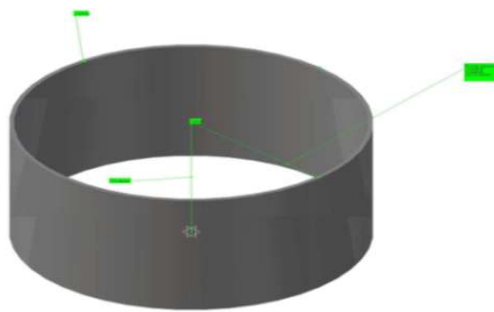
<sup>۳</sup> دکتری مهندسی مکانیک- دانشگاه علم و صنعت ایران



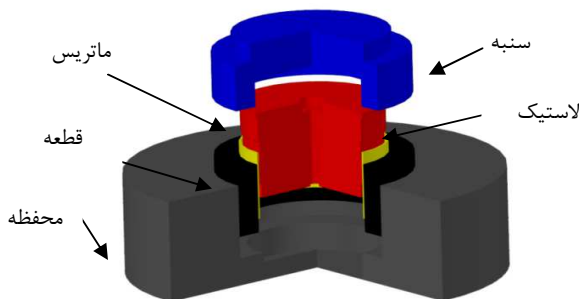
شکل ۲. اتصال جوشی لوله ها در آگروز خودرو [۲]

## ۲. معرفی هندسه قطعه و قالب

جهت بررسی تجربی و عددی کاهش قطر موضعی لوله و اعتبارسنجی نتایج عددی نمونه مورد آزمایش، یک لوله فولادی از جنس  $st37$  در نظر گرفته می‌شود. این نمونه دارای قطر داخلی  $144/9$  میلی متر و ضخامت  $2$  میلی متر و ارتفاع  $73/4$  میلی متر است که باید در وسط طول آن (به پهنای  $24$  میلی متر) کاهش قطری به اندازه  $12$  میلی‌متر ایجاد شود. در اشکال ۳ و ۴ تصاویر شماتیکی از این قطعه و قالب مورد استفاده جهت فرم‌دهی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳. مدل شماتیک قطعه فولادی



شکل ۴. طرح مونتاژی قالب به همراه اجزای آن.

شده است. چندی بعد دوان چنگ هونگ و همکاران [۵] از انبساط لوله به کمک فشار هیدرولیک جهت ایجاد اتصال لوله‌ها بهره برده‌اند. اریک وتزل و همکاران [۶] روش اتصال القایی را جهت مونتاژ لوله‌ها مطرح نموده‌اند. در این تحقیق از چسب حاوی ذرات مغناطیسی شونده و یک سیم پیچ که عامل ایجاد گرمای القایی می‌باشد، جهت اتصال لوله‌های کامپوزیتی استفاده شده است. محبی و اکبرزاده [۷] به اتصال لوله‌های فولادی بدون درز توسط روش اسپینینگ پرداخته‌اند. در این تحقیق ضمن معرفی روش، اثر دما، کاهش ضخامت، نرخ پیشروی و زاویه غلطک بر کیفیت اتصال مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش شکل‌دهی با بالشتک لاستیکی یکی از روش‌های مفید در شکل‌دهی فلزات می‌باشد که از دامنه کاربردی وسیعی در فرآیندهای تولیدی برخوردار است. از جمله آنها می‌توان به بهره‌گیری از لایه‌های انعطاف‌پذیر در کاهش قطر موضعی لوله اشاره نمود. روش کار در این فرآیند بدین صورت است که رینگ لاستیکی حول منطقه تحت تغییر فرم قرار می‌گیرد و با اعمال نیروی شعاعی موجب کاهش قطر لوله مطابق با فرم ماتریس درون آن می‌گردد. در این مقاله از کاهش قطر موضعی ایجاد شده توسط رینگ لاستیکی جهت اتصال لوله‌ها استفاده شده است. بدین منظور ابتدا شکل‌دهی لوله فولادی توسط رینگ لاستیکی به دو صورت تجربی و عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه جهت اعتبارسنجی نتایج عددی، نتایج دو روش مورد مقایسه قرار می‌گیرند. سپس به بررسی عددی مونتاژ لوله توسط کاهش قطر موضعی پرداخته خواهد شد.



شکل (۱): نمودار تغییرات استحکام کششی مواد با افزایش دما [۲]

### ۳-۳- روابط حاکم بر مدل مادی لاستیک:

الاستومرها و لاستیک‌ها به علت ماهیت فیزیکی خاصی که دارند، دارای خصوصیات متفاوتی نسبت به سایر مواد می‌باشند. به این مواد که می‌توانند کرنش‌های الاستیک بزرگ داشته باشند مواد ابر الاستیک اطلاق می‌گردد. برخی از این مواد نظیر لاستیک‌ها در برابر کرنش بالا کاهش حجم کمی پیدا می‌کنند. از اینرو جزء مواد تراکم ناپذیر در نظر گرفته می‌شوند.

مدل‌های مادی متفاوتی با فرم‌های متفاوت پتانسیل انرژی کرنش جهت تحلیل رفتار مواد ابر الاستیک تراکم ناپذیر به کار گرفته شده است. در این میان مدل Mooney-Rivlin معروف ترین مدل ساختاری مواد ابر الاستیک می‌باشد که بخصوص برای مدل‌سازی لاستیک طبیعی تراکم ناپذیر از آن استفاده می‌شود. این مدل دارای چهار شکل ۹ و ۵ و ۳ و ۲ پارامتری می‌باشد. فرم انرژی پتانسیل کرنشی برای حالت ۲ پارامتری به صورت زیر می‌باشد.

(۱)

در این رابطه  $C_{10}$  و  $C_{01}$  و  $d$  ثوابت مادی می‌باشند. مدول بالک اولیه نیز از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$K=d/2 \quad (2)$$

$$K=2(C_{10}+C_{01})/(1-2\nu) \quad (3)$$

که  $d$  در آن ضریب تراکم پذیری لاستیک می‌باشد. همچنین با توجه به روابط ۲ و ۳ می‌توان ضریب تراکم پذیری لاستیک را بصورت زیر تعریف نمود:

$$d=(1-2\nu)/(C_{10}+C_{01}) \quad (4)$$

لاستیک مورد استفاده در آزمایش از جنس لاستیک مورد استفاده در تایر تراکتور است که سختی آن 70 shore می‌باشد. خصوصیات رفتاری این لاستیک در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: خصوصیات لاستیک مورد استفاده در فرآیند

E(MPa)	$c_{01}$ (MPa)	$c_{10}$ (MPa)
16	1.805	0.8061

مطابق با شکل ۴، جهت ایجاد شیار، یک استوانه لاستیکی در پشت قطعه قرار می‌گیرد. این استوانه از بیرون توسط یک محفظه مهار می‌گردد تا از تغییر شکل‌های نامطلوب آن جلوگیری شود. همچنین باید ماتریسی با ابعاد شیار مورد نظر در قسمت درونی لوله قرار داد. سپس از یک سنبه جهت اعمال نیروی پرس به لاستیک بهره گرفته می‌شود و سنبه روی لایه لاستیکی فشار آورده و از کرنش جانبی لاستیک جهت تغییر شکل قطعه کار استفاده می‌شود.

### ۳. شبیه‌سازی اجزاء محدود فرآیند

جهت حل عددی این فرآیند از نرم افزار Ansys استفاده شده است. به منظور تسهیل در حل مسئله از تقارن آن استفاده شده و شبیه‌سازی در حالت تقارن محوری صورت می‌گیرد.

### ۳-۱- معرفی المان

المانی که جهت شبیه‌سازی لاستیک در نظر گرفته شده است، المان Hyper56 می‌باشد. جهت شبکه‌بندی نمونه مورد آزمایش، ماتریس و محفظه نیز از المان Plane42 استفاده می‌شود. نوع المان مورد استفاده (شبه بند) بند ۳۳ هر  $C_{01}$  تابع  $C_{10}$  است.  $\nu = 0.27$  می‌باشد. لذا هر بخش باید توسط المان‌های مربوط به خود شبکه‌بندی گردد.

### ۳-۲- معرفی مواد

جهت تعریف مدل مادی فولاد باید پس از تعریف رفتار خطی، رفتار غیر خطی آن را در منطقه پلاستیک تعریف نمود. با توجه به نوع فولاد می‌توان با تقریب خوبی رفتار ماده در منطقه پلاستیک را بصورت خطی تعریف نمود. از اینرو می‌توان از مدل Bilinear Isotropic Hardening استفاده نمود. در این مدل رفتار مواد توسط دو خط مستقیم از منحنی تنش و کرنش تعریف می‌شود که به شیب خط اول مدول الاستیسیته (E) و به شیب خط دوم مدول مماسی ( $E_t$ ) می‌گویند. در جدول ۱ مشخصات فولاد st37 ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فولاد st37 [۸]

E (GPa)	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$\nu$	$E_t$ (MPa)
210	2	410	0.27	768

### ۳-۴- محاسبه ضریب پواسون لاستیک

با در اختیار داشتن مدول بالک و ضرایب تغییر شکل می توان ضریب پواسون لاستیک را محاسبه نمود. همچنین از طرفی طبق روابط زیر داریم:

$$P=k.e \quad (5)$$

که در آن:

$P=\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z$  ،  $e=\epsilon_x+\epsilon_y+\epsilon_z$   
 به منظور کالیبراسیون  $\nu$ ، با توجه به رابطه ۵، با قرار دادن لاستیک درون محفظه و اعمال فشار مشخص به آن و اندازه گیری میزان کرنش آن، مقدار مدول بالک محاسبه می گردد و با جایگذاری آن در رابطه ۳ ضریب پواسون بدست می آید.

$$\nu=0.495$$

### ۳-۵- بارگذاری

پس از تعریف المانهای تماسی باید بارگذاری لازم انجام شده، و مسئله را حل نمود. بارگذاریهایی که جهت انجام این فرآیند مورد نیاز است شامل تعریف خط تقارن محوری، مقید کردن گره-های ماتریس و محفظه در تمام راستاها و جابجایی گرههای فوقانی لاستیک در راستای  $Y$  می باشد.

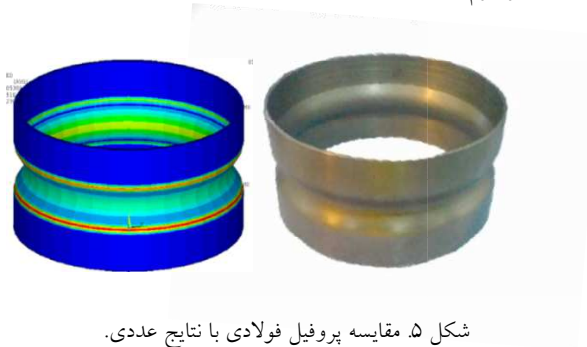
### ۴. آزمایش تجربی و اعتبار سنجی نتایج عددی

در این بخش با توجه به نتایج بدست آمده از حل عددی به بررسی تجربی فرآیند پرداخته خواهد شد. به منظور حصول نتایج دقیقتر باید در هنگام آزمایش تا حد ممکن از عواملی که تاثیر نامطلوب روی فرآیند دارند، اجتناب گردد. که از جمله آنها می توان به مواردی نظیر اصطکاک، هم محوری اجزای قالب و پرس و نحوه اعمال نیرو اشاره نمود.

جهت مونتاژ قالب، هر یک اجزاء، پس از روغنکاری در موقعیت مربوط به خود محکم می گردند. در هنگام موقعیت دهی لاستیک باید دقت نمود تا لبه های قطعه کار و قسمت پائینی ماتریس روی یکدیگر قرار نگیرد و موجب ایجاد آسیب دیدگی در لاستیک

نگردد. در نهایت سنبه روی لاستیک که سطح آن کاملاً تحت روانکاری قرار گرفته موقعیت دهی می شود و پس از از هم محور نمودن سنبه با محور جک پرس، نیرو روی لاستیک اعمال شده و قطعه خارج می گردد.

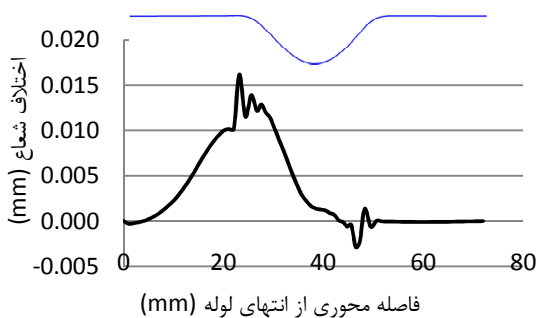
در شکل ۵ قطعه فرم دهی شده با قطعه ای که در شبیه سازی پس از تغییر فرم دست آمده مقایسه شده است.



شکل ۵. مقایسه پروفیل فولادی با نتایج عددی.

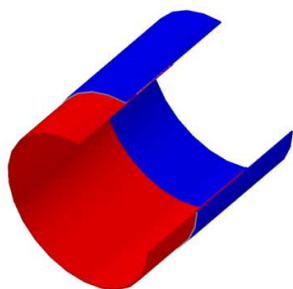
نکته قابل توجه در پایان آزمایش، عدم چین خوردگی در قطعه نهایی می باشد. در توجیه این پدیده باید این چنین گفت که عامل اصلی عدم پیدایش چروکیدگی در قطعه، حضور لاستیک می باشد. این امر به دو دلیل می باشد. لاستیک از یک سو با فشاری که روی قطعه وارد می کند مانند یک ورق گیر عمل کرده و موجب کنترل جریان ورق می گردد. و از سوی دیگر با افزایش فشار، سطح لاستیک سخت تر شده و این سطح سخت به منطقه تحت تغییر شکل از پشت قطعه فشار وارد نموده و مانع ایجاد چروکیدگی در قطعه می گردد. به منظور بررسی دقیق تر نتایج تجربی و عددی، در اشکال ۶ و ۷ منحنی های اختلاف شعاع در سطوح داخلی و خارجی نمونه حاصل

از دو روش عددی و تجربی مورد بررسی قرار می گیرد.

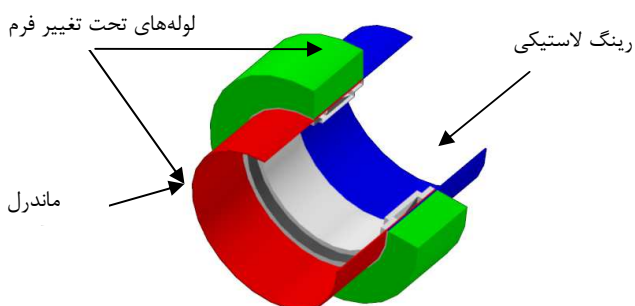


شکل ۶. اختلاف کاهش شعاع داخلی نتایج عددی و تجربی.

پس از مونتاژ در درون لوله‌ها ثابت می‌ماند. نحوه قرارگیری دو لوله و تجهیزات قالب در اشکال ۸ و ۹ ارائه شده است.

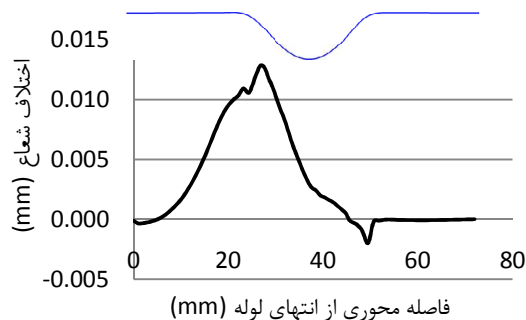


شکل ۸. نحوه جایگیری لوله‌ها در درون هم.



شکل ۹. قالب و محل استقرار اجزای آن

همانطور که از شکل پیداست ماندرل در داخل لوله کوچکتر در محل تحت تغییر فرم قرار می‌گیرد. میزان عمق شیار ایجاد شده روی ماندرل ۴ میلیمتر می‌باشد. رینگ لاستیکی از بیرون گرداگرد لوله بزرگتر قرار می‌گیرد. سپس لاستیک توسط یک محم پیرامون آن را در بر می‌گیرد مهار می‌گردد و بدین وسیله از تغییر فرم‌های نامطلوب آن حین فرآیند جلوگیری می‌گردد. روند فرآیند بدین ترتیب است که با اعمال یک نیروی محوری به لاستیک باعث ایجاد کرنش جانبی در آن شده و به دنبال آن موجب ایجاد کاهش قطر در لوله می‌شود. نهایتاً لوله‌ها وارد شیار ماندرل شده و دستخوش کاهش قطر در آن محل می‌گردند. بدین ترتیب پس از خارج کردن لاستیک، لوله‌ها به یکدیگر متصل شده و نسبت به هم در جهت محوری ثابت می‌شوند. در ادامه به شبیه‌سازی فرآیند توسط نرم افزار المان محدود پرداخته می‌شود.

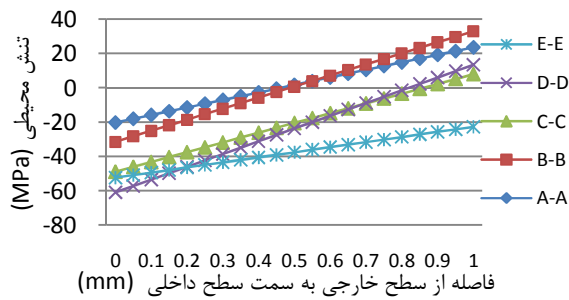


شکل ۷. اختلاف کاهش شعاع خارجی نتایج عددی و تجربی.

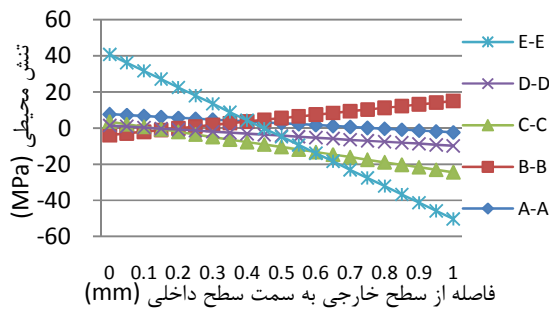
همانطور که از دیاگرام‌ها پیداست نتایج در دو حالت از انطباق بالایی برخوردارند. از آنجا که ماکزیمم خطای نتایج تجربی و عددی ۳/۸ درصد است می‌توان به دقت نتایج شبیه‌سازی در فرآیند شکل‌دهی با بالشتک لاستیکی پی برد. البته اهمیت این مطلب در فرآیندی نظیر شکل‌دهی با بالشتک لاستیکی، که اطلاعات طراحی و تئوری دقیق از فرآیند در دسترس نمی‌باشد، بیشتر است.

#### ۵. بررسی اتصال لوله‌ها توسط رینگ لاستیکی

در بخش قبل مشاهده شد که نتایج شبیه‌سازی و نتایج آزمایش تجربی از انطباق بالایی برخوردار هستند. لذا می‌توان از شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار قابل اعتماد در پیش‌بینی رفتار مواد و میزان تنش‌های اعمالی استفاده نمود. در این بخش با تکیه بر اعتبار کسب شده در بکارگیری از حل عددی در پیش‌بینی رفتار مواد به بررسی عددی مونتاژ لوله توسط رینگ لاستیکی پرداخته خواهد شد. نمونه‌های مورد بررسی دو لوله از فولاد st37 می‌باشند که یکی از آنها دارای شعاع داخلی ۳۰ میلیمتر و شعاع خارجی ۳۱ میلیمتر و ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر می‌باشد. نمونه بعدی دارای شعاع داخلی ۳۱ میلیمتر و شعاع خارجی ۳۲ میلیمتر و ارتفاع ۱۰۰ میلیمتر می‌باشد. این لوله کوچکتر باید به اندازه ۵ میلیمتر بطور سر به سر و در راستای محور وارد لوله بزرگتر شده و سپس مونتاژ گردند. جهت ایجاد کاهش قطر موضعی در محل اتصال از یک ماندرل به جای ماتریس استفاده می‌گردد. این ماندرل جهت کاهش وزنه قطعه باید توخالی و لوله مانند باشد و



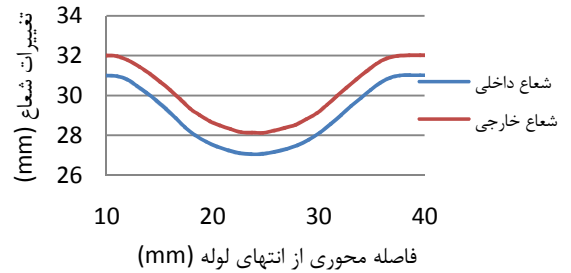
شکل ۱۳. تغییرات تنش محیطی در لوله کوچکتر



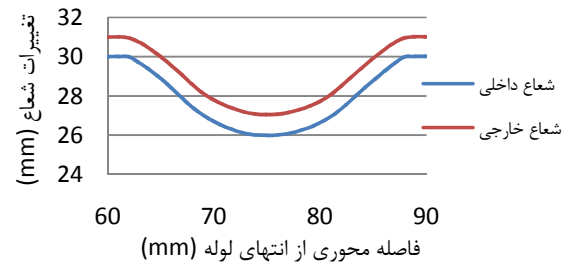
شکل ۱۴. تغییرات تنش محیطی در لوله بزرگتر

همانگونه که از نمودارها پیداست، در هر دو لوله تنش‌های پسماند در سطح خارجی در بیشترین مقدار کششی قرار دارد که رفته‌رفته به سمت سطح داخلی به صفر گراییده و بعضاً در برخی نقاط در سطح داخلی به تنش‌های فشاری تبدیل شده است. این تنش‌های پسماند محیطی معرف میزان استحکام اتصال می‌باشند. زیرا مانند کمربندی حول حوزه اتصال، دو لوله را نسبت به هم ثابت نموده و مانع از جابجا شدن آنها نسبت به هم می‌گردد. نکته‌ای دیگری که در خصوص افزایش استحکام اتصال مطرح می‌باشد، میزان تنش‌های پسماند شعاعی در سطوح متقابل لوله‌ها می‌باشد. در شکل ۱۵ نمودار تنش‌ها پسماند در سطح خارجی لوله درونی ارائه شده است.

پس از مدل کردن نمونه مطابق با هندسه تجهیزات، نحوه شبکه‌بندی و تعریف خصوصیات فیزیکی مانند مرحله قبل می‌باشد. نهایتاً مسئله بارگذاری و حل می‌گردد. جهت تحلیل نتایج، نخست به بررسی منحنی تغییر شکل در نمونه‌ها پرداخته می‌شود. بدین منظور منحنی تغییر شکل در حوزه اتصال برای هر یک از نمونه‌ها ارائه می‌گردد.

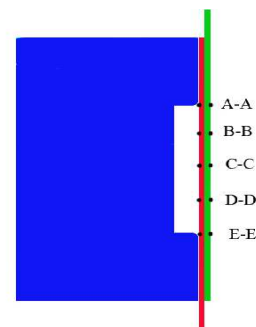


شکل ۱۰. پروفیل تغییر شعاع در لوله بزرگتر



شکل ۱۱. پروفیل تغییر شعاع در لوله کوچکتر

در ادامه پس از ارائه منحنی‌های تغییر شکل، جهت بررسی تنش‌های موجود در لوله‌ها و تعیین نوع آنها، منحنی تغییرات تنش-های پسماند شعاعی ارائه می‌گردد. این توزیع تنش در پنج نقطه از حوزه تحت تغییر فرم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۱۲ مکان این نقاط قابل مشاهده می‌باشد.

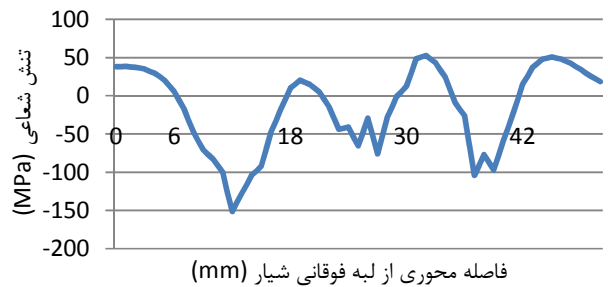


شکل ۱۲. مکان نقاط بررسی در محل اتصال

با توجه به فیزیک فرآیند پیداست که بیشترین مقدار کرنش پلاستیک در وسط شیار اعمال شده است. از سوی دیگر با توجه به شکل ۱۶ مشاهده می‌شود با افزایش فاصله از وسط شیار به سمت کناره‌ها، رفته‌رفته از میزان کرنش پلاستیک کاسته شده و وارد منطقه تغییر شکل الاستیک می‌شویم. لذا اگر بتوان در حین تغییر فرم گستره وسیع‌تری را در مرکز شیار وارد محدوده تغییر فرم پلاستیک نمود آنگاه با بازگشت فنری کمتری روبرو می‌باشیم و در نتیجه این مسئله لوله‌ها در حوزه اتصال پس از باربرداری از استحکام بالاتری برخوردار خواهند بود.

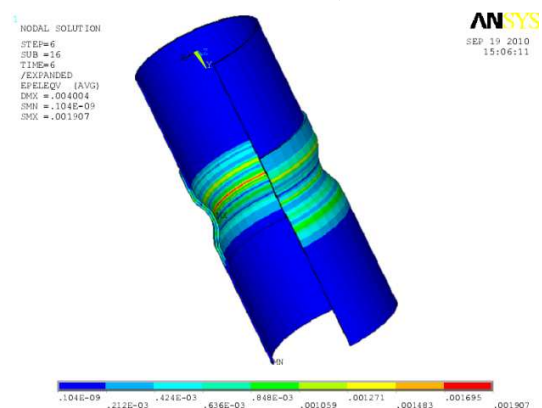
#### ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی مونتاژ لوله‌ها توسط لایه‌های انعطاف‌پذیر پرداخته شد. و همانطور که از دیاگرام‌های مشاهده شد، لوله‌ها بطور کامل در راستای محور نسبت به هم ثابت شدند همچنین می‌توان با افزایش عمق شیار بر استحکام اتصال افزود. با توجه به نتایج استخراج شده از حل عددی، این روش را می‌توان به عنوان یک روش کاربردی در زمینه مونتاژ لوله‌ها معرفی نمود که علاوه بر اینکه کیفیت سطوح در نقاط اتصال حفظ می‌گردد، نظیر سایر روش‌های سنتی مثل جوشکاری موجب ایجاد تغییرات متالورژیکی در ساختار لوله‌ها نمی‌شود. همچنین می‌تواند برای اتصال لوله‌هایی از جنس‌های مختلف که امکان اتصال آنها توسط سایر فرآیندها مقدور نیست، بکار گرفته شود.



شکل ۱۵. تنش شعاعی در سطح خارجی لوله کوچکتر

میزان تنش‌های ارائه شده در سطح خارجی لوله کوچکتر در تناظر مستقیم با تنش‌های شعاعی در سطح داخلی لوله بزرگتر می‌باشد. و عملاً همین برهم کنش تنش‌های شعاعی در دو لوله موجبات اتصال محکم‌تر و تقید دو لوله را از جابجایی نسبت به هم فراهم می‌آورد. بنابراین افزایش تنش‌های پسماند شعاعی موجود در فصل مشترک لوله‌ها از دیگر عوامل افزایش کیفیت اتصال می‌باشد. نکته دیگری که در خصوص افزایش استحکام اتصال مطرح می‌باشد، کاهش میزان بازگشت فنری پس از باربرداری می‌باشد. چرا که با افزایش بازگشت فنری پس از باربرداری موجبات کاهش درگیری میان لوله‌ها و نهایتاً کاهش استحکام اتصال فراهم می‌آید. نسبت منطقه تحت تغییر شکل پلاستیک به منطقه تحت تغییر فرم الاستیک به نوعی معرف میزان بازگشت فنری ایجاد شده در لوله‌ها پس از باربرداری می‌باشد [۱۰]. لذا با افزایش نسبت منطقه تحت تغییر شکل پلاستیک به نسبت منطقه تحت تغییر فرم الاستیک می‌توان میزان بازگشت فنری را کاهش داد. در شکل ۱۶ کانتور کرنش الاستیک فون مایسز پس از بار برداری ارائه شده است



شکل ۱۶. کانتور کرنش الاستیک فون مایسز

- [1] <http://forums.pelicanparts.com/uploads16/1+Frame1+basic1262178302.jpg>
- [2] [http://www.spintechmufflers.com/ford/mustang-cat-backs/mt6196634-prostreet-2-1/2-39-96-39-04/prod\\_507.html](http://www.spintechmufflers.com/ford/mustang-cat-backs/mt6196634-prostreet-2-1/2-39-96-39-04/prod_507.html)
- [3] Fox, E.A., "Explosive Welded Tube-To-Tube sheet Joint—A Proven Alternative", Second Symposium on Shell and Tube Heat Exchangers, Houston, Texas, Sep. pp.14–16, 1981.
- [4] Busine, D., Guerrand, B., Martinovich, M. AND Slama, G., "French Experience in Tube-To-Tube sheet Joint Technology For Steam Generators," Paper B-5 International Conference on Expanded and Rolled Joint Technology, Conference Proceedings, Toronto, Canada. 1993.
- [5] Duan, C., Baogang, C., Hong, X., "Simulation of Hydrolically Expanded Tube-To-Tube sheet Joint Considering Strain Hardening Effect, Bauschinger Effect and Temperature Effect", Proceedings of ninth International Conference on Pressure Vessel Technology, Sydney, Australia, April. pp.9-14, 2000.
- [6] Eric D. W., William A., Spurgeon, P. and Christian J. Y., "Induction Bonding for Structural Composite Tubes", Army Research Laboratory Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5069, 2002.
- [7] Mohebbi, M.S., Akbarzadeh, A., "A novel spin-bonding process for manufacturing multilayered clad tubes", Journal of Materials Processing Technology. 210, 510-517, 2010.
- [8] Herbert, U., Verlag, M., "Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains", Diss München Techn. Univ, 2008.
- [9] Mohsenimanesh, A., Ward, S.M., Gilchrist, M.D. " Stress analysis of a multi-laminated tractor tyre using non-linear 3D finite element analysis", Materials and Design 30, 1124–1132, 2009.
- [10] Kadkhodayan, M., "Investigation into the Influence of Deformable Dies on the Springback of Circular Plates", Scientia Iranica, Vol. 13, No. 2, pp. 201-205, 2006.