

## مدل سازی تجربی-تحلیلی اعوجاج طبله‌ای در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود غیر مصرفی (TIG) برای بررسی تأثیر مکان موقعیت دهنده‌ها در ورق‌های فلزی

حمید ولی زاده<sup>۱</sup>، فرهاد کلاهان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد

### چکیده

یکی از مشکلات عمده در جوشکاری فلزات، ایجاد تنش‌های پسماند و در نتیجه ایجاد اعوجاج در قطعات جوشکاری شده است. چنین تغییر شکل‌هایی سبب مشکلاتی در کیفیت محصول و هزینه‌های باز تولید می‌گردند. یکی از روش‌های کنترل و کاهش اعوجاج، موقعیت‌دهی مناسب قطعات در حین فرایند جوشکاری است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مکان موقعیت دهنده‌ها در وقوع اعوجاج طبله‌ای در سیستم ۱-۲-۳ است. بنابراین دستیابی و بکارگیری روش‌هایی که متضمن موقعیت‌دهی درست قطعه کار بوده و سبب کاهش تغییر شکل‌ها در قطعات جوشکاری شده می‌گردند، اهمیتی دو چندان دارد. در این راستا، جهت کنترل و کاهش اعوجاج در حین فرایند جوشکاری، ابتدا طراحی و ساخت فیکسچر جوشکاری با لحاظ نمودن قاعده ۱-۲-۳ بمنظور اخذ درجات آزادی و مقید نمودن ورق، انجام پذیرفت. جنس ورق بکار گرفته شده در این تحقیق، فولاد زنگ نزن AISI 304 با ضخامت ۱ میلی متر در نظر گرفته شده و همچنین از روش جوشکاری قوسی گاز محافظ با الکتروود غیر مصرفی استفاده شده است. سپس با انجام آزمایشات از قبل طراحی شده، نتایج این آزمایش‌ها اندازه‌گیری شده و در مرحله بعد با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات تجربی، مدل سازی رگرسیونی انجام گردید و بر اساس نتایج تحلیل‌های آماری، مدل درجه دوم تعدیل شده به عنوان مدل اصلاح انتخاب گردید. در نهایت مکان موقعیت دهنده‌های تأثیرگذار بر روی اعوجاج مشخص گردید و انجام آزمایش‌های صحت‌گذاری نشان داد که مدل انتخاب شده، قابلیت پیش‌بینی میزان اعوجاج حاصل از فرایند جوشکاری، متناسب با تغییر مکان در موقعیت دهنده‌ها را دارا می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تنش‌های پسماند، اعوجاج، فیکسچر، تیگ، مدل سازی رگرسیونی

## ۱- مقدمه

شناخت فرآیند جوشکاری و بررسی پدیده‌های به وقوع پیوسته در حین جوشکاری یکی از با اهمیت‌ترین مواردی است که محققان را به سمت شناخت این پدیده‌ها سوق می‌دهد.

کیفیت جوشکاری می‌تواند در مشخصه‌هایی مانند اعوجاج، خواص مکانیکی و هندسه مهره جوش تعریف شود. به طور کلی همه فرآیندهای جوشکاری برای دستیابی به هندسه مهره جوش مناسب، خواص مکانیکی عالی و حداقل اعوجاج استفاده می‌شوند.

یکی از مشکلات عمده در جوشکاری فلزات، ایجاد تنش‌های پسماند و نیز تغییر شکل‌ها در قطعات جوشکاری شده است. بکارگیری روش‌هایی جهت تغییر مکان و تعیین وضعیت بهینه‌ی فیکسچرها و موقعیت دهنده‌ها برای افزایش کیفیت قطعات جوشکاری شده از نظر تنش‌های پسماند، اعوجاج‌ها و تغییر شکل‌ها و سایر پارامترهای موثر بر کیفیت دارای اهمیت زیادی است. ماده مورد آزمایش در این تحقیق فولاد زنگ نزن ۳۰۴ یا همان استینلس استیل ۳۰۴ می‌باشد.

## ۱-۱- بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

این تحقیق تلاشی است برای پاسخ به این سوال اساسی که تغییر مکان موقعیت دهنده‌ها در طرح موقعیت‌دهی ۱-۲-۳ چگونه بر میزان اعوجاج ناشی از جوشکاری تاثیر خواهد گذاشت.

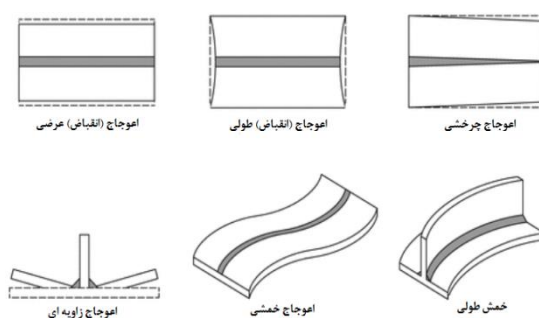
متغیرهای ورودی در این تحقیق عبارتند از: مختصات موقعیت دهنده‌ها در سطح ورق (مختصه‌ی  $X$  و  $Y$  موقعیت‌دهنده‌ها) و متغیر خروجی عبارتست از مجموع مربعات مختصه  $Z$  چند نقطه مختلف از سطح ورق پس از تغییر شکل، لازم به ذکر است این نقاط بصورت دلخواه انتخاب می‌گردند و برای تمام نمونه‌های مورد بررسی به صورت یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

## ۱-۲- روش تحقیق

مانند هر پژوهش دیگر، در این تحقیق نیز ابتدا مطالعات لازم در خصوص فرایند مورد نظر انجام شده و متغیرهای مهم تاثیر گذار در آن مشخص می‌گردند. همچنین انواع روش‌های فیکسچرینگ قطعه‌کار در فرآیندهای جوشکاری با تکیه و تاکید بر طرح ۱-۲-۳ صورت خواهد گرفت.

## ۱-۳- پدیده اعوجاج در جوشکاری

اعوجاج یا پیچیدگی، انبساط ناهمگن و انقباض فلز جوش و فلز پایه‌ی مجاور در جریان چرخه‌ی گرم و سرد کردن فرایند جوشکاری است.

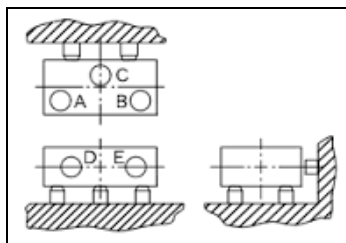


انواع اعوجاج در جوشکاری

## ۱-۴- قاعده ۱-۲-۳

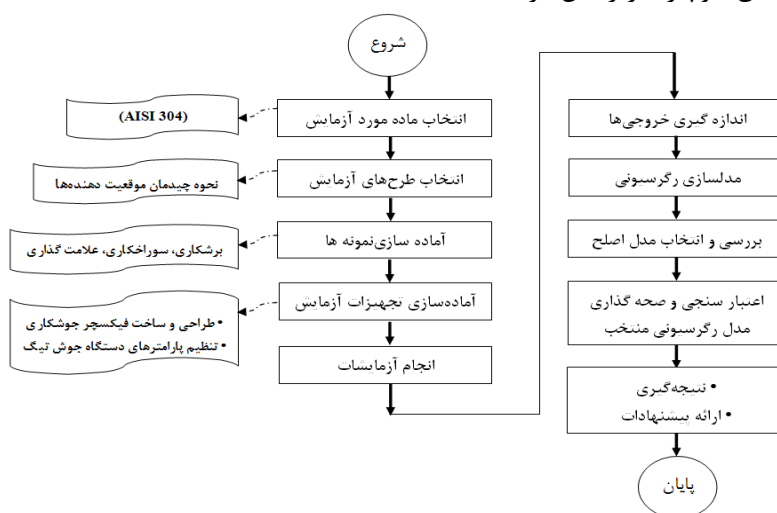
یکی از روش‌های مفید نمودن قطعه کار (اخذ درجات آزادی جسم) استفاده از قاعده ۱-۲-۳ می‌باشد. بدین صورت که سه تکیه‌گاه برای معرفی یک صفحه (Plane Support) که دو دوران و یک حرکت انتقالی توسط این صفحه گرفته می‌شود، دو

تکیه‌گاه برای معرفی یک خط راست (Orientation) که یک دوران و یک حرکت انتقالی توسط این خط گرفته می‌شود، و یک تکیه‌گاه برای معرفی یک نقطه (Stop Intralator motion) که یک حرکت انتقال توسط این نقطه گرفته می‌شود.



قاعده ۱-۲-۳

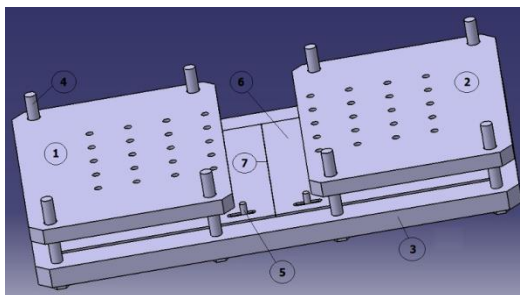
مراحل انجام آزمایش مطابق فلوجارت زیر بیان گردیده است.



مراحل انجام کار در تحقیق حاضر

### ساخت فیکسچر جوشکاری جهت انجام آزمایشات

ساخت فیکسچر جوشکاری جهت انجام آزمایشات مورد نظر در این پژوهش با لحاظ نمودن کلیه ویژگی‌های اشاره شده و نیز انتظارات مورد نظر، انجام گردید. فیکسچر جوشکاری طراحی شده مشاهده می‌شود که به معرفی قسمت‌های مختلف آن پرداخته شده است.



تصویر سه بعدی فیکسچر جوشکاری طراحی شده به همراه قسمت‌های مختلف آن

مطابق شکل، به معرفی قسمت‌های مختلف فیکسچر طراحی شده پرداخته شده است.

صفحه بالایی (روبند) سمت چپ

صفحه بالایی (روبند) سمت راست

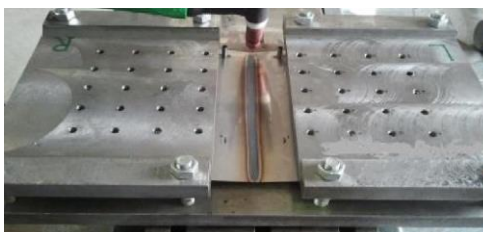
صفحه پایینی

میل راهنما - (۸ عدد)

پین‌های سیستم ۱-۲-۳، (۴ عدد)

ورق قرار گرفته شده در فیکسچر جهت انجام آزمایش

خط جوش (فرایند مورد آزمایش در پژوهش حاضر)



فیکسچر جوشکاری ساخته شده به همراه ورق کارگیری شده در آن

### تجهیزات مورد استفاده در آزمایشات

#### ۱-۳- دستگاه جوش

جوشکاری نمونه‌ها در آزمایشگاه جوشکاری گروه مهندسی مکانیک دانشگاه فردوسی و توسط دستگاه جوش مدل PSQ 250 AC/DC ساخت شرکت گام الکتریک انجام شد. مشعل این دستگاه از نوع هوا خنک با نازل سرامیکی می‌باشد.

#### ۲-۳- میز اتومات جوشکاری

برای ایجاد حرکت خطی نسبی بین قطعه کار و مشعل جوشکاری از یک میز اتوماتیک با حرکت خطی قابل کنترل استفاده شد.

#### ۳-۳- تجهیزات اندازه گیری داده‌ها

بدین منظور نمونه‌های آزمایش شده را بر روی یک صفحه صافی قرار داده و توسط یک عدد ساعت اندازه گیری دقیق با دقت ۰,۰۱ میلی متر، ارتفاع نقاط مورد نظر اندازه‌گیری شده است.

یک نمونه از ورق‌های جوشکاری شده به همراه وقوع پدیده اعوجاج در آن در شکل نشان داده شده است.



انجام عملیات جوشکاری بر روی یک نمونه آزمایش در فیکسچر جوشکاری



نمونه ورق ۳۰۴ AISI جوشکاری شده در تحقیق حاضر

### اندازه‌گیری اعوجاج نمونه‌های آزمایشات

تعداد آزمایشات انجام شده در این پژوهش ۳۰ نمونه می‌باشد.

در پایان با استفاده از فرمول (۱)، مقدار اعوجاج طبقه‌ای در هر یک از نمونه‌ها محاسبه گردید.

$$(1) \quad \text{Distortion} = \frac{\sqrt{Z_n^2}}{n}$$

$$n = 1, \dots, 21$$

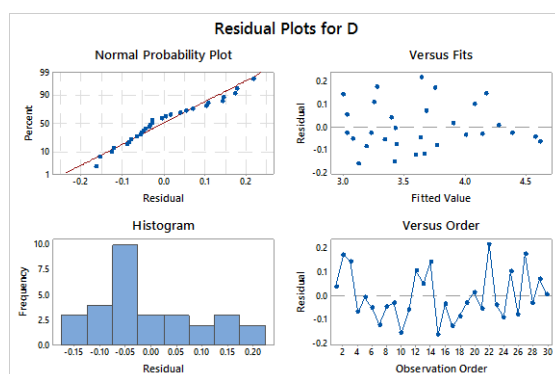
مکان هندسی موقعیت‌دهنده‌ها به همراه اعوجاج در سی نمونه‌ای آزمایش شده (نتایج ۱۵ نمونه آزمایش)

ردیف	نمونه	از قاع اندازه گیری شده در راستای Z برای نقاط ۲۱ گانه مشخص شده بر روی نمونه ها																					مختصات نقاط بین ها				
																							(مختصات صفحه ای Y & X)				
																							بین A	بین B	بین C	بین D	
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	X1	X2	X3	X4	
۱	۳۹۹	۲۳.۶	۱۲.۶	۱۶.۸	۱۶.۲	۱۷.۵	۲۰.۶	۱۶.۷	۱۸.۵	۲۰.۸	۱۸.۸	۱۹.۹	۱۶.۲	۱۸.۸	۲۱.۷	۱۵.۱	۱۶.۸	۱۸.۶	۱۸.۲	۱۵.۷	۱۷.۸	۱۹.۹	۱۶.۰	۱۱.۷	۶.۰	۱۱.۷	۱۰۰
۲	۴۰۴	۲۳.۶	۱۱.۹	۲۲.۶	۱۶.۸	۲۰	۲۲.۶	۱۶.۷	۱۹.۶	۲۲.۶	۱۸.۶	۱۹.۶	۱۹.۶	۱۸.۸	۱۵.۵	۱۶.۶	۱۹.۷	۲۱.۹	۱۶.۵	۱۹.۶	۲۰.۸	۱۶.۰	۸.۲	۶.۰	۴۷	۶۰	۱۵.۲
۳	۴۰۴	۲۴	۱۸.۶	۲۱.۷	۱۷	۲۰.۵	۲۲.۶	۱۶.۱	۱۸.۶	۱۸.۹	۲۱.۹	۱۷.۹	۲۳.۷	۱۶.۲	۱۸.۸	۱۹.۷	۲۱.۹	۱۸	۱۸.۱	۲۱.۶	۱۶.۰	۱۵.۲	۱۰۰	۱۱.۷	۶.۰	۴۷	۶۰
۴	۴۵۵	۲۲.۵	۱۸.۶	۲۰.۶	۱۸.۶	۲۲.۲	۲۰.۹	۲۰.۹	۱۸.۹	۲۰.۵	۲۰.۸	۲۱.۲	۲۰.۹	۱۷.۶	۲۳.۱	۱۷.۸	۲۰.۶	۲۰.۶	۲۱.۲	۲۱.۸	۲۲.۸	۲۳.۱	۱۶.۰	۸.۲	۱۶.۰	۴۷	۶۰
۵	۴۳۳	۱۹	۱۰.۶	۱۷.۵	۱۸.۹	۱۵	۱۷.۲	۱۸.۳	۱۵	۱۷.۶	۱۵.۱	۱۷	۱۹.۱	۱۷.۲	۱۸.۸	۲۱.۳	۱۵.۳	۱۷.۶	۲۳.۲	۱۵.۳	۱۷.۲	۱۶.۰	۱۵.۲	۶.۰	۱۵.۲	۶.۰	۴۷
۶	۴۱۵	۱۸.۳	۱۸.۶	۱۶	۱۶.۱	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۱.۶	۱۹.۵	۱۹.۳	۱۵.۲	۱۵.۱	۱۶.۲	۱۸.۲	۱۵.۷	۱۷.۷	۱۶	۱۹.۳	۱۸.۹	۱۷.۵	۱۶.۶	۱۵.۲	۶.۰	۱۵.۲	۱۶.۰	۴۷	۶۰
۷	۴۵۵	۲۰.۲	۱۱.۶	۱۶.۷	۱۵.۶	۱۷.۳	۱۶.۸	۱۸.۷	۱۸.۷	۱۶.۶	۱۶.۱	۱۶.۶	۱۶.۹	۱۸.۳	۱۶.۳	۱۵.۷	۱۶.۹	۱۶.۳	۱۵.۷	۱۶.۳	۱۵.۲	۱۶.۲	۱۶.۰	۴۷	۶.۰	۴۷	۸۰
۸	۴۵۱	۲۴	۱۶.۶	۲۲	۲۰.۵	۱۹.۳	۱۸.۷	۱۸.۷	۲۳.۲	۲۰.۲	۲۱.۷	۲۰.۵	۱۹.۵	۲۲.۹	۱۸.۹	۱۷.۹	۲۲	۲۱.۶	۱۶.۲	۲۲.۷	۱۰۰	۱۵.۲	۱۶.۰	۴۷	۶.۰	۴۷	۸۰
۹	۴۱۲	۱۸.۸	۹.۵۵	۱۶.۵	۱۸.۹	۱۶	۱۶.۲	۱۶.۳	۱۶	۱۶.۶	۱۶.۱	۱۶	۱۶.۱	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۱.۱	۱۲.۵	۱۶.۳	۱۶.۶	۱۶.۲	۱۶.۲	۱۶.۰	۱۵.۲	۶.۰	۱۵.۲	۱۰۰	۴۷
۱۰	۴۱۶	۱۹.۷	۹.۵۵	۱۶.۷	۱۶.۶	۱۶	۱۶.۲	۱۶.۸	۱۵	۱۶.۶	۱۶.۲	۱۶.۹	۱۶.۳	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۱.۱	۱۲.۵	۱۶.۳	۱۶.۶	۱۶.۲	۱۶.۲	۱۶.۰	۱۵.۲	۶.۰	۱۵.۲	۱۰۰	۴۷
۱۱	۴۰۳	۱۹.۲	۱۶.۶	۲۳.۸	۱۵.۵	۱۶.۷	۱۶.۷	۱۶.۹	۱۶.۵	۱۶.۶	۱۶.۶	۱۶.۱	۱۶.۶	۱۷.۹	۱۶.۲	۱۷.۵	۲۰.۶	۱۶.۷	۱۸.۵	۲۰.۸	۱۷.۸	۱۰۰	۱۱.۷	۶.۰	۴۷	۱۶.۰	۴۷
۱۲	۴۳۲	۲۳.۸	۱۸.۶	۱۶.۳	۱۶.۱	۱۶.۶	۱۷.۹	۱۸.۹	۲۱.۷	۱۷	۲۰.۵	۲۲.۶	۱۶.۱	۱۵.۱	۱۶.۶	۱۵.۷	۱۷.۷	۱۶	۱۶.۲	۱۶.۰	۴۷	۶.۰	۴۷	۱۰۰	۴۷	۱۶.۰	۴۷
۱۳	۴۳۲	۱۵.۲	۲۲.۲	۱۷.۹	۱۷.۹	۲۳.۷	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۸.۷	۱۶.۸	۲۳.۲	۲۰.۲	۱۸.۹	۱۷.۹	۱۰.۹	۱۵.۵	۱۶.۶	۱۵.۳	۱۶.۲	۱۶.۶	۶.۰	۱۵.۲	۶.۰	۱۵.۲	۱۶.۰	۱۵.۲	۱۳
۱۴	۴۳۲	۲۰.۸	۱۶	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۵	۱۶.۶	۱۸.۲	۱۵.۹	۱۶.۳	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۱.۲	۱۶.۷	۱۶.۵	۱۶	۱۵.۵	۱۶.۷	۲۱.۹	۱۶.۵	۶.۰	۱۱.۷	۱۰۰	۱۱.۷	۱۶.۰	۱۱.۷	
۱۵	۴۰۲	۲۳.۶	۱۸.۸	۱۸.۶	۲۰.۹	۲۱.۶	۱۷.۶	۲۱.۶	۲۳.۲	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۶.۷	۱۶.۲	۱۵.۳	۱۷.۳	۱۵.۲	۱۷.۶	۱۶.۳	۱۶.۲	۱۶.۲	۱۶.۰	۸.۲	۱۰۰	۸.۲	۱۶.۰	۸.۲	

در جدول بالا شش ستون اول بترتیب مختصات (X و Y) پین‌ها برای هر آزمایش نشان داده شده است. در ۲۱ ستون بعد ارتفاع ۲۱ نقطه کنترلی برای هر نمونه، گزارش شده است. در ستون آخر نیز میزان اعوجاج حاصل از آزمایشات با محاسبه توسط فرمول (۱) ارائه شده است. کمترین و بیشترین اعوجاج بترتیب ۳,۱۵ و ۴,۵۵ میلیمتر مربوط به نمونه‌های ۶ و ۴ می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایشات در فصل بعدی برای مدلسازی ریاضی پدیده اعوجاج در جوشکاری تیگ ورق‌های فولادی ۳۰۴ مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

### مدلسازی فرایند جوشکاری تیگ ورق‌های فولادی

مدل‌های رگرسیونی توسط برازش انواع توابع ریاضی به داده‌های تجربی بدست می‌آیند. در این تحقیق به کمک نرم افزار Minitab17 برای این منظور استفاده شده است. سه نوع تابع خطی، درجه دوم و نمایی بر داده‌های حاصل از آزمایشات برازش شده‌اند.



نمودارهای باقیمانده‌ها برای مدل درجه دوم تعدیل یافته برای میزان اعوجاج

براساس تحلیل‌های آماری انجام شده، مدل مرتبه دوم تعدیل یافته دارای دقت بالاتری نسبت به مدل‌های خطی و لگاریتمی می‌باشد.

### ۵-۱- اعتبارسنجی انواع مدل‌ها و انتخاب مدل اصلح

با توجه به تحلیل‌های آماری انجام شده بر روی داده‌ها و بررسی نمودارهای باقی‌مانده‌ها، و همچنین با توجه جدول زیر، مشخص گردید که مدل مرتبه دوم تعدیل یافته برازش بهتری را بر داده‌ها برای متغیر اعوجاج را ارائه نموده است.

### نتایج تحلیل‌های آماری میزان اعوجاج

مدل برازش شده	$R^2$	$R^2_{-adj}$	$R^2_{-pred}$	F-Value
مدل خطی	۶۴/۸۶	۳۶/۲۶	۴۲/۳۷	۱۰/۵۶
مدل لگاریتمی	۶۹/۱۵	۶۲/۷۲	۴۵/۳۵	۱۰/۷۶
مدل مرتبه دو	۹۵/۴۶	۹۳/۷۴	۹۱/۵۴	۵۵/۲۵

## ۵-۲- صحت گذاری مدل رگرسیونی منتخب

به منظور صحت گذاری مدل رگرسیونی انتخاب شده و سنجش میزان پیش بینی این مدل، تعداد ۳ آزمایش جدید انجام گردید. نتایج حاصل از آزمایشات در مقابل پیش بینی مدل رگرسیونی صحت گذاری گردید.

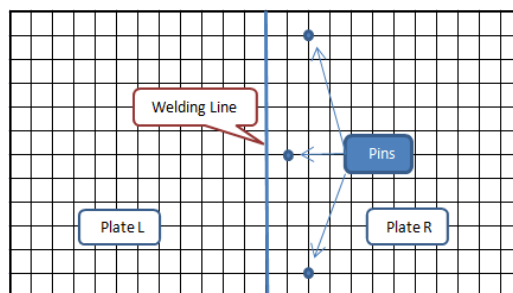
## مقایسه اعوجاج حاصل از آزمایشات با مدل رگرسیونی منتخب

ردیف	مختصات بین های موقعیت دهنده	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	اعوجاج حاصل از آزمایشات (mm)	اعوجاج بیش بینی شده توسط مدل رگرسیونی (mm)	درصد اختلاف
۱	۱۵۲	۱۶۰	۱۱۷	۱۶۰	۴۷	۱۶۰	۴۷	۴,۳۶	۴,۳۹	-۰,۶۴٪
۲	۱۵۲	۴۰	۱۱۷	۱۰۰	۴۷	۱۶۰	۴۷	۴,۲۸	۴,۲۷	۰,۱۳٪
۳	۱۵۲	۴۰	۱۱۷	۴۰	۴۷	۴۰	۴۷	۳,۹۲	۳,۹۰	۰,۴۰٪

مطابق جدول فوق، حداکثر و حداقل خطا به ترتیب ۰,۶۴ و ۰,۱۳ درصد می باشد.

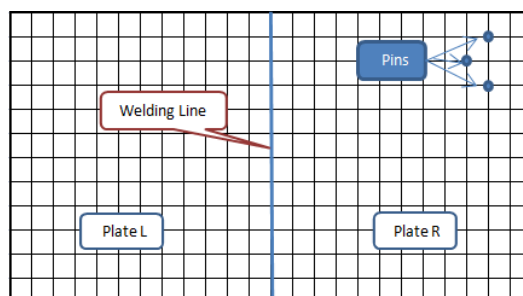
## نتیجه گیری

پس از تحلیل های انجام شده بر روی مدل های رگرسیونی مختلف، نهایتاً مشخص گردید نتایج حاصل از مدل رگرسیونی درجه دوم تعدیل یافته، تطابق بهتری با خروجی آزمایشات تجربی دارد. مدل مذکور به عنوان مدل اصلاح انتخاب گردید با توجه به نحوه آرایش مکان موقعیت دهنده ها (پین ها) در نمونه دارای کمترین میزان اعوجاج مشاهده می شود، هر چقدر فاصله ی مکان موقعیت دهنده ها به خط جوش نزدیکتر باشد و علاوه بر آن، چیدمان آنها نیز بصورت خطی در راستای خط جوش قرار گرفته باشد، می تواند کارگیری بهتر و در نتیجه کنترل بیشتر ورق، جهت جلوگیری از وقوع پیوستن پدیده اعوجاج را فراهم آورد.



شماتیک چیدمان پین‌های موقعیت‌دهنده در نمونه دارای کمترین مقدار اعوجاج

در نقطه مقابل، با مشاهده نحوه چیدمان مکان موقعیت‌دهنده‌ها (پین‌ها)، در نمونه دارای بیشترین مقدار اعوجاج (شکل زیر)، مشخص گردیده است که هر چقدر مکان موقعیت‌دهنده‌ها (پین‌ها) از خط جوش دورتر باشد و علاوه بر آن، فاصله پین‌ها نیز از یکدیگر به حداقل ممکن برسد، پین‌های موقعیت‌دهنده در این حالت کمترین نقش را در کارگیری ورق‌ها بر عهده دارند و این بدین معناست که در این وضعیت، پین‌ها قادر به جلوگیری از ایجاد پدیده اعوجاج بر روی ورق‌های فولادی بر اثر فرایند جوشکاری روی آنها نمی‌باشند.



شماتیک چیدمان پین‌های موقعیت‌دهنده در نمونه دارای بیشترین مقدار اعوجاج

از دیگر نتایج حاصل از این تحقیق، مدلسازی ریاضی فرایند جوشکاری تیگ در ورق‌های فولادی زنگ نزن می‌باشد که در ادامه به تشریح آن پرداخته شده است. با توجه به معیارهای اعتبار سنجی مدل‌ها، مدل رگرسیونی چند جمله‌ای مرتبه دوم تعدیل یافته، تطابق بهتری با داده‌های تجربی داشته و امکان پیش‌بینی مناسب‌تر مقدار اعوجاج را فراهم می‌سازد. همچنین با توجه به مدل ریاضی استخراج شده، می‌توان مکان بهینه‌ی موقعیت پین‌ها (مختصات) که در آن کمترین اعوجاج در آن حاصل می‌شود) را شناسایی نمود.

از این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود که مدلسازی رگرسیونی قابلیت لازم را برای تعیین اثر مختصات پین‌های موقعیت‌دهنده را دارد، لذا از این نتایج می‌توان برای طراحی فیکسچرهای جوشکاری مشابه، با هدف کاهش اعوجاج حاصل از فرایند جوشکاری تیگ بر روی ورق‌های فولادی استفاده نمود. از طرفی با مدل‌های رگرسیونی می‌توان هرگونه رخدادی را پیش‌بینی و برای مواجهه با آن در حین فرایند جوشکاری تصمیمات لازم را اتخاذ نمود.

در این پژوهش نشان داده شده است که مدلسازی رگرسیونی ابزار کارآمدی برای جایگزینی آزمون‌های عملی و پیش‌بینی اعوجاج در ورق‌ها می‌باشد. تحقیقات در این پژوهش، صرفاً تا مرحله قبل از بهینه‌سازی صورت پذیرفته است.



## مراجع

- [۱] Masubuchi, K., Analysis of welded structures: Residual stresses, distortion, and their consequences. Vol. 33. 2013: Elsevier.
- [۲] W. Cai, S. J. Hu, and J. Yuan, "Deformable sheet metal fixturing: principles, algorithms, and simulations," Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 118, pp. 318-324, 1996.
- [۳] B. Li, Y. Hu, H. Tang, H. Yu, and H. Hu, "A comparative study on quality design of fixture planning for sheet metal assembly," Journal of Engineering Design, vol. 19, pp. 1-13, ۲۰۰۸.
- [۴] K. H. Hajikolaie and G. G. Wang, "Optimization of Fixture and Joint Positions in Sheet Metal Assembly: The Effect of Fixture Numbers and Constraints," in ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 2011, pp. 743-750.
- [۵] Juang, S., Y. Tarng, and H. Lii, A comparison between the back-propagation and counter-propagation networks in the modeling of the TIG welding process. Journal of Materials processing technology, 1998. 75(1): p. 54-62 .
- [۶] Weman, K., Welding Process Hand book. 2003: Taylor & Francis.
- [۷] Stainless, N.A. Stainless Steel Grade Sheet. Available from: [www.northamericanstainless.com](http://www.northamericanstainless.com)
- [۸] ران آلن.لئو آلتینگ . ۱۳۸۹. مرجع کامل فرایندهای تولید . اکبر شیر خورشیدیان . انتشارات طراح.
- [۹] کوکبی الف ح، بیدختی ب . ۱۳۸۸. تکنولوژی جوشکاری (متالورژی)- جلد دوم . انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
- [۱۰] فرهنگ پ، کوکبی الف ح، ادب آوازه ع و . ۱۳۸۳. فرهنگ بزرگ جوشکاری . انتشارات آزاده . چاپ اول
- [۱۱] ریچارد بیرد . ۱۳۹۰ . مبانی جوشکاری تیگ و میگ . نیک نژاد ع . انتشارات فنی ایران . چاپ اول
- [۱۲] کوکبی الف ح . ۱۳۸۰. تکنولوژی جوشکاری . چاپ چهارم . انتشارات آزاده.
- [۱۳] اسمیت دیو . ۱۳۸۳. جوشکاری آرگون . رمضانخانی ع . انتشارات فدک ایساتیس. چاپ اول.
- [۱۴] احمدی کیا ح، خاتمی ر . ۱۳۹۰ . جوشکاری و کنترل پیچیدگی ناشی از آن . انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.
- [۱۵] ادوارد هافمن، ۱۳۸۸، جیگ و فیکسچر گام به گام طراحی و ساخت، شیرخورشیدیان الف، انتشارات طراح
- [۱۶] جان لیپولد. دامیان کوتکی. ۱۳۹۱. متالورژی و جوشکاری و جوش پذیری فولادهای زنگ نزن . رحمتی م . شمعیان م . ناشر: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- [۱۷] اولریچ فیشر، ۱۳۸۷، جداول و استانداردهای طراحی و ماشین سازی، ولی نژاد ع ، انتشارات طراح
- [۱۸] بازرگان لاری ع ر . ۱۳۸۴. رگرسیون خطی کاربردی، عبدالرضا . انتشارات دانشگاه شیراز.
- [۱۹] ابراهیم پور م، نوروززاده م، ۱۳۸۶، تحلیل رگرسیون با Minitab14 ، انتشارات اقلیدس.
- [۲۰] رضایی ع م . ۱۳۷۸. مقدمه ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی . انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۲۱] رضوی پاریزی س الف . ۱۳۸۴. مقدمه ای بر تحلیل رگرسیون خطی . انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.