مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، دی ۱۴۰۳، دوره ۱۱، شماره ۱۰، ص‌ص.۱- ۱۰

ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

10.22034/ijme.2024.456656.1956

# تأثیر موقعیت مرکز لوله نسبت به غلتک‌ها در طراحی الگوی‌گل در شکل‌دهی‌مجدد غلتکی سرد

حسین ارزنده[۱]، حسن مسلمی نائینی[۱و۲*]، مهدی تاجداری[۳]، سیامک مزدک[۴]، مانابو کیوچی[۵]

۱- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، جمهوری اسلامی ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، جمهوری اسلامی ایران

۳- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ایوانکی، تهران، جمهوری اسلامی ایران

۴- دانشکده مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، جمهوری اسلامی ایران

۵- آزمایشگاه کیوچی، توا-شیبا-کودتا، شیبا، میناتوکو، توکیو، ژاپن

* ایمیل نویسنده مسئول: moslemi@modares.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**مقاله پژوهشی**

دریافت: ۵ خرداد ۱۴۰۳

پذیرش: ۷ تیر ۱۴۰۳

**کلیدواژگان:**

شکل‌دهی‌مجدد غلتکی سرد

طراحی الگوی‌گل

مقطع تاخورده ۵۰۷

روش رفت و برگشتی

**چکیده**

در این مقاله، چند الگوی‌گل مختلف برای مقطع تاخورده‌ی ۵۰۷ به شیوه‌ی رفت و برگشتی طراحی شده است. روش رفت و برگشتی، روشی خودکار برای طراحی الگوی‌گل اولیه است. در این روش، فرض براین است که اگر تعداد ایستگاه‌ها و الگوی‌گل مناسب باشد، می‌توان با شکل‌دهی برگشت به مقطع لوله اولیه رسید (مشابه باد کردن داخل محصول نهایی و تبدیل آن به لوله اولیه). در طراحی الگوی‌گل مقاطع پیچیده به کمک این روش، چگونگی موقعیت دهی مرکز لوله اولیه نسبت به مقطع محصول نهایی بسیار مهم است. جهت بررسی تأثیر موقعیت لوله نسبت به محصول، شکل‌دهی‌مجدد مقطع ۵۰۷ با سه روش موقعیت‌دهی مختلف لوله اولیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. از کاهش انرژی مصرفی و سایش یکنواخت‌تر غلتک‌ها به‌عنوان دو معیار جهت تشخیص الگوی‌گل مناسب‌تر، بهره گرفته شده است. مهم‌ترین عامل قابل‌کنترل در سایش یکنواخت غلتک‌ها، تنظیم نیروی عمودی وارد بر غلتک‌ها از طریق بهبود طراحی الگوی‌گل غلتک‌ها است. بدین منظور از شبیه‌سازی عددی به همراه آزمایش عملی بهره گرفته شده است. مشخصات ابعادی لوله‌ی شکل‌گرفته با مقطع موردنظر به‌صورت سه‌بعدی مورد ارزیابی قرارگرفته است. نتایج نشان می‌دهد انتخاب موقعیت مناسب برای مرکز لوله بر کیفیت ابعادی مقطع خروجی تأثیرگذار است. این امر در کاهش انرژی مصرفی، حدود ۱٪، بهبود ابعادی حدود ۵۵٪ و یکنواختی توزیع نیروی عمودی حدود ۱۴٪ نسبت به روش رایج طراحی الگوی‌گل مؤثر است.

# Influence of the position of the center of the pipe relative to the rollers in the design of flower pattern in reshaping of cold roll forming

**Hosein Arzandeh[1], Hassan Moslemi Naeini[1,2*], Mehdi Tajdari[3], Siamak Mazdak[4], Manabo Kiuchi[5]**

1- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, IR Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Science and Culture, Tehran, IR Iran

3- Department of Mechanical Engineering, University of Eyvanekey, Tehran, IR Iran

4- Faculty of Engineering, Arak University, Arak, IR Iran

5- Kiuchi Laboratory (KILAMETEC), Towa-Shiba-Coup, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japan

* Corresponding Author's Email: moslemi@modares.ac.ir

**Article Information**

**Original Research Paper**

Received: 25 May 2024

Accepted: 27 June 2024

**Keywords:**

Reshaping of Cold Roll Forming

Flower Pattern Design

Folded Section 507

Forward-Backward Method

**Abstract**

In this article, several different flower patterns are designed for the folded section that is called the 507, with the “Forward-Backward” method. This method is an automatic method for designing the primary flower pattern. In this method, it is assumed that if the number of stands and the flower pattern are suitable, the initial pipe section can be reached by reverse shaping. In the design of flower pattern of complex sections with this method, how to position the center of the initial pipe relative to the final product is very important. In order to investigate the effect of the position of the pipe, the reshaping of the 507 section has been evaluated with three different positioning methods. The reduction of energy consumption and uniformity of wear of rollers have been used as two criteria to identify the most suitable flower pattern. The controllable factor in the uniform wear of the rollers is the adjustment of the vertical force on the rollers by improving the design of the flower pattern. For this purpose, numerical simulation has been used along with experimental testing. The dimensional characteristics of the formed pipe have been evaluated. The results show that choosing the right position for the center of the pipe affects the dimensional quality of the output section. This is effective in reducing the energy consumption by about 1%, improving the dimensions by about 55% and the uniformity of vertical force distribution by about 14% compared to the common method of flower pattern design.

**برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:**

**Please cite this article using:**

Arzandeh H, Moslemi Naeini H, Tajdari M, Mazdak S, Kiuchi M. Influence of the position of the center of the pipe relative to the rollers in the design of flower pattern in reshaping of cold roll forming. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Dec 21;11(10):1-10. doi: 10.22034/ijme.2024.456656.1956 [In Persian]

## ۱– مقدمه

شکل‌دهی‌مجدد فرایندی است که طی آن یک لوله‌ی گرد به‌صورت لوله‌ای با مقطع غیر گرد شکل داده می‌شود [۱]. در فرایند شکل‌دهی‌مجدد غلتکی سرد، برای بیان شکل ورق یا لوله در ایستگاه‌های شکل‌دهی مقاطع منتج از هر ایستگاه را بر مبنای یک محور مشترک در کنار هم قرار می‌دهند که موجب ترسیم شکلی مصور به نام الگوی‌گل می‌گردد [۲]. پیش از این، درزمینه‌ی طراحی الگوی‌گل و شرایط شکل‌گیری محصول در فرایند شکل‌دهی‌مجدد، تحقیقاتی صورت گرفته است، ازجمله: . یانگ و همکاران [۳] طراحی مسیر عبور لوله و نیز طراحی غلتک‌های شکل‌دهی‌مجدد مقاطع غیر مستطیلی از لوله دایره‌ای در شرایط بسیار سخت را توسط یک برنامه کامپیوتری انجام دادند. هوانگ [۴] با استفاده از قالب‌های V شکل به بررسی تأثیر پارامترهای اصطکاک، نسبت ضخامت به قطر، جنس لوله‌ها و میزان کاهش ارتفاع بر روی نیروی شکل‌دهی در تولید لوله‌های چهارگوش از لوله گرد اولیه پرداخت. وی نشان داد در شرایط اصطکاکی لغزنده با یک مقدار کاهش ارتفاع یکسان با کاهش ضخامت احتمال ایجاد عیب جدایش کاهش می‌یابد. بایومی [۵] یک روش تحلیلی برای شکل‌دهی‌مجدد لوله‌های چندضلعی منتظم از لوله‌ی گرد را ارائه نمود. وی نشان داد که با افزایش تعداد اضلاع، نیروی وارد بر غلتک و نیروی کشش کاهش می‌یابند و با کاهش شعاع گوشه، این مقادیر افزوده می‌شوند. لئو و وو [۶] فرایند شکل‌دهی‌مجدد لوله بر اساس شبیه‌سازی اجزای محدود الاستیک - پلاستیک تدریجی با فرمول لاگرانژی بروز شده را موردتحقیق قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که هندسه مقطع به شرایط بارگذاری و باربرداری وابسته است. آن‌ها اثر متغیرهای مختلف فرایند همانند نسبت ضخامت به قطر، توان کرنش سختی و ضریب اصطکاک را در وقوع عیب جدایش و میزان عدم تقارن (نسبت اختلاف اندازه دو قطر مربع یا مستطیل نسبت به هم) در فرایند شکل‌دهی‌مجدد موردبحث و بررسی قرار دادند. ابری نیا و فرهمند [۷] تغییر شکل لوله جدار ضخیم گرد به مقطع مربعی را بررسی کردند. آن‌ها رابطه جدیدی برای پیش‌بینی مقدار نیروی حد بالایی ارائه کرده‌اند و تأثیر متغیرهای فرایند مانند شعاع غلتک‌ها، ابعاد لوله اولیه؛ مقدار کاهش قطر غلتک و سرعت غلتک در محصول نورد نهایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. ژنگ و همکاران [۸] الگوی پیش‌بینی تنش تسلیم افزایش یافته برای مقطع مربعی و مستطیلی شکل‌دهی‌مجدد شده را توسعه دادند و توسط الگوی خود، مقدار تنش اعمالی به ورق در امتداد ضخامت را در نقاط مختلف مقطع پیش‌بینی کردند. در خصوص طراحی الگوی‌گل نیز، انواع روش‌های طراحی الگوی‌گل در فرایند شکل‌دهی‌مجدد، در مرجع [۹] معرفی و ارزیابی شده‌اند. یکی از این روش‌ها، روش رفت و برگشتی است که روشی خودکار برای طراحی الگوی‌گل اولیه است. در این روش، بخش رفت اشاره به شکل‌دهی حقیقی، یعنی تبدیل لوله اولیه به محصول نهایی و بخش بازگشت اشاره به فرایندی مجازی(مشابه باد کردن داخل محصول نهایی و تبدیل آن به لوله اولیه) دارد [۱۰]. مشخص است که این روش وابستگی بسیار زیادی به موقعیت لوله اولیه نسبت به مقطع محصول نهایی دارد. همچنین در ادامه مزدک و همکاران [۱۱] با استفاده از روش تعادل المان و توسعه روش مرجع [۱۰] روشی برای طراحی غلتک‌های مقاطع دارای تاخوردگی ارائه کردند.

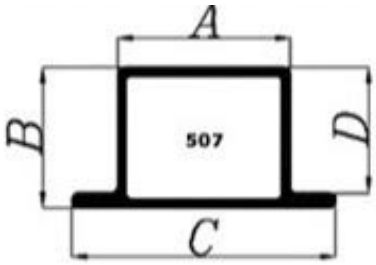
در تحقیقات پیشین که به برخی از آن‌ها اشاره شد تأثیر میزان جابجایی نقاط مختلف یک محصول، در اثر شکل‌دهی، بر کیفیت محصول و متعاقب آن بر طراحی الگوی‌گل، مورد ارزیابی قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر، شکل‌دهی یک مقطع پیچیده به کمک روش رفت و برگشتی (برای طراحی الگوی‌گل)، با هدف یافتن رابطه‌ای بین میزان جابجایی نقاط مختلف با نیروی عمودی وارد بر غلتک‌ها و نیز انرژی مصرفی، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۲– روش تحقیق

### ۲–۱– آزمایش عملی و صحه‌گذاری بر نتایج شبیه‌سازی

برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی‌ها لازم است تا این نتایج با آزمایش‌های تجربی مقایسه شوند. بدین منظور ابعاد و الگوی‌گل مقطع محصول تا خورده‌ی ۵۰۷ از محصولات یک شرکت تولیدی در نظر گرفته شد. در شکل ۱ ابعاد این مقطع نشان داده شده است. در این تحقیق خط تولید این محصول در شرایطی مشابه آزمایش عملی شبیه‌سازی شد و ابعاد مقطع خروجی از شبیه‌سازی و نیز مقطع خروجی آزمایش عملی با هم مقایسه شدند.

مقایسه‌ی نتایج آزمایش عملی و شبیه‌سازی مقطع ۵۰۷ صرفاً بر مبنای مشخصات هندسی انجام شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است جهت اندازه‌گیری میزان عیب جدایش از ساعت اندیکاتور با دقت یک‌صدم میلی‌متر و برای مشخصات ابعادی دیگر از کولیس دیجیتال استفاده شده است. نتایج این اندازه گیری ها درجدول ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱** معرفی ابعاد مقطع ۵۰۷

**جدول ۱** نتایج آزمایش عملی و شبیه‌سازی مقطع ۵۰۷

| ردیف | عنوان مورد اندازه‌گیری | مقدار مطلوب نظری (mm) | بازه قابل پذیرش (mm) | نمونه تولیدی (mm) | خروجی شبیه‌سازی (mm) | اختلاف بین شبیه‌سازی و آزمایش عملی (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | اندازه A | 25 | 0.5 | 25.47 | 25.24 | 0.9% |
| 2 | اندازه B | 29 | 0.5 | 29.32 | 29.51 | 0.65% |
| 3 | اندازه C | 51 | 0.5 | 51.17 | 51.4 | 0.45% |
| 4 | عیب جدایش | 0 | 0.5 | 0.43 | 0.38 | 11.63% |

ملاحظه می‌شود همخوانی خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و آزمایش عملی وجود داشته و می‌توان به خروجی‌های شبیه‌سازی اطمینان نمود.

**شکل ۲** اندازه‌گیری ابعادی نمونه آزمایش عملی

## ۲-۲- شبیه‌سازی‌ها

### ۲-۲-۱- مشخصات ماده خام انتخابی

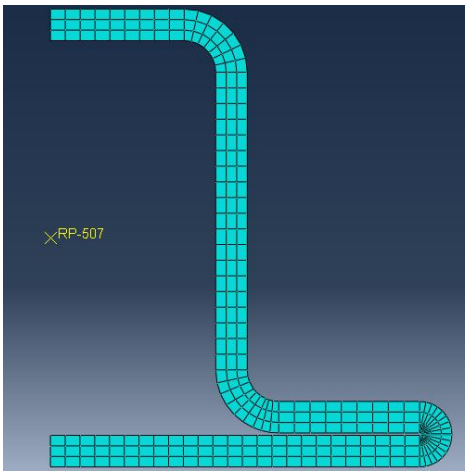
ماده انتخابی از جنس فولاد St37 انتخاب و مشخصات آن طبق آزمایش عملی از ورق مورد استفاده در خط تولید صنعتی در جدول ۲ آورده شده است.

**جدول ۲** مشخصات اصلی ماده St37

| مدول یانگ (GPa) | ضریب پواسان | تنش تسلیم (٪۰/۲) (MPa) | تنش ماکزیمم (MPa) |
|---|---|---|---|
| ۲۰۰ | ۰/۳ | ۲۷۱ | ۴۵۰ |

### ۲-۲-۲- مشخصات شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی فاز برگشت از شبیه‌سازی دوبعدی استفاده که نمایی از آن در شکل ۳ آورده شده است. اما برای اطمینان بیشتر از دقت خروجی‌ها، در فاز رفت، از شبیه‌سازی سه‌بعدی که به‌وسیله‌ی آزمایش عملی صحه‌گذاری گردیده، استفاده شده است. در شبیه‌سازی‌ها، قالب‌های شکل‌دهی صلب تحلیلی و لوله از ماده شکل‌پذیر انتخاب شده‌اند. جهت مش بندی لوله در فرایند برگشت از المان مستطیلی ۴ نقطه‌ای و در شبیه‌سازی رفت از المان مکعبی ۸ نقطه‌ای استفاده شده است. ضخامت لوله ۲ میلی‌متر و تعداد المان در امتداد ضخامت ۳ عدد انتخاب شده‌اند. تعداد المان در امتداد محیط نیز ۹۶ عدد است. با توجه به تقارن محصول و برای صرفه‌جویی در زمان، در هر دو فاز رفت و برگشت، تنها نیمی از مقطع مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. فاصله ایستگاه‌ها، ابعاد و سرعت دوران غلتک‌ها نیز مشابه خط تولید صنعتی اتخاذ شده‌اند.




**شکل ۳** مش بندی نیمی از محصول

شبیه‌سازی در ۶ ایستگاه شکل‌دهی صورت گرفته است. میزان بار هر ایستگاه طبق روش رفت و برگشتی خطی و منطبق بر شرایط مراجع [۹، ۱۲] محاسبه شده است. تماس بین غلتک‌ها و لوله مطابق تحقیقات پیشین [۱۳] تماس سطح به سطح و با ضریب اصطکاک ۰/۲ انتخاب شده است.

### ۲-۲-۳- نکات اساسی بخش بازگشت

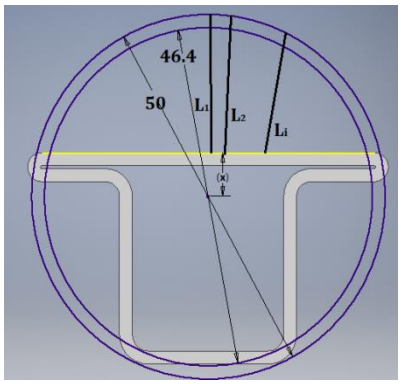
یکی از موضوعاتی که بر کیفیت الگوی‌گل مؤثر است، میزان جابجایی نقاط از مقطع لوله تا پروفیل است. این موضوع به‌صورت تعیین موقعیت مرکز لوله اولیه نسبت به مقطع نهایی بروز پیدا می‌کند. در مقاطع ساده‌ی مربعی و مستطیلی مرکز هندسی پروفیل مرکز تقارن و مرکز لوله است، لذا برای بررسی این موضوع نیاز به مقطعی پیچیده‌تر است که در اینجا مقطع محصول تاخورده‌ی ۵۰۷ جهت بررسی اثر طول جابجایی بر کیفیت الگوی‌گل و مقطع نهایی انتخاب شده است.

#### ۲-۲-۳-۱- تعریف طول جابجایی

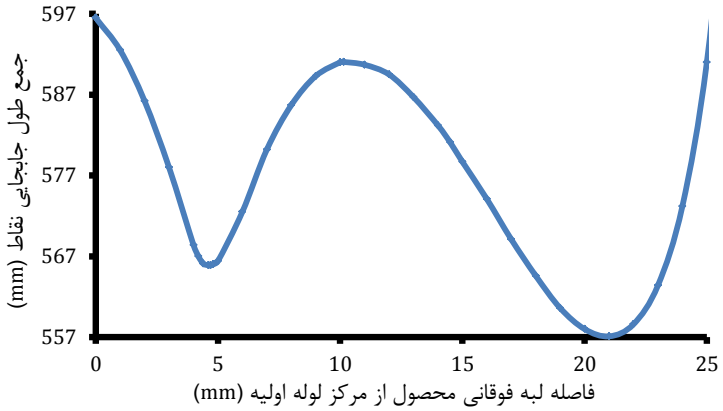
ابتدا مقطع پروفیل و لوله به تعداد یکسانی المان بندی می‌گردند. حال اگر مطابق شکل ۴، فاصله هر نقطه از روی پروفیل تا متناظر آن روی لوله با حرف L نشان داده شود، می‌توان رابطه‌ی ۱ را چنین تعریف کرد:

$$S = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{L}_i \qquad (۱)$$

در این رابطه، n معرف تعداد المان‌ها و $\mathrm{L}_i$ فاصله بین نقطه i ام روی پروفیل تا متناظر آن روی لوله است. حال اگر فاصله مرکز لوله از لبه افقی بالایی پروفیل x باشد، می‌توان مقادیر S را بر حسب مقادیر مختلف x محاسبه نمود.این مقادیر در شکل ۵ ترسیم شده و نشان داده شده‌اند.




**شکل ۴** مفهوم طول جابجایی نقاط




**شکل ۵** مقادیر طول جابجایی بر حسب موقعیت قرارگیری مرکز لوله نسبت به پروفیل

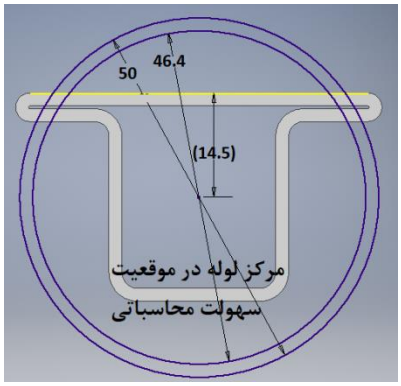
در شکل ۵ محور افقی مقادیر مختلف x (فاصله مرکز لوله تا لبه افقی بالایی پروفیل) و محور عمودی مقادیر S (جمع طول جابجایی نقاط) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در دو موقعیت ۴/۶۵ و ۲۱ میلی‌متر منحنی دارای کمینه جابجایی است. و در ۱۰/۱۵ هم دارای بیشینه موضعی است.

## ۲-۳- بررسی اثر موقعیت لوله بر کیفیت الگوی گل

بدین منظور سه مرکز مختلف برای قرارگیری مرکز لوله نسبت به پروفیل به ترتیبی که در ادامه ذکر خواهد شد، در نظر گرفته شده است.

### ۲-۳-۱- حالت تسهیل طراحی

همچنان که در شکل ۶ نشان داده شده است، مرکز لوله نسبت به پروفیل در موقعیتی قرار گرفته که از اضلاع افقی بالا و پایینی به یک اندازه فاصله دارد. این امر موجب سهولت انجام محاسبات در طراحی کمان‌های الگوی گل مقاطع می‌گردد.

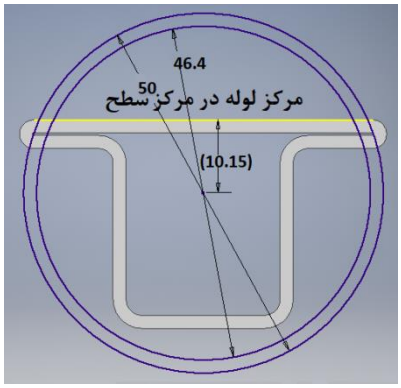



**شکل ۶** موقعیت قرارگیری مرکز لوله نسبت به پروفیل در وضعیت تسهیل طراحی

به همین جهت نام این وضعیت، حالت تسهیل‌کننده طراحی نامیده شده است. این وضعیت موقعیت دهی، روش رایج طراحی الگوی گل در بین برخی از صنعتگران است.

### ۲-۳-۲- وضعیت موقعیت مرکز لوله در مرکز سطح

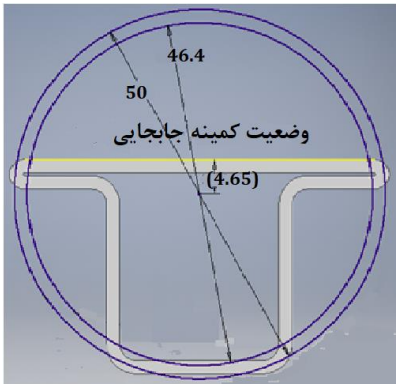
یکی از روش‌های قابل‌طرح، موقعیت دهی مرکز لوله در مرکز سطح محصول است. این روش موقعیت دهی لوله نسبت به محصول مورد نظر در طراحی الگوی‌گل، در شیوه‌ی رفت و برگشتی است [۱۲]. همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است این حالت در فاصله ۱۰/۱۵ میلی‌متری از لبه فوقانی محصول واقع شده است. در شکل ۵ نشان داده شد که این موقعیت موجب ایجاد جابجایی بیشینه موضعی نیز می‌شود.




**شکل ۷** مرکز لوله در مرکز سطح پروفیل

### ۲-۳-۳- حالت کمینه جابجایی قابل‌قبول

در شکل ۵ نشان داده شد که کمینه جابجایی در موقعیت‌های ۴/۶۵ و ۲۱ میلی‌متری لبه فوقانی به وقوع می‌پیوندد. وضعیت ۴/۶۵ میلی‌متری در شکل ۸ نشان داده شده است. (موقعیت ۲۱ میلی‌متری به دلیل وقوع نقاط در خارج از لوله غیر قابل قبول بوده و مورد ارزیابی قرار نگرفته است).



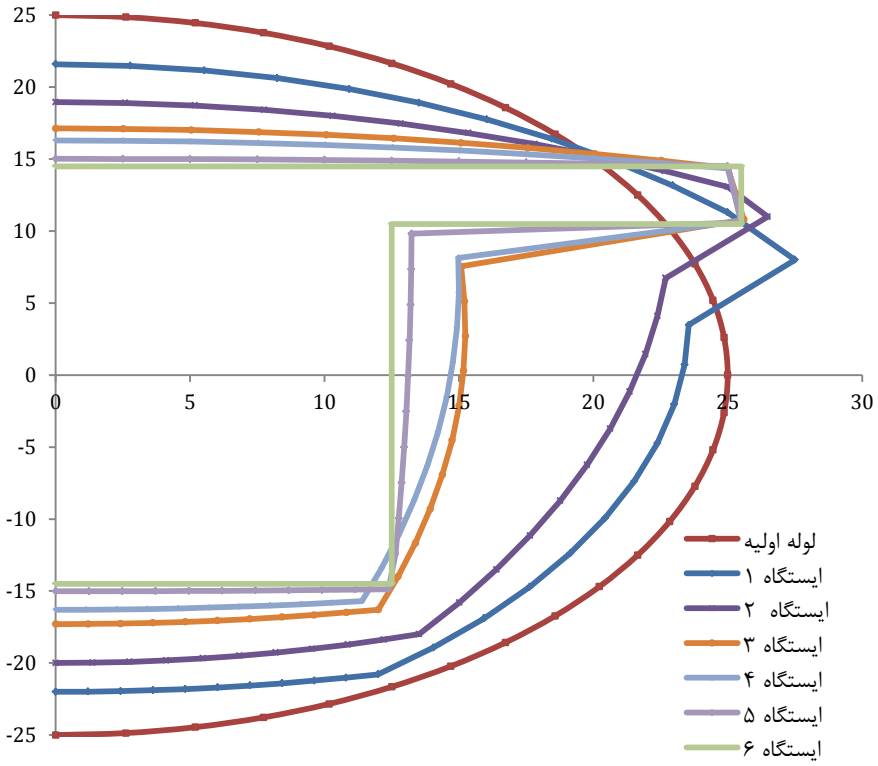

**شکل ۸** حالت کمینه جابجایی

## ۲-۴- الگوی‌گل‌های به‌دست‌آمده

### ۲-۴-۱- الگوی‌گل به‌دست‌آمده در حالت تسهیل طراحی

پس از اعمال قوانین رفت و برگشتی در هریک از حالات فوق، الگوی‌گل‌های ذیل به‌دست‌آمده‌اند:

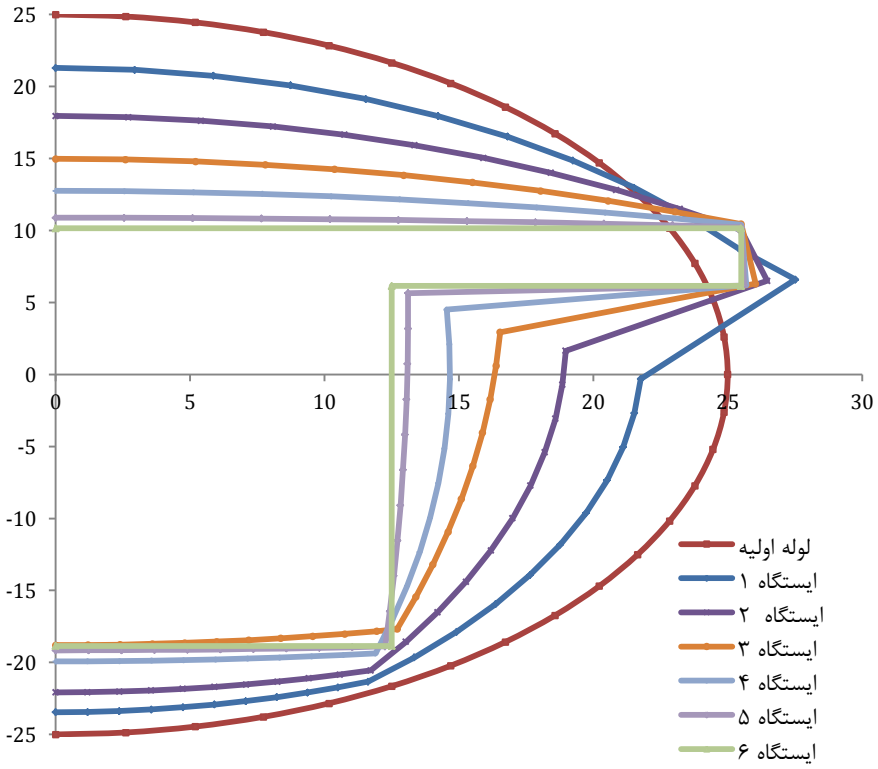
در شکل ۹ الگوی‌گل به‌دست‌آمده از روش تسهیل طراحی نشان داده شده است. در این تصویر (و الگوی‌گل‌های روش‌های بعدی)، مرکز مختصات منطبق بر مرکز لوله است و محورهای افقی و عمودی فاصله نقاط از مرکز لوله را بر حسب میلی‌متر نشان می‌دهند.




**شکل ۹** الگوی‌گل روش تسهیل طراحی

## ۲-۴-۲- الگوی‌گل به‌دست‌آمده در حالت مرکز سطح

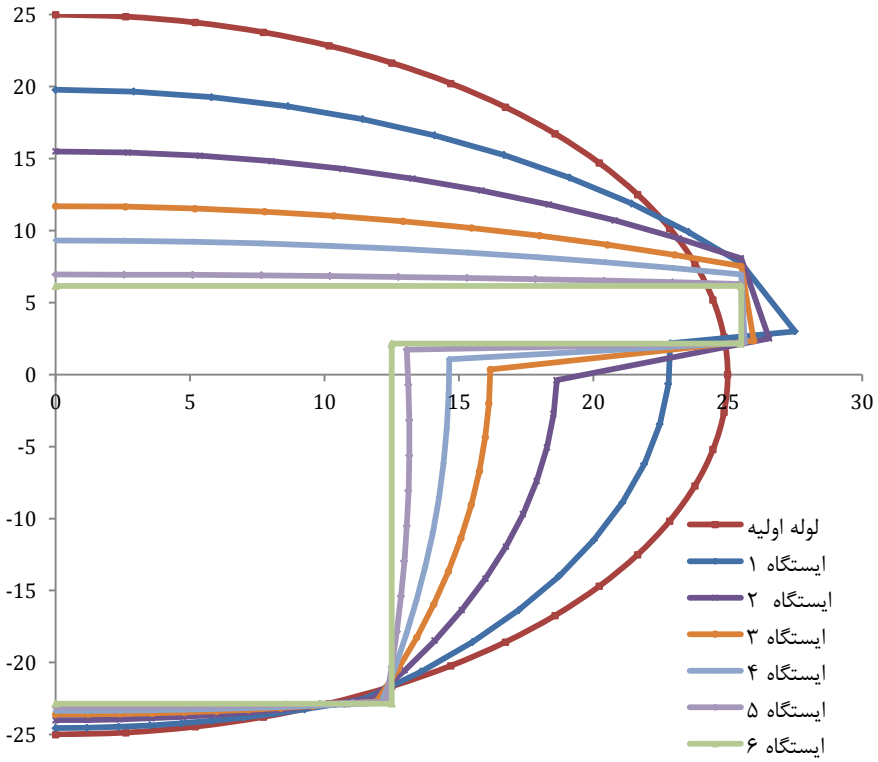
در شکل ۱۰ الگوی‌گل به‌دست‌آمده از روش مرکز سطح نشان داده شده است.




**شکل ۱۰** الگوی‌گل روش مرکز سطح

### ۲-۴-۳- الگوی گل به‌دست‌آمده از روش کمینه جابجایی

در شکل ۱۱ الگوی گل به‌دست‌آمده از روش کمینه جابجایی نشان داده شده است.




**شکل ۱۱** الگوی گل روش کمینه جابجایی

### ۲-۵- مقایسه نتایج هر سه راهبرد با هم

با توجه به الگوی گل‌های نشان داده شده در شکل ۹ و شکل ۱۰ و شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که موقعیت مرکز لوله نسبت به پروفیل در طراحی الگوی گل تأثیر بسزایی دارد. لذا انتخاب موقعیت صحیح قرارگیری لوله اهمیت زیادی دارد. پس از شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوی گل‌های هر سه روش، چکیده نتایج حاصله در جدول ۳ آورده شده است. مهم‌ترین عامل هندسی در رد یا قبول محصول، میزان وقوع عیب جدایش است. همچنین انتظار می‌رود الگوی گل مناسب‌تر، مقدار انرژی کمتری جهت شکل‌دهی مصرف کند. از طرفی دو عامل سایش یکنواخت غلتک‌ها و گشتاور اعمالی کمتر به شفت گیربکس‌ها، به همراه تولید محصول قابل‌قبول ازلحاظ هندسی، مورد توجه صنعتگران و عامل گزینش الگوی گل مطلوب است.

**جدول ۳** مقایسه شرایط سه راهبرد به‌صورت خلاصه

| روش | مقدار عیب جدایش (mm) | بیشینه گشتاور اعمالی (kN.mm) | درصد غیریکنواختی نیروی عمودی٪ | انرژی داخلی (kJ) |
|---|---|---|---|---|
| تسهیل طراحی | 0.71 | 55 | 42.2% | 17.12 |
| مرکز سطح | 0.17 | 80 | 61.4% | 19.35 |
| کمینه جابجایی | 0.24 | 61 | 28.4% | 20.15 |

مطابق جدول ۳ مشاهده می‌شود که روش‌های مرکز سطح و کمینه جابجایی، هر دو از لحاظ ابعادی قابل‌قبول هستند.

ملاحظه می‌شود که روش مرکز سطح، نسبت به روش کمینه جابجایی (با مقایسه ی مقادیر ۱۹/۳۵٪ و ۲۰/۱۵٪) انرژی کمتری مصرف کرده (۱٪) و روش کمینه جابجایی نیز از یکنواختی بیشتری در نیروی اعمالی به غلتک‌ها برخوردار است. همچنین (با مقایسه

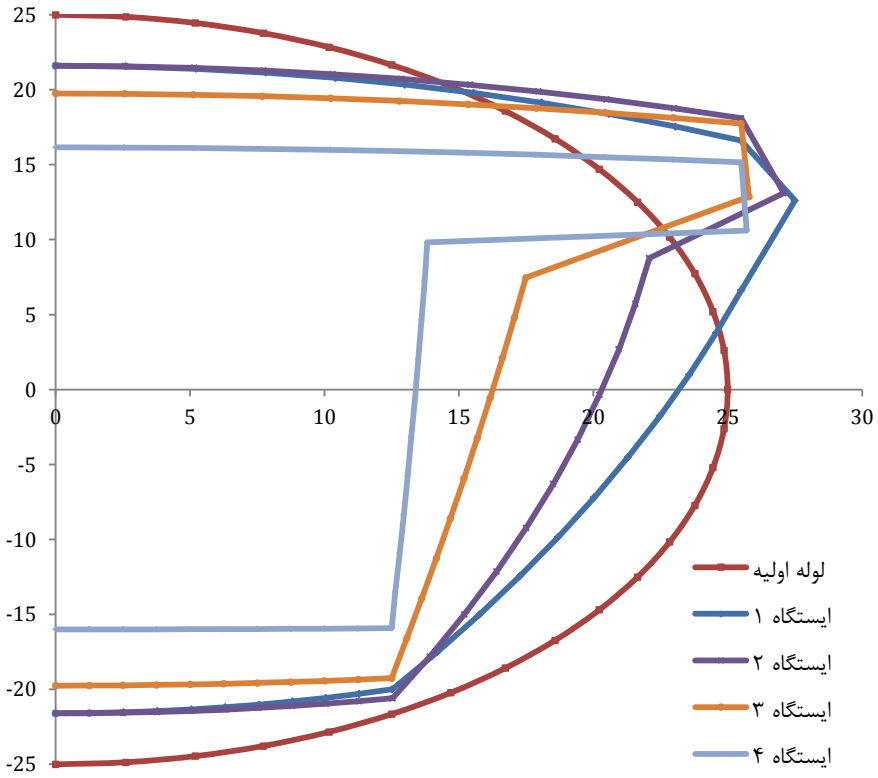
ی مقادیر عیب جدایش ۰/۷۱ و ۰/۱۷) ملاحظه می‌شود که انتخاب موقعیت مناسب برای مرکز لوله، می‌تواند عیب جدایش را به میزان ۰/۵۴ میلی‌متر بهبود بخشد.

ضمنا (با مقایسه‌ی مقادیر ۴۲/۲٪ و ۲۸/۴٪) مشاهده می شود که موقعیت کمینه ی جابجایی می‌تواند موجب بهبود یکنواختی توزیع نیروی عمودی به میزان ۱۴٪ گردد.

همچنین ملاحظه می‌شود که بیشینه گشتاور (که ملاک طراحی شفت‌ها و انتخاب گیربکس است) درروش کمینه جابجایی، نسبت به روش مرکز سطح تقریباً ۳۳٪ کمتر است. ضمناً ملاحظه می‌گردد که شرایط بار اعمالی به غلتک‌ها در روش کمینه جابجایی نسبت به روش‌های دیگر، یکنواختی بیشتری دارد که موجب افزایش عمر مفید غلتک‌ها می‌گردد. لازم به ذکر است که دلیل کاهش انرژی مصرفی درروش تسهیل طراحی، احتمالاً به دلیل وقوع عیب جدایش در این حالت شکل‌دهی است (پس از وقوع این عیب به دلیل تغییر شرایط جابجایی محصول عملاً بار اعمالی موجب شکل‌دهی بیشتر نمی‌شود و فقط عیب افزوده می‌شود؛ به‌بیان‌دیگر پس از این عیب سطح انرژی کاهش می‌یابد).

## ۲-۶- مقایسه با الگوی‌گل عملی

در شکل ۱۲ الگوی‌گل یک شرکت تولیدی برای مقطع ۵۰۷ ارائه‌شده است. البته این شرکت به همراه این ۴ ایستگاه از سه ایستگاه ترک هد هم برای تکمیل شکل‌دهی استفاده می‌کند. مقطع تولیدی نهایی آن شرکت بسیار شبیه به مقطع شبیه‌سازی شده درروش تسهیل طراحی(شکل ۹) است. ضمن آنکه روش محاسبات مقادیر کاهش ارتفاع در هر ایستگاه (موردنیاز برای طراحی الگوی‌گل) آن‌ها، بر مبنای روش تسهیل طراحی بوده است. لازم به ذکر است که مقادیر کاهش حاصل از ۴ ایستگاه در اضلاع بالایی و پایینی مقطع(اضلاع افقی)، در الگوی گل صنعتی و روش تسهیل طراحی، بسیار به یکدیگر نزدیک هستند.




**شکل ۱۲** الگوی‌گل یک شرکت تولیدی برای مقطع ۵۰۷

البته به دلیل تفاوت در تعداد ایستگاه‌های شکل‌دهی و بهره‌گیری از سه ایستگاه ترک هد، مقداری تفاوت (در میزان شکل‌دهی اضلاع عمودی در هر ایستگاه) در بین الگوی‌گل آن‌ها با الگوی‌گل روش تسهیل طراحی مشاهده می‌گردد.

## ۳- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نتایج زیر حاصل شده است:

- شیوه‌ی رفت و برگشتی جهت استخراج الگوی‌گل اولیه بسیار کارآمد است.
- موقعیت دهی مرکز لوله نسبت به محصول در طراحی الگوی‌گل بسیار تأثیرگذار است.
- تصمیم‌گیری در خصوص موقعیت مناسب مرکز لوله، به هدف‌های اساسی طراح الگوی‌گل بستگی دارد. به‌عنوان‌مثال اگر هدف کاهش انرژی مصرفی باشد، حالت مرکز سطح مناسب خواهد بود و درصورتی‌که افزایش عمر مفید غلتک‌ها یا کاهش هزینه در انتخاب گیربکس‌ها موردنظر باشد، حالت کمینه‌ی جابجایی مناسب‌تر خواهد بود.
- با توجه به نتایج جداول ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که:
  - انتخاب موقعیت صحیح مرکز لوله، می‌تواند مهم‌ترین عیب ابعادی (عیب جدایش) را ۰/۵۴ میلی متر بهبود دهد.
  - با انتخاب حالت مرکز سطح، میزان انرژی مصرفی ۱٪ بهتر از حالت قابل‌قبول دیگر(حالت کمینه ی جابجایی) خواهد بود.
  - با انتخاب حالت کمینه جابجایی، یکنواختی توزیع نیروی عمودی ۱۴٪ نسبت به حالت رایج طراحی الگوی گل (حالت تسهیل طراحی) بهبود می‌یابد.

## References


[1] Naeini HM, Kiuchi M, Kitawaki T, Kuromatsu R. Design method of rolls for reshaping processes of pipes with pentagonal cross-sections. Journal of materials processing technology. 2005 Oct 30;169(1):5-8. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.06.034

[2] Mazdak, S, Design and Manufacturing Rolls for Reshaping process of pipes with cross section include fold in Factually of Mechanical Engineering. 2011, [dissertation], Tarbiat Modares University: Tehran-Iran. [In Persian]

[3] Yang X, Li S, Zhao Y. The Computer-Aided Design of Pass for the High Extremely Thin Wall Elliptical Welded Pipe. In2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling 2009 Nov 30 (Vol. 3, pp. 164-166). IEEE.

[4] HUANG YM. Elasto-plastic finite element analysis of squaring circular tube. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2008 Jun 1;18(3):665-73. doi: 10.1016/S1003-6326(08)60116-8

[5] Bayoumi LS. Cold drawing of regular polygonal tubular sections from round tubes. International Journal of Mechanical Sciences. 2001 Nov 1;43(11):2541-53.

[6] Leu DK, Wu JY. Finite element simulation of the squaring circular tube. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005 Apr;25(7):691-9.

[7] Abrinia K, Farahmand HR. An upper bound analysis for the reshaping of thick tubes with experimental verification. International Journal of Mechanical Sciences. 2008 Feb 1;50(2):342-58. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2007.06.007

[8] Zheng B, Shu G, Wang J, Gu Y, Jiang Q. Predictions of material properties in cold-rolled austenitic stainless steel tubular sections. Journal of Constructional Steel Research. 2020 Jan 1;164:105820.

[9] Arzandeh H, Moslemi Naeini H, Tajdari M, Mazdak S, Kiuchi M, Effect of Flower Pattern on Uniform Distribution of Force on Rollers in Reshaping of Cold Roll Forming. Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics, 2022. 34(1):49-60. doi: 10.22067/jacsm.2022.74655.1090 [In Persian]

[10] Kiuchi M, Naeini HM, Shintani K. Computer aided design of rolls for reshaping processes from round pipes to “channel-type” pipes. Journal of Materials Processing Technology. 2001 Apr 25;111(1-3):193-7. doi: 10.1016/S0924-0136(01)00511-8

[11] Mazdak S, Naeni HM, Sheykholeslami MR, Kiuchi M, Validi H. The effect of the roller profile on cave-in defect in reshaping process by considering nonlinear combine strain hardening. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2022 Apr;236(5):509-21. doi: 10.1177/09544054211036895

[12] Moslemi Naeini H, Kiuchi M, Shintani K, Kitawaki T, Kuromatsu R, A new design method of rolls for reshaping process of non-circular pipes. Iranian Journaol Of Science & Technology, 2003:521-534. doi: 10.22099/IJSTM.2013.983

[13] Salmani Tehrani M, Khodabande Shahraki R, Validi H. Analysis of roll wear in reshaping using finite element simulation. Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering. 2009 Jun 22;2(1):1-9. [In Persian]