



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

12-10 اسفند ماه 1388

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



انجمن مهندسی
ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۲-۱۰ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی
نوشیروانی بابل

مقاله کامل شفاهی

یافتن مسیرهای بارگذاری بهینه در فرآیند هیدروفورمینگ لوله‌های T شکل

مهران کدخدایان^۱، احمد عرفانی مقدم*^۲، مهدی حیدری^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، kaakhoda@um.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، aerfani@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مقاله با رویکرد جدیدی در زمینه بهینه‌سازی، هیدروفورمینگ اتصالات T شکل مطالعه می‌شود. تحلیل آماری بر روی پارامترهای بارگذاری نشان می‌دهد که برخی از متغیرهای بارگذاری بر روی تغییر شکل لوله تاثیر چندانی ندارند. لذا، برای مطالعه دقیق‌تر مسیرهای بارگذاری، این متغیرها با مقادیر ثابت بهینه جایگزین می‌گردند. در ادامه شش متغیر موثر بارگذاری انتخاب و برای هر متغیر محدوده مینیمم و ماکزیمم تعیین می‌شود. برای تعیین ارتباط ریاضی بین متغیرهای بارگذاری و پارامترهای تغییر شکل از روش طراحی آزمایشات (DOE)، بر مبنای روش Full Factorial استفاده می‌گردد. بر اساس آزمایش‌های دو سطحی مینیمم و ماکزیمم، ۶۴ مسیر بارگذاری طراحی می‌شود. رفتار تغییر شکل لوله توسط هر مسیر بارگذاری، توسط شبیه‌سازی اجزا محدود تحلیل می‌شود. با تحلیل رگرسیون، مینیمم ضخامت و ماکزیمم ارتفاع شاخه لوله بر اساس متغیرهای بارگذاری مدل‌سازی می‌گردد. برای بهینه‌سازی متغیرهای بارگذاری از الگوریتم تبرید تدریجی استفاده می‌شود و به این ترتیب مسیرهای بارگذاری برای تولید اتصالات مطلوب بدست می‌آیند.

واژه‌های کلیدی: هیدروفورمینگ- اجزا محدود- بهینه‌سازی- الگوریتم تبرید تدریجی



یافتن مسیرهای بارگذاری بهینه در فرآیند هیدروفرمینگ لوله‌های T شکل

مهران کدخدایان¹، احمد عرفانی مقدم^{2*}، مهدی حیدری³

1- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، kadkhoda@um.ac.ir

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، aerfani@gmail.com

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مقاله با رویکرد جدیدی در زمینه بهینه‌سازی، هیدروفرمینگ اتصالات T شکل مطالعه می‌شود. تحلیل آماری بر روی پارامترهای بارگذاری نشان می‌دهد که برخی از متغیرهای بارگذاری بر روی تغییر شکل لوله تاثیر چندانی ندارند. لذا، برای مطالعه دقیق‌تر مسیرهای بارگذاری، این متغیرها با مقادیر ثابت بهینه جایگزین می‌گردند. در ادامه شش متغیر موثر بارگذاری انتخاب و برای هر متغیر محدوده مینیمم و ماکزیمم تعیین می‌شود. برای تعیین ارتباط ریاضی بین متغیرهای بارگذاری و پارامترهای تغییر شکل از روش طراحی آزمایشات (DOE)، بر مبنای روش Full Factorial استفاده می‌گردد. بر اساس آزمایش‌های دو سطحی مینیمم و ماکزیمم، 64 مسیر بارگذاری طراحی می‌شود. رفتار تغییر شکل لوله توسط هر مسیر بارگذاری، توسط شبیه‌سازی اجزا محدود تحلیل می‌شود. با تحلیل رگرسیون، مینیمم ضخامت و ماکزیمم ارتفاع شاخه لوله بر اساس متغیرهای بارگذاری مدل‌سازی می‌گردد. برای بهینه‌سازی متغیرهای بارگذاری از الگوریتم تبرید تدریجی استفاده می‌شود و به این ترتیب مسیرهای بارگذاری برای تولید اتصالات مطلوب بدست می‌آیند.

واژه‌های کلیدی: هیدروفرمینگ - Full Factorial - اجزا محدود - بهینه‌سازی - الگوریتم تبرید تدریجی

1- مقدمه

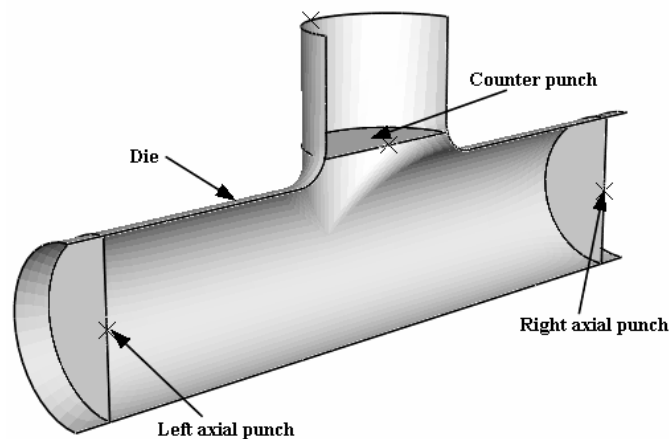
کاربرد روزافزون قطعات لوله‌ای شکل در صنایع مختلف به دلیل دارا بودن مقاوت خمشی بالاتر و در عین حال وزن کمتر در مقایسه با قطعات توپر سبب گردیده است تا روش هیدروفرمینگ مورد توجه محققان قرار گیرد. بهبود کیفیت و تولید قطعات پیچیده، کاهش عملیات ثانویه و کاهش میزان ضایعات از مهمترین مزایای این روش محسوب می‌شود [1]. از میان قطعاتی که به وسیله این روش تولید می‌شوند می‌توان به اتصالات T و X شکل، اتصالات زاویه‌دار مانند Y شکل، اگزوزها و کلاهک موشک اشاره نمود [1]. از پارامترهای موثر در این فرآیند می‌توان به چگونگی تغییر عوامل بارگذاری اشاره نمود. تعیین چگونگی اعمال پارامترهای بارگذاری به طراحی مسیر بارگذاری تعبیر می‌شود. به دلیل پیچیدگی پارامترهای بارگذاری و شرایط آن‌ها در طول فرآیند محققان بسیاری به بررسی و مطالعه این موضوع پرداخته‌اند. کوک [2] با استفاده از شبیه‌سازی اجزا محدود دو بعدی، پارامترهای هندسی و شرایط بارگذاری فرآیند را بررسی کرد. لانگ [3] به مطالعه مسیرهای بارگذاری بر مبنای چگونگی ایجاد چروکیدگی پرداخت. کانگ [4] با استفاده از حل‌های عددی و تحلیلی، حدود شکل‌دهی فرآیند هیدروفرمینگ لوله را تحت بارگذاری ترکیبی فشار داخلی و جابجائی محوری مطالعه نمود. چن [5] رابطه فشار تغییر شکل با متغیرهای ابعادی لوله در فرآیند هیدروفرمینگ را تحلیل کرد. نارسیمهان [6] تاثیر پارامترهای بارگذاری یعنی فشار داخلی و جابجائی محوری بر روی تاریخچه تنش و کرنش در فرآیند بالچینگ را بررسی نمود. ژانگ [7] به منظور به‌دست آوردن پارامترهای شکل‌دهی بهینه در هیدروفرمینگ این قطعات یک روش جدید با ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی اجزا محدود استفاده نمود. آبدرابو [8] با استفاده از ترکیب یک روش بهینه‌سازی و روش اجزا محدود، با هدف ماکزیمم کردن قابلیت شکل‌پذیری لوله به مطالعه فشار



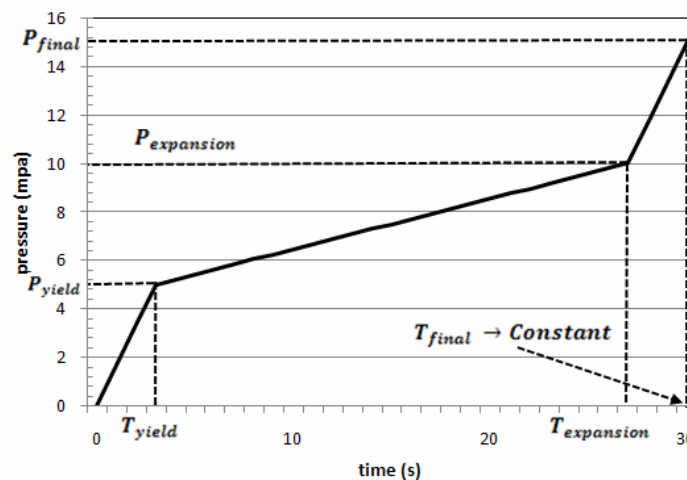
داخلی و جابجائی پانچ‌های محوری بهینه پرداخت. در این مطالعه با توجه به مطالعه قبلی نویسندگان با حذف متغیرهای بارگذاری با تاثیر کم، با تغییر روش طراحی آزمایش‌ها از رگرسیون با درجات بالا برای بهینه‌سازی استفاده شد. با بهینه‌سازی فرآیند به روش الگوریتم تبرید تدریجی نتایج بسیار مطلوبی برای تغییر شکل لوله حاصل گردید.

2- روش تحقیق

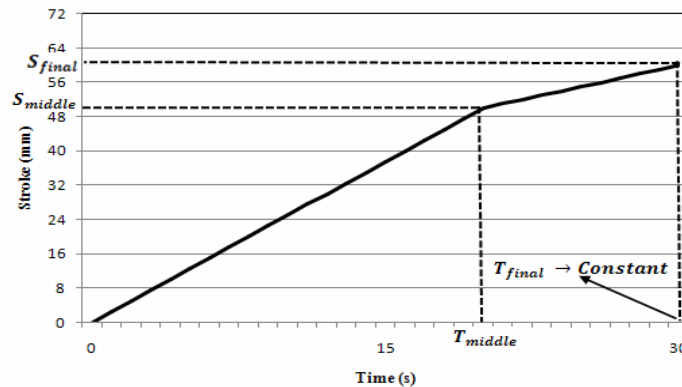
برای مطالعه تاثیر پارامترهای بارگذاری، در ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی شبیه‌سازی گردید که این مدل مونتاژ شده بدون لوله در شکل 1 نشان داده شده است. بعد از تأیید مدل شبیه‌سازی بر مبنای مطالعات انجام شده سه مسیر بارگذاری برای فشار داخلی، پانچ‌های محوری و پانچ متقابل طراحی گردید که در شکل‌های 2، 3 و 4 به ترتیب نمایش داده شده‌اند. با مطالعه دقیق‌تر بر روی این سه مسیر بارگذاری، 11 متغیر موثر در تغییر شکل شناسایی شد که با در نظر گرفتن آن‌ها طراح قادر است مسیرهای بارگذاری را برای فرآیند طراحی نماید. بر مبنای شکل 2 برای فشار داخلی لوله چهار متغیر در نظر گرفته شده است و به همین ترتیب برای جابجائی دو پانچ محوری سه متغیر و برای پانچ متقابل چهار متغیر طراحی شد. جابجائی پانچ متقابل بر مبنای موقعیت اولیه و نهائی پانچ محاسبه می‌گردد که به این ترتیب برای پانچ متقابل چهار متغیر در نظر گرفته شد.



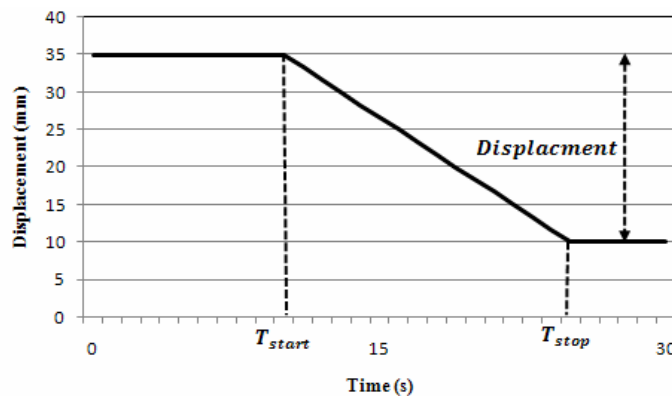
شکل 1- نصف مدل شبیه‌سازی شده منهای لوله



شکل 2- منحنی توزیع فشار با متغیرهای مربوطه

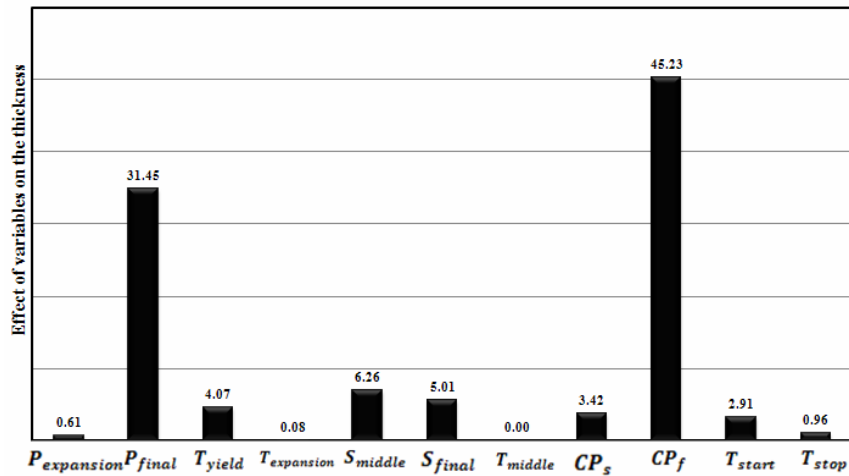


شکل 3- منحنی توزیع فشار با متغیرهای مربوطه

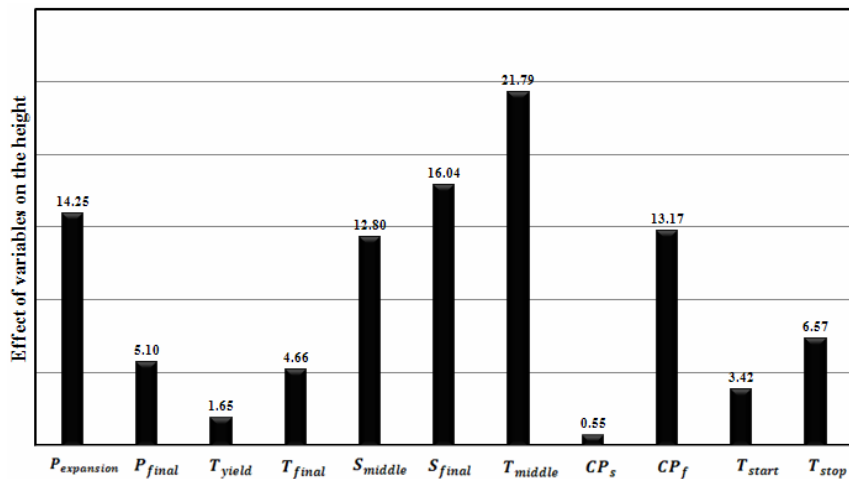


شکل 4- منحنی توزیع فشار با متغیرهای مربوطه

بر مبنای این 11 متغیر و با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها، بر مبنای طرح تاگوچی 32 مسیر بارگذاری طراحی گردید. این مسیرهای بارگذاری بر روی فرآیند شبیه‌سازی و نتایج حاصل از اعمال این مسیرهای بارگذاری برای ضخامت مینیمم و ارتفاع شاخه ماکزیمم محاسبه شد. حال می‌توان چگونگی تغییر پارامترهای خروجی را بر اساس متغیرهای ورودی تحلیل نمود. در اینجا با انجام تحلیل رگرسیون بر روی متغیرهای ورودی و پارامترهای خروجی، میزان تاثیر گذاری پارامترهای بارگذاری سنجیده می‌شود که این کار در شکل 5 برای ضخامت و در شکل 6 برای ارتفاع شاخه انجام گرفته است. همانگونه که از دو شکل 5 و 6 مشاهده می‌شود تاثیر برخی از پارامترها بر روی تغییر شکل لوله بسیار ناچیز می‌باشد. بنابراین به منظور مطالعه دقیق و تعیین مسیرهای بارگذاری بهینه این متغیرها حذف و به جای آن‌ها مقادیر ثابت جایگزین شدند. با انجام بهینه‌سازی به وسیله الگوریتم تبرید تدریجی این مقادیر ثابت محاسبه شدند و به این ترتیب طراحی بر مبنای 11 متغیر به 6 متغیر کاهش یافت. در ادامه برای این 6 متغیر بارگذاری محدوده جدیدی طراحی شد که در جدول 1 آورده شده است. چنانچه گفته شد، موقعیت اولیه و نهایی پنج متقابل به عنوان مجهول انتخاب شده است که موقعیت اولیه با CPs و موقعیت نهایی با CPf در دو شکل 5 و 6 مشخص شده است. باید توجه داشت که هر یک از 11 پارامتر بارگذاری متغیر می‌باشند و مسیرهای بارگذاری طراحی شده لزوماً مشابه سه شکل 2، 3 و 4 نیستند بلکه حتی شاید به طور کامل متفاوت باشند که این امر توسط طرح آزمایشات تاگوچی مشخص می‌شود. انتخاب متغیرهای جدید بر مبنای بیشترین تاثیرگذاری هر متغیر بر روی دو مشخصه ضخامت و ارتفاع شاخه صورت گرفته است. در اینجا به منظور جلوگیری از افزایش حجم مقاله از ذکر جزئیات خودداری شده است و خوانندگان می‌توانند به مطالعه قبلی نویسندگان رجوع نمایند.



شکل 5- درصد تاثیر گذاری پارامترهای ورودی بر روی مینیمم ضخامت لوله



شکل 6- درصد تاثیر گذاری پارامترهای ورودی بر روی ارتفاع شاخه ماکزیمم نهائی

جدول 1- جدول مقادیر سطوح متغیرهای ورودی

شماره	فاکتور	واحد	نماد	سطح مینیمم (-)	سطح ماکزیمم (+)
1	فشار انبساط	Mpa	P_{exp}	7.5	11
2	فشار نهائی	Mpa	P_{final}	12	14
3	جابجائی اولیه پانچ محوری	mm	S_{middle}	50	56
4	جابجائی نهائی پانچ محوری	mm	S_{final}	61	65
5	زمان جابجائی اولیه پانچ محوری	s	T_{middle}	23	27
6	موقعیت نهائی پانچ متقابل	mm	CP_f	74	80



3- طراحی آزمایشات

با توجه به کاهش متغیرهای ورودی، می توان تمامی حالات ممکن را در نظر گرفت به این منظور از طرح Full Factorial برای طراحی آزمایشها استفاده و به این ترتیب 64 آزمایش طراحی شد. این 64 آزمایش توسط Abaqus/Explicit شبیه سازی شد و نتایج مربوط به آن مطابق جدول 2 می باشد. با توجه به حجم زیاد جدول تنها نتایج مربوط به 4 تحلیل آورده شده است.

جدول 2- جدول Full factorial به همراه نتایج شبیه سازی

N	Pexpan	Pfinal	Smiddle	Sfinal	Tmiddle	CPf	T (mm)	H (mm)
1	+	+	-	-	-	-	2.53	39.18
2	-	-	-	+	+	+	2.51	42.97
.
.
63	-	+	+	-	-	-	2.58	37.01
64	+	+	+	+	-	-	2.57	40.19

4- مدل سازی رگرسیونی

در این بخش به کمک نتایج بدست آمده و با استفاده از نرم افزار آماری Minitab توابع ضخامت و جابجائی بر حسب متغیرهای ورودی محاسبه گردید. در اینجا دو تحلیل بر روی خروجیها انجام گرفته است که در مجموع توابع مربوطه به وسیله 2 مدل تقریب زده شده است که شامل مدل رگرسیونی خطی کامل و مدل رگرسیونی سهموی کامل است.

4-1- مدل رگرسیون خطی کامل برای دو خروجی ضخامت و ارتفاع

$$\text{Thickness} = 3.28 - 0.00638 \text{ Pexpan} - 0.00898 \text{ Pfinal} + 0.00180 \text{ Smiddle} + 0.00605 \text{ Sfinal} - 0.00535 \text{ Tmiddle} - 0.0121 \text{ CPf} \quad (1)$$

$$\text{Height} = - 24.3 + 0.440 \text{ Pexpan} + 0.136 \text{ Pfinal} - 0.160 \text{ Smiddle} + 0.477 \text{ Sfinal} + 0.289 \text{ Tmiddle} + 0.394 \text{ CPf} \quad (2)$$

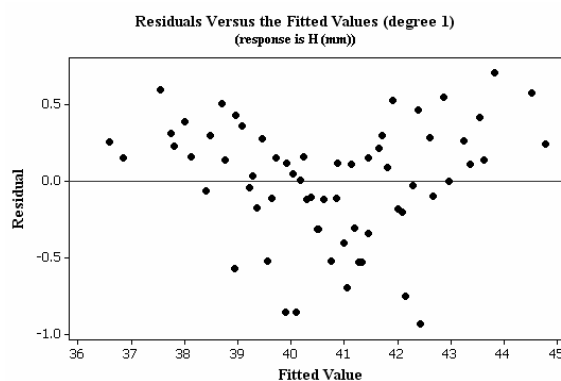
4-2- مدل رگرسیون سهموی کامل برای دو خروجی ضخامت و ارتفاع

$$\begin{aligned} \text{Thickness} = & 11.6 - 0.191 \text{ Pexpan} + 0.0555 \text{ Pfinal} - 0.0357 \text{ Smiddle} - 0.123 \text{ Sfinal} - 0.0412 \\ & \text{Tmiddle} - 0.0727 \text{ CPf} + 0.00237 \text{ Pexpan Pfinal} + 0.000074 \text{ Pexpan Smiddle} - 0.000469 \\ & \text{Pexpan Sfinal} - 0.000558 \text{ Pexpan Tmiddle} + 0.00251 \text{ Pexpan CPf} + 0.000026 \text{ Pfinal Smiddle} \\ & + 0.00184 \text{ Pfinal Sfinal} - 0.00020 \text{ Pfinal Tmiddle} - 0.00258 \text{ Pfinal CPf} + 0.000820 \text{ Smiddle} \\ & \text{Sfinal} + 0.00118 \text{ Smiddle Tmiddle} - 0.000582 \text{ Smiddle CPf} - 0.00131 \text{ Sfinal Tmiddle} + \\ & 0.00129 \text{ Sfinal CPf} + 0.000820 \text{ TmiddleCPf} \end{aligned} \quad (3)$$

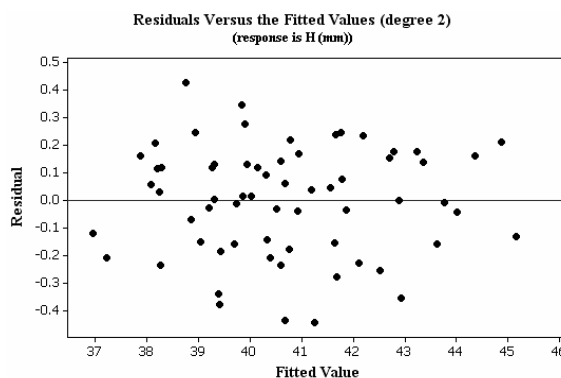
$$\begin{aligned} \text{Height} = & 195 - 1.91 \text{ Pexpan} - 1.72 \text{ Pfinal} - 0.740 \text{ Smiddle} - 1.66 \text{ Sfinal} - 0.886 \text{ Tmiddle} - 2.18 \\ & \text{CPf} - 0.0421 \text{ Pexpan Pfinal} + 0.00298 \text{ Pexpan Smiddle} - 0.0142 \text{ Pexpan Sfinal} + 0.00920 \\ & \text{Pexpan Tmiddle} + 0.0442 \text{ Pexpan CPf} + 0.0056 \text{ Pfinal Smiddle} - 0.0086 \text{ Pfinal Sfinal} + \\ & 0.0170 \text{ Pfinal Tmiddle} + 0.0268 \text{ Pfinal CPf} + 0.0102 \text{ Smiddle Sfinal} + 0.00245 \text{ Smiddle} \\ & \text{Tmiddle} - 0.00288 \text{ Smiddle CPf} - 0.00547 \text{ Sfinal Tmiddle} + 0.0257 \text{ Sfinal CPf} + 0.0141 \\ & \text{Tmiddle CPf} \end{aligned} \quad (4)$$

**3-4- صحنه گذاری**

بررسی فرض مستقل بودن باقیمانده‌ها و هم‌واریانس بودن (داشتن واریانس صفر) از طریق رسم نمودار باقیمانده‌ها در برابر مقادیر پیش‌بینی قابل کنترل است. اگر در این نمودار باقیمانده‌ها بطور یکنواخت و بدون ایجاد شکل خاصی توزیع شده باشند این دو فرض تایید می‌باشند. در غیر این صورت داشتن شکل خاص باقیمانده‌ها نشان‌دهنده مناسب نبودن مدل است که این مشکل ممکن است با درجه‌های بالاتری از مدل رفع شود. در شکل 7 مقادیر باقیمانده تقریب درجه اول برای ارتفاع و در شکل 8 برای تقریب درجه 2 نشان داده شده است.



شکل 7- باقیمانده‌ها در مقابل تخمین زده برای ارتفاع شاخه (مدل خطی مرتبه اول)



شکل 8- باقیمانده‌ها در مقابل تخمین زده برای ارتفاع شاخه (مدل خطی مرتبه دوم)

حال بر مبنای دو شکل بالا می‌باید نوع مدل‌سازی مطلوب را انتخاب نمود. بر مبنای شکل باقیمانده‌ها، باقیمانده‌های مدل‌سازی مرتبه اول به شکل V درآمده است که مناسب نمی‌باشد و می‌باید از مدل‌سازی مرتبه بالاتر بهره برد. یکی دیگر از معیارهای مقایسه مدل‌های رگرسیونی ضریب همبستگی آن‌ها می‌باشد. بر مبنای ضریب همبستگی، مدل‌سازی مرتبه دوم مطلوب‌تر از مدل دیگر است و در این مطالعه مبنای محاسبات خواهد بود.

جدول 3- ضرایب همبستگی مربوط به دو معادله

جواب معادله خروجی	Thickness	Height
چند جمله ای درجه اول	72.7%	96.0%
چند جمله ای سهموی	92.3%	98.9%



5- بهینه‌سازی

حال بعد از تعیین تابع مدل‌سازی مطلوب، می‌باید ترکیب مناسب پارامترهای ورودی را پیدا نمود که در این مطالعه از روش تبرید تدریجی، برای این منظور بهره گرفته شده است. الگوریتم تبرید تدریجی برگرفته از اصول آنیل کردن فلزات یعنی تبرید تدریجی یک مذاب تا حالت جامد (دمای محیط) می‌باشد، بطوریکه تمام ذرات آن در یک شبکه بلوری منظم و در پایین‌ترین سطح انرژی متبلور شوند. حالت پایدار (سطح انرژی حداقل) در صورتی ایجاد می‌شود که سرعت تبرید بسیار کم باشد. سطح انرژی هر ذره در هر دمای خاص یک تابع احتمالی است که طبق تابع احتمال بولتزمن تعیین می‌گردد. در این الگوریتم وقتی دما به صفر میل می‌کند، تنها حالت‌هایی با کمترین سطح انرژی احتمال وقوع غیر صفر دارند.

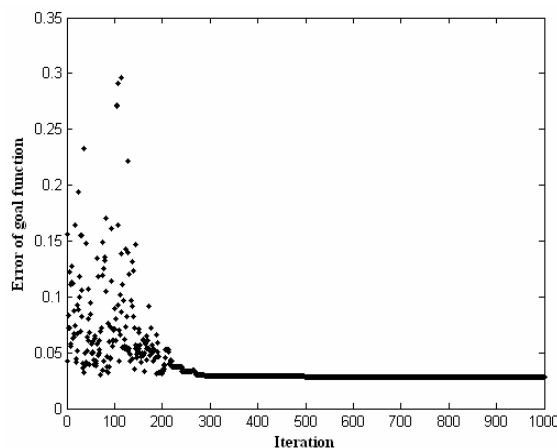
پارامترهای ورودی بهینه به منظور دستیابی به بهترین تغییر ضخامت و ارتفاع شاخه محاسبه شد. در تحقیق جاری 5 سری مقادیر بهینه محاسبه شد و بر مبنای بهترین جواب شبیه‌سازی یک سری از این مقادیر انتخاب گردید. در شکل 9 نمودار همگرایی الگوریتم نشان داده شده است که بعد از 1000 تکرار جواب مطلوب محاسبه گردید. جدول 4 متغیرهای بارگذاری مطابق مسیرهای بارگذاری شکل‌های 2-4 است و جدول 5 نشان دهنده نتایج حاصل دو تحلیل بهینه‌سازی و شبیه‌سازی محاسبه شده است. با توجه به این جداول مشاهده می‌گردد که با مقدار فشار کمتر ارتفاع شاخه و تغییر ضخامت مطلوب بدست آمده است. مطابق جدول 5 علیرغم 20٪ کاهش ظرفیت فشار میزان نازک‌شدگی از 14٪ به 9٪ کاهش و مقدار ارتفاع شاخه نیز افزایش یافته است. مطابق جدول 4 می‌توان مسیرهای بارگذاری را ترسیم نمود که در این جا با توجه به حجم مقاله از نمایش آن‌ها صرف نظر شده است.

جدول 4- مقادیر بهینه بر اساس مسیرهای بارگذاری مطابق شکل 2-4

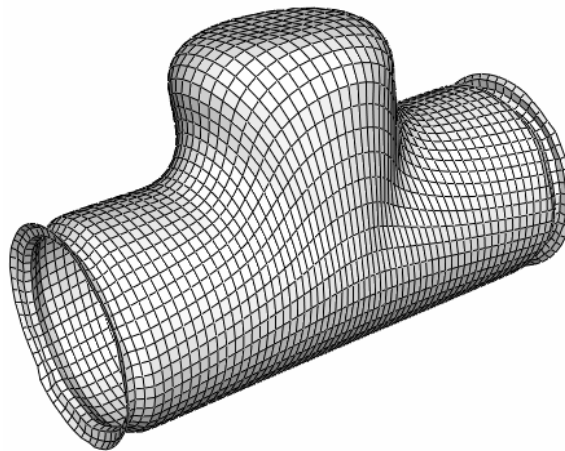
Pexpan	Pfinal	Tyield	Texpan	Smiddle	Sfinal	Tmiddle	CPs	CPf	Tstart	Tstop
9.7	12	2	24.5	50	65	23	56	78	9.5	30

جدول 5- مقادیر بهینه برای ضخامت و ارتفاع

بهینه‌سازی SA		Abaqus	
T (mm)	H (mm)	T (mm)	H (mm)
2.59	42.18	2.545	42.23



شکل 9- همگرایی در الگوریتم تبرید تدریجی



شکل 10- لوله تغییر شکل یافته نهایی

6- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر اعمال مسیرهای بارگذاری مختلف در فرآیند هیدروفرمینگ اتصالات T شکل بررسی شده است. در ابتدا با طراحی مسیرهای بارگذاری متغیرهای بارگذاری شناسائی شدند. با انجام تحلیل‌های آماری بر روی نتایج طرح آزمایش‌های تاگوچی میزان تاثیرگذاری هر پارامتر تعیین شد. سپس پارامترهای با تاثیر اندک با مقادیر ثابت حاصل از بهینه‌سازی اولیه جایگزین شدند. در ادامه با انتخاب شش متغیر موثر جدول طرح آزمایش‌ها بر مبنای full factorial ایجاد شد که به این ترتیب 64 مسیر بارگذاری طراحی گردید. با انجام آزمایش‌ها و با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود، نتایج مربوط به ضخامت مینیمم و ارتفاع شاخه ماکزیمم محاسبه شد. با انجام تحلیل آماری بر روی دو خروجی، تابع مناسب برای تخمین رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی مدل‌سازی شد. سپس این تابع مدل‌سازی بوسیله الگوریتم تبرید تدریجی بهینه‌سازی گردید و متغیرهای بهینه برای دستیابی به ضخامت و ارتفاع مطلوب محاسبه شد. مقایسه نتایج حاصل از بهینه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی نشان داد که با انتخاب صحیح متغیرهای بارگذاری می‌توان حتی با ظرفیت کمتر دستگاه، تغییر شکل مطلوبی برای لوله ایجاد نمود.

مراجع

- 1- P. Ray, B.J. Mac Donald, Determination of the optimal load path for tube hydroforming processes using a fuzzy load control algorithm and finite element analysis, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 41, Issue 2 2004, PP. 173-192.
- 2- M. Koç, T. Altan, Application of two dimensional (2D) FEA for the tube hydroforming process, Machine Tools and Manufacture, Volume 42, Issue 11, 2002, PP. 1285-1295.
- 3- L. Lang, S. Yuan, X. Wang, Z. R. Wang, Z. Fu, J. Danckert, K. B. Nielsen, A study on numerical simulation of hydroforming of aluminum alloy tube, Journal of Materials Processing Technology, Volume 146, Issue 3, 2004, PP. 377-388.
- 4- J. Kim, S. W. Kim, W. J. Song, B. S. Kang, Analytical and numerical approach to prediction of forming limit in tube hydroforming, International Journal of Mechanical Sciences, Volume 47, Issue 7, 2005, PP. 1023-1037.
- 5- F. K. Chen, S. J. Wang, R. H. Lin, A study of forming pressure in the tube-hydroforming process, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 192-193, 2007, PP. 404-409.
- 6- N. SP. Varma, R. Narasimhan, A numerical study of the effect of loading conditions on tubular hydroforming, Journal of Materials Processing Technology, Volume 196, Issues 1-3, 2008, PP. 174-183.
- 7- Y. Zhang, S. Zhao, Z. Zhang, Optimization for the forming process parameters of thin-walled valve shell, Thin-Walled Structures, Volume 46, Issue 4, 2008, PP. 371-379.
- 8- N. Abedrabbo, M. Worswick, R. Mayer, I. V. Riemsdijk, Optimization methods for the tube hydroforming process applied to advanced high-strength steels with experimental verification, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issue 1, 2009, PP. 110-123.