



دومین کنفرانس بین المللی و سومین همایش ملی

کاربرد فناوری های نوین در علوم مهندسی



February 25 2016

۰۶ اسفند ماه ۱۳۹۴



گواهی ارائه مقاله

تاریخ: ۱۳۹۴/۱۲/۰۶

شماره: ۱۳۳۶۱۱۳۸

موضوع محترم: ابوالقاسم جمالی _ مسلم نجفی بیرگانی _ فرهاد کلاهان

جهت ارائه مقاله با عنوان: مدل سازی و بهینه سازی نفوذ جوش در جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ فعال و اتصال نوع T شکل

کواهی می گردد این مقاله از سوی کمیته علمی هایش بصورت پوستر مورد پذیرش قرار گرفت و ارائه گردید. امید است که حضور ارزشمند شما در "دومین کنفرانس بین المللی و سومین همایش ملی کاربرد فناوری های نوین در علوم مهندسی" که در محل دانشگاه فردوسی مشهد برگزار گردید، کاملاً بلندی در عرصه نوآوری و پیشرفت کشور عزیزمان باشد.

Dear author(s): jamali abolghasem _ najafi birgani moslem _ kolahan farhad

This is to certify that your article titled:

Modeling and optimization of weld penetration in MAG

welding process with T-shape joints

has been accepted by and presented in the Scientific Committee of the Conference as. Poster We hope that your valuable presence in the

" 2nd International Conference & 3rd National Conference on New Technologies Application in Engineering " that was held at the Ferdowsi University of Mashhad, is a big step towards the innovation and development of the country.

دبیر علمی کنفرانس

دکتر سید علیرضا درخشان
Conference scientific Manager
Dr S.A. Derakhshan

رئیس کنفرانس

پروفسور علیرضا کرباسی
Conference Chair
Professor A.R. Karbasi

مدل سازی و بهینه سازی نفوذ جوش در جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ فعال و اتصال نوع T شکل

ابوالقاسم جمالی^۱، مسلم نجفی بیرگانی^۲، فرهاد کلاهان^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

۳-دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

یکی از روش های پر کاربرد در صنایع جهت اتصالات دائم، جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ فعال است در این روش دستیابی به اتصالی با کمترین عیب ابعادی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اینکه انتخاب مناسب پارامترهای ورودی فرایند تأثیر زیادی در کیفیت نهایی اتصال دارند بنابراین انتخاب سطوح بهینه پارامترهای از اهمیت فوق العاده ای در اتصال جوشکاری شده برخوردار است. در این پژوهش ابتدا از روش های رگرسیونی برای مدل سازی فرایند استفاده شده است، سپس با استفاده از روش تاگوچی برای یافتن سطوح بهینه چهار پارامتر ورودی (ولتاژ، سرعت جوشکاری، نرخ تغذیه سیم و گپ جوشکاری) استفاده گردید. متغیرهای خروجی نیز شامل سطح نفوذ و گلویی مؤثر می باشند. با استفاده از تحلیل سیگنال به نویز مقادیر بهینه برای دستیابی به حداکثر سطح نفوذ و گلویی مؤثر به صورت همزمان مورد بررسی قرار گرفته اند. علاوه بر این با استفاده از تحلیل واریانس میزان تأثیر هر یک از پارامترها بر روی کیفیت نهایی اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. و در نهایت از مقایسه نتایج بهینه سازی روش تاگوچی با آزمایشات تجربی صحت سنجی، دقت مدل ارزیابی شده است.

واژگان کلیدی: جوشکاری قوس الکتریکی، بهینه سازی، مدل سازی

۱- مقدمه

جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ^۱ یک فرایند جوشکاری قوسی است، که در آن قوس الکتریکی بین یک الکتروود فلزی پرکننده (که به صورت پیوسته به جوش تزریق می شود) و حوضچه مذاب تشکیل می شود. این فرآیند با حفاظت یک گاز متصاعد شده بدون اعمال فشار انجام می شود. این روش به دلیل کارایی بالا در اتصال انواع فلزات در ضخامت های مختلف، تبدیل به یکی از انتخاب های متداول صنعتگران در حوزه های مختلف صنعت، جهت ایجاد اتصال های فلزی مورد نیاز شده است. لذا بررسی جنبه های مختلف این اتصال جهت بهبود کیفیت آن، از اهمیت زیادی برخوردار است.

برای کنترل مناسب فرآیند، آگاهی از نحوه ارتباط پارامترهای تنظیمی فرآیند و مشخصه های کیفی جوش امری ضروری است. کیفیت مطلوب جوش را می توان توسط هندسه مهره جوش بررسی نمود. از طرفی این مشخصات هندسی علاوه بر تاثیر روی شکل ظاهری، نقش مهمی در تعیین خواص مکانیکی جوش ایفا می کند (Murugan, ۲۰۰۵) بنابراین انتخاب و کنترل پارامترهای جوشکاری برای دستیابی به هندسه جوش بهینه و مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. با پیشرفت اتوماسیون در جوشکاری GMAW، انتخاب صحیح پارامترها برای اطمینان از کیفیت مناسب جوش، با هدف کاهش هزینه های تولید و یکنواختی و ثابت ماندن کیفیت محصولات، اهمیت ویژه ای پیدا کرده است.

مرور مطالعات گذشته نشان می دهد که روش های بسیار متنوعی برای مدل سازی و بهینه سازی این فرآیند ارائه شده است، که این روش ها مربوط به آنالیز داده های به دست آمده پس از انجام آزمایشات تجربی است. برای طراحی آزمایشات نیز روش های آماری مختلفی وجود دارد که می توان بر اساس آن ها یک طرح مناسب را از لحاظ ترتیب اجرای آزمایشات و ترکیب پارامترها در هر آزمایش انتخاب کرد. اما آن چه که از تحقیقات گذشته و تجربه عملی به دست آمده است نشان می دهد که تنظیم مناسب پارامترهای جوشکاری، باعث ایجاد اتصالی کامل و با حداقل عیب و نقص در محل جوش می شود که از جمله این پارامترها می توان به جریان قوس، ولتاژ قوس، سرعت جوشکاری، زاویه مشعل جوشکاری، طول سیم آزاد، فاصله نازل، موقعیت جوشکاری و نرخ جریان گاز محافظ (Karadeniz, ۲۰۰۷) اشاره نمود.

تا کنون تلاش های زیادی برای ارائه مدل های ریاضی که بیان کننده ارتباط صحیح بین پارامترهای مؤثر انتخاب شده و هندسه جوش باشد، انجام شده است. (Chandle, ۱۹۸۸) برای اولین بار روش مدل سازی ریاضی را برای فرآیند GMAW بکار برد و روابط بین برخی متغیرهای فرآیند و هندسه مهره جوش را بررسی کرد. نتایج این بررسی نشان داد که مدل های ریاضی استخراج شده از نتایج آزمایشات برای پیش بینی هندسه جوش قابل استفاده است. (kim, ۲۰۰۳) و همکاران نسبت بین پارامترهای جوشکاری و نفوذ جوش را در جوش GMAW رباتیک با استفاده از معادلات رگرسیونی چندگانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نیز نشان داد که مدل های آماری برگرفته از نتایج آزمایش ها می توانند جهت کنترل پارامترهای تنظیمی فرآیند و دستیابی به هندسه مطلوب، مفید و کارا واقع شوند. (Ganjigati, ۲۰۰۶) و همکاران فرآیند GMAW

^۱ Gas Metal Arc Welding(GMAW)

را با استفاده از روش های آماری مدل سازی کردند. در این بررسی آنها نشان دادند که مدل های خطی برای پیش بینی خروجی مورد نظر، دقت بالاتری در مقایسه با مدل های غیر خطی دارند. ما هدف از پژوهش حاضر، تحقیق مدل سازی و تعیین سطوح بهینه پارامترهای فرایند برای افزایش طول گلوئی مؤثر جوش در اتصال T شکل و همچنین افزایش سطح نفوذ جوش در فلز پایه است.

۲- طراحی و اجرای آزمایش ها

۱-۲- روش شناسی سطح پاسخ

روش سطح پاسخ یا RSM^1 ، مجموعه ای از تکنیک های ریاضی و آماری است که برای مدل سازی و آنالیز مسائلی که در آن یک پاسخ مورد نظر تحت تاثیر چند متغیر قرار دارد و هدف بهینه سازی آن است استفاده می شود. اگر در مسئله ای y خروجی مدنظر ما جهت بهینه سازی باشد و x_1 و x_2 عوامل مؤثر بر فرآیند باشند می توان گفت:

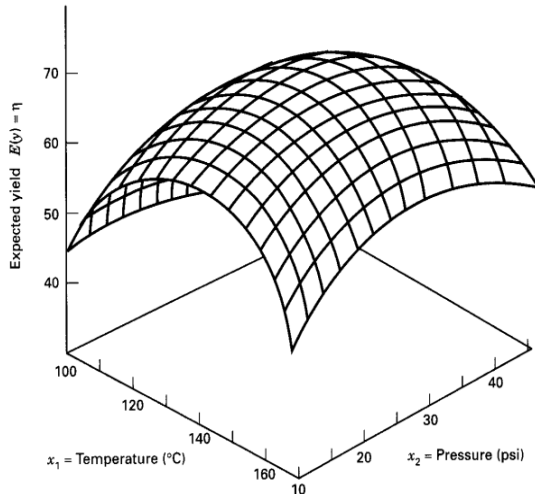
$$y = f(x, x_2) + \varepsilon \quad (1)$$

که در آن ε مقدار نویز یا خطا می باشد. اگر فرض کنیم که جواب به صورت $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ باشد در نتیجه سطح به صورت رابطه زیر بیان می شود:

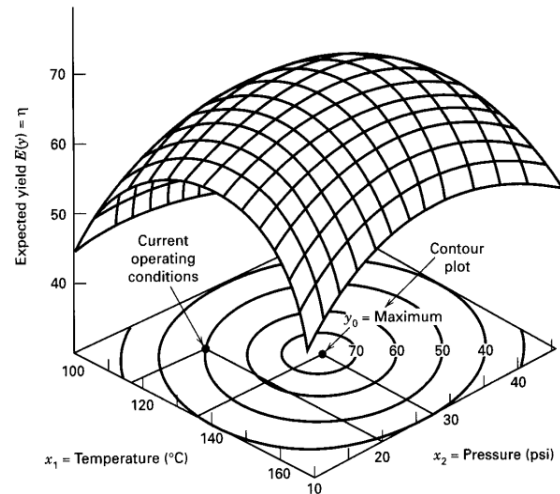
$$\eta = f(x_1, x_2) \quad (2)$$

سطح پاسخ معمولا به صورت گرافیکی مطابق شکل ۱-الف نمایش داده می شود، بطوریکه η را در مقابل سطوح x_1 و x_2 نشان می دهد. برای متصور ساختن شکل یک سطح پاسخ اغلب کانتورهای سطح جواب مطابق شکل ۱-ب رسم می شوند.

¹ Response Surface Method



شکل ۱-الف، شکل گرافیکی مدل سطح پاسخ



شکل ۱-ب، شکل گرافیکی مدل سطح پاسخ همراه با کانتور

۲-۲- طراحی آزمایشات برای ایجاد مدل سطح پاسخ

ایجاد و آنالیز سطح پاسخ با انتخاب یک طرح آزمایش مناسب امکان پذیر است. طراحی CCD که برای ایجاد مدل درجه ۲ بکار می رود عمومی ترین گروه طراحی آزمایشات مورد استفاده در مدل سازی است. طرح باکس-بنکن جزو طرح های مناسبی است که در

این گروه قرار می گیرد. باکس-بنکن طرحی سه سطحی با فاصله سطوح مساوی است که جزو طرح های کروی (چرخش پذیر) بوده و دارای آزمایشات مرکزی می باشد. این آزمایش های مرکزی عموماً ۳ تا ۵ بار تکرار می گردند تا واریانس قابل

قبولی از پاسخ به دست آید. در این تحقیق از طرح باکس-بنکن با استفاده از نرم افزار Design Expert همراه با ۵ تکرار در مرکز استفاده شده است. جدول ۱ خلاصه ای از طرح باکس-بنکن استفاده شده در اجرای آزمایشات را نشان می دهد.

جدول ۱ طراحی آزمایش ها

شماره آزمایش	ترتیب اجرا	ولتاژ (V)	سرعت (m/min)	نرخ تغذیه سیم جوش (m/min)	گپ (mm)
۱	۶	۲۵	۳۵	۸	۱۴
۲	۱۷	۲۰	۳۵	۴	۱۶
۳	۲۰	۳۰	۳۵	۸	۱۶

۲۷	۲۸	۲۵	۳۵	۶	۱۶
۲۸	۲۳	۲۵	۱۵	۶	۱۸
۲۹	۱۵	۲۵	۱۵	۸	۱۶

۲-۳- اجرای آزمایش ها

آزمایشات انجام شده در این پژوهش بر روی فولاد کربنی CK۴۵ با ضخامت ۶mm انجام شد. نمونه های آزمایش در ابعاد ۱۰۰*۵۰*۶ میلی متر تهیه شدند. جهت انجام جوشکاری از سیم پرکننده با ضخامت ۱.۲mm و از گاز محافظ CO₂ استفاده شد. اتصال به صورت T شکل صورت گرفت و زاویه تورچ نیز به صورت ۴۵ درجه نسبت به خط جوش و ۴۵ درجه نسبت به دو نمونه مورد اتصال، ثابت در نظر گرفته شد. در این پژوهش متغیرهای ورودی ولتاژ، سرعت جوشکاری، سرعت تغذیه سیم و فاصله نازل تا قطعه کار در نظر گرفته شدند و سطح نفوذ و گلوئی مؤثر جوش بعنوان خروجی کار در نظر گرفته شد. پارامترهای مورد بررسی در این مقاله به همراه علامت اختصاری و سطوح آنها نیز در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ پارامترهای فرایند و سطوح آن ها

سطوح			علامت	عامل
بالا	متوسط	پایین	اختصاری	
۵۵ m/min	۳۵ m/min	۱۵ m/min	V	سرعت جوشکاری
۸m/min	۶m/min	۴m/min	F	سرعت تغذیه سیم
۱۸mm	۱۶mm	۱۴mm	G	فاصله نازل تا سطح قطعه
(v)۳۰	(v)۲۵	(v)۲۰	V	ولتاژ

تمامی قطعات از فاصله ای یکسان (۴۰mm) نسبت به شروع جوش برش خورده و تصویر سطح مقطع آن ها مطابق شکل ۲ پس از عملیات سنباده کاری، پولیش کاری و اچانت با محلول Nital ۲درصد توسط میکروسکوپ با بزرگنمایی ۷برابر مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱ نمونه ای از آزمایشات انجام شده

۳- آنالیز نتایج

به منظور مدل سازی ریاضی فرآیند جوشکاری GMAW، از رویکرد میان یابی ریاضی استفاده شده است. برای گردآوری داده های تجربی، ۴ پارامتر ورودی در نظر گرفته شده اند. بدین ترتیب تعداد ۲۹ آزمایش، با توجه به ماتریس طرح باکس بنکن، ایجاد شد. به منظور مدل سازی، سه تابع استاندارد درجه اول، درجه دوم و درجه دوم تعدیل یافته با استفاده از روش

رگرسیون، بر داده های موجود برازش داده شده است. تهیه مدل های ریاضی و تحلیل واریانس^۱ در محیط نرم افزار آماری MINITAB انجام گردید. به منظور انتخاب مدل اصلاح و همچنین تشخیص میزان مؤثر بودن هر پارامتر، سطح اطمینان ۹۵ درصد تعیین گردید. نتایج محاسباتی و تحلیل های آماری نشان می دهند که مدل های "مرتب دوم اصلاح شده" بهترین انطباق را بر فرآیند واقعی دارد.

۳-۱- مدل سازی رگرسیونی مربوط به گلوئی مؤثر

شکل نهایی مدل های درجه دوم، ارتباط دهنده پارامترهای ورودی و خروجی (گلوئی مؤثر)، به صورت زیر است.

جدول ۱ مقایسه مدل های برازش داده شده بر روی داده های مربوط به گلوئی مؤثر

P-Value	R ^۲ _(pred)	R ^۲ _{adj}	R ^۲	نوع مدل
۰/۰۰۰	۶۱.۱۱	۶۹.۶۹	۷۴.۰۲	مدل خطی درجه یک
۰/۰۰۰	۸.۵۸	۷۲.۴۴	۸۶.۲۲	مدل درجه ۲
۰/۰۰۰	۸۷.۱۷	۸۹.۷۹	۹۲.۲۴	مدل درجه ۲ اصلاح شده

پس از برازش مدل درجه دوم اصلاح شده بر روی داده ها شکل نهایی مدل مربوط به گلوئی مؤثر در نهایت به شکل زیر در آمده است.

$$T = ۲۰۹۱۵.۸ - ۴۳۳۹.۴۵F - ۱۰۴۱.۹۲G + ۱۹۹.۴۳۳F*G + ۶۶.۷۱۵۹V*F - ۳.۶۳۲۹۳ \quad (۱)$$

$$V*V - ۱.۹۱۶۶۳V*S$$

۳-۲- مدل مربوط به سطح نفوذ جوش

پس از اخذ داده های مربوط به آزمایشات تجربی، برای مدلسازی فرایند از سه تابع متداول رگرسیونی استفاده شد که در نهایت با توجه به معیار های ارزیابی مدل، بهترین مدل انتخاب گردید. در جدول ۴ مقایسه مدل های رگرسیونی برای مساحت نفوذ آورده شده و در نهایت مدل اصلاح نیز انتخاب شده است.

^۱ Analysis of variance (ANOVA)

جدول ۲ مقایسه مدل های برازش داده شده بر روی داده های مربوط به مساحت نفوذ

P-Value	$R^2_{(pred)}$	R^2_{adj}	R^2	نوع مدل
۰/۰۰۰	۲۸.۸۹	۴۵.۹۲	۵۳.۶۴	مدل خطی درجه یک
۰/۰۰۱	-۱۴.۹۸	۶۹.۹۸	۸۴.۹۹	مدل درجه ۲
۰/۰۰۰	۸۱.۸۶	۸۹.۵۸	۹۲.۷۹	مدل درجه ۲ اصلاح شده

پس از برازش مدل درجه دوم اصلاح شده بر روی داده ها شکل نهایی مدل مربوط به مساحت نفوذ در نهایت به شکل زیر در آمده است.

$$A = ۱.۱۱۳۲۵e+۰۰۸ - ۲.۶۷۷۸۵e+۰۰۶V - ۱.۷۳۳۷۲e+۰۰۷F - ۴.۱۰۲۰۹e+۰۰۶G + ۸۰.۱۹۸۸V * F - ۲۲۴۸۷.۳V * S - ۱.۴۴۹۸e+۰۰۶F * F + ۷۳۳۸۶۷F * G + ۶۸۰۶۲.۲S * F \quad (۲)$$

۳-۳- تعیین سطوح بهینه مربوط به مجموع وزن دهی شده خروجی ها

به منظور ارزیابی تنظیمات پارامترهای بهینه، از تحلیل سیگنال سیگنال به نویز^۱ روش تاگوچی استفاده شده است. روش تاگوچی از یک معیار آماری عملکردی که نسبت سیگنال به نویز نامیده شده است، استفاده می کند. نرخ سیگنال به نویز یک معیار عملکردی برای انتخاب سطوح کنترلی که بهترین تقابل را با نویز دارد، می باشد. نرخ سیگنال به نویز هر دو مقدار میانگین و تغییرپذیری را با هم لحاظ می کند. نسبت سیگنال به نویز در واقع نسبت میانگین به انحراف معیار است. این نسبت به مشخصه های فرایند بستگی دارد، نرخ سیگنال به نویز استاندارد به طور کلی، نسبت سیگنال به نویزهای استاندارد است که استفاده می شوند بر سه نوع اند: هر چه کمتر، بهتر، هر چه به مقدار اسمی نزدیک تر، بهتر و هر چه بزرگ تر، بهتر.

در این پژوهش هر چه مقادیر مجموع وزن دهی شده گلولی مؤثر جوش و سطح نفوذ بیشتر باشند نتیجه بهتری حاصل می شود، و با توجه به این که خروجی ها بی بعد شده اند و بهترین خروجی عدد یک را به خود اختصاص می دهد و بقیه خروجی ها مقادیری بین صفر و یک هستند، از این رو از ویژگی "هر چه بزرگ تر، بهتر" برای بهینه سازی استفاده می کنیم. که از رابطه ۲ برای به دست آوردن نسبت سیگنال به نویز استفاده شده است.

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (۳)$$

^۱ Signal to Noise Ratio(SNR)

۳-۴- محاسبه مقدار SNR برای هر پارامتر در سطوح مختلف

با توجه به آرایه استاندارد تاگوچی و مقادیر SNR محاسبه شده برای هر یک از ۲۹ آزمایش انجام گرفته، مقدار میانگین SNR برای هر پارامتر ورودی و در سطوح مختلف با توجه به رابطه ۴ محاسبه می شود (Benyounis, ۲۰۰۸).

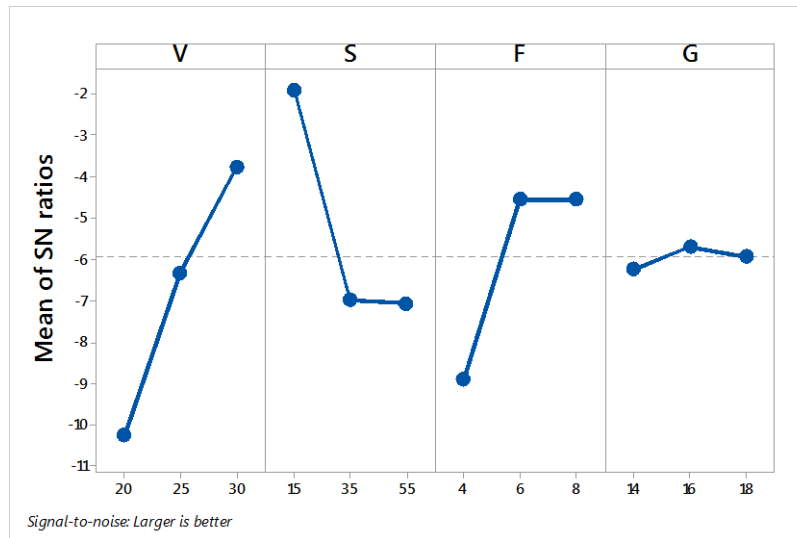
$$\bar{n} = n_m + \sum_{n=1}^o (n_m - n_i) \quad (۴)$$

در رابطه ۴ مقدار n_m و n_i به ترتیب نسبت S/N برای هر مرحله و نسبت S/N برای تمامی مراحل می باشد. با استفاده از نرم افزار مینی تب مقادیر SNR برای هر آزمایش و همچنین مقدار میانگین آن برای هر پارامتر به دست آورده شده است. بر این اساس در شکل ۳ سطوح بهینه پارامترها برای خروجی مجموع وزن دهی خروجی ها به دست آورده شده است. همان طور که از شکل ۳ ملاحظه می شود برای دستیابی به بهترین حالت خروجی ها، باید ولتاژ در بالاترین سطح، سرعت جوشکاری در پایین ترین سطح، سرعت تغذیه سیم در سطح بالایی یا میانی و همچنین مقدار گپ نیز در سطح میانی خود قرار بگیرند.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می شود که سطوح بهینه به دست آمده برای بهترین حالت خروجی ها در فولاد CK۴۵ با ضخامت ۶ میلی متر و جوش T شکل عبارت اند از: V_3, S_1, F_4, G_4 . ضمن اینکه تمامی محاسبات آماری استفاده شده در این مقاله با استفاده از نرم افزار مینی تب ۱۷ استفاده شده است.

۳-۵- تحلیل واریانس برای مجموع خروجی ها

تحلیل واریانس یک تکنیک رایج آماری است که برای تعیین میزان تأثیر هر پارامتر بر خروجی از آن استفاده می شود (Yousefieh, ۲۰۱۲) از این روش برای محاسبه مجموع مربعات (SS)، درجه آزادی (D)، واریانس (V)، و درصد سهم هر عامل (P) استفاده می شود که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.



شکل ۳: ترکیب سطوح بهینه پارامترها

همان طور که از نمودار شکل ۳ هم مشاهده می شود، سرعت جوشکاری با تأثیر بیش از ۳۲ درصد، بیشترین تأثیر، گپ جوشکاری با تأثیر حدود ۱ درصد کمترین تأثیر را بر روی مجموع وزن دهی شده خروجی ها داشته است. دلیل تأثیر بالای پارامتر سرعت را می توان با نقش آن در انرژی حرارتی که به قطعه کار می دهد، توجیه کرد.

در آنالیز واریانس اگر درصد تأثیر خطا کمتر از ۱۵ درصد باشد، نشان دهنده این است که عامل مهمی در طراحی آزمایشات تجربی از دست داده نشده است (Yousefieh, ۲۰۱۱)، با توجه به جدول ۵ مشاهده می شود که درصد تأثیر خطا کمتر از ۱۹ درصد می باشد و عامل مهمی در طراحی آزمایشات از دست داده شده است.

جدول ۵ آنالیز واریانس داده ها

Source	DF	SS	V	F	p-value	PC(%)
V	۲	۶۸	۱۵	۳/۰۴	۰/۰۹۳	۲۴
S	۲	۷۸	۲۵	۷/۴۸	۰/۰۱۰	۳۲
F	۲	۵۱	۳۵	۵/۲۰	۰/۰۲۸	۲۰
G	۲	۲	۱	۰/۲۵	۰/۷۸۱	۱
Error	۱۰	۴۸	۴			
total	۱۸	۲۴۸				

۳-۶- بررسی مقادیر بهینه به دست آمده با استفاده از روش تاگوچی و مقایسه با خروجی فرایند

برای بررسی جواب بهینه به دست آمده مقدار آزمایش تجربی صحت سنجی که برای مجموع وزن دهی شده خروجی ها مقدار ۰/۹۷۳ حاصل شد. پیش بینی الگوریتم تاگوچی نیز ۱/۰۲ را نشان می دهد که مشاهده می شود نتایج روش تاگوچی با آزمایش صحت سنجی تنها ۸ درصد اختلاف دارد. در جدول ۶ مقادیر حاصل از تاگوچی و تست صحت سنجی نشان داده شده است. در این جدول همچنین بین نسبت S/N بهینه مدل با مقدار متناظر در آزمایش شماره یک مقایسه ای صورت گرفته است که مشاهده می شود که این پارامتر به میزان ۸.۲۸ واحد افزایش داشته است.

جدول ۳ مقایسه نتایج بهینه حاصل از الگوریتم تاگوچی و مدل رگرسیونی

مقادیر بهینه خروجی			
	آزمایش اول	آزمایش تجربی	تاگوچی
ترکیب ورودی ها	F1G11V1S	F2G21V3S	F2G21V3S
مجموع خروجی ها	۰/۴۳۷	۰/۹۳۷	۱/۰۲
SNR	-۷/۱۷	-۰/۵۵۷	۱/۱۱
مقدار بهبود در SNR نسبت به آزمایش شماره ۱			۸/۲۸

نتیجه گیری

در این پژوهش روش تاگوچی برای ارزیابی ترکیب سطوح بهینه پارامترهای جوش قوس الکتریکی با گاز محافظ فعال به منظور دستیابی همزمان به بیشترین سطح نفوذ جوش و افزایش طول گلویی مؤثر جوش در اتصال آ شکل فولاد کربنی CK۴۵ اعمال شد. روش تاگوچی یک روش بسیار مؤثر برای بهینه سازی فرایندهایی که می توانند با تعداد محدودی آزمایش انجام شوند، می باشد. این روش اغلب برای کارهایی که دامنه آزمایش آن ها زیاد است پیشنهاد می شود. از مقایسه نتایج به دست آمده از بهینه سازی با روش تاگوچی با نتایج حاصل از آزمایشات تجربی مشاهده شد که تفاوت بسیار کمی بین این دو وجود دارد که نشان دهنده دقت بالای روش تاگوچی می باشد. همان طور که در جدول ۶ نیز نشان داده شده است،

الگوریتم تاگوچی با سطوح بهینه‌ای که به دست آورده بود، خروجی ۱.۰۲ را نیز برای این سطوح پیش‌بینی کرد و با انجام آزمایش تجربی با همین سطوح بر خروجی‌ها و ورودی‌های مسئله، خروجی ۰.۹۳۷ به دست آمد. از مقایسه این دو و همچنین با توجه به خطای اجتناب‌ناپذیر در آزمایشات عملی مشاهده می‌شود که اختلاف قابل قبولی بین پیش‌بینی تاگوچی و مدل وجود داشت، که نشان‌دهنده دقت بالای الگوریتم تاگوچی است.

مراجع

- N. Murugan , V. Gunaraj, "Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes," Int. J. of Materials Processing Technology, ۱۶۸, pp. ۴۷۸-۴۸۷, ۲۰۰۵
- R.S. Chandel, "Mathematical modeling of gas metal arc weld features," Fourth Int. Conf. on Modeling of Casting and Welding Processes, pp. ۱۰۹-۱۲۰, ۱۹۸۸.
- Kim I, Son J, Kim I, Kim J, Kim O (۲۰۰۳) A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO₂ arc welding. J Mater Process Technol ۱۳۶(۱):۱۳۹-۱۴۵
- Erdal Karadeniz, Ugur Ozsarac, Ceyhan Yildiz, The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes," Int. J. of Materials and Design, vol. ۲۸(۲), pp. ۶۴۹-۶۵۶, ۲۰۰۷.
- Benyounis, K.Y., Olabi, A.G., "Optimization of different welding processes using statistical and numerical approaches – A reference guide", Advances in Engineering Software ۳۹, ۴۸۳-۴۹۶, ۲۰۰۸
- M. Yousefieh .M. Shamanian . A. R. Arghavan "Analysis of Design of Experiments Methodology for Optimization of Pulsed Current GTAW Process Parameters for Ultimate Tensile Strength of UNS S۳۲۷۶۰ Welds". Metallogr. Microstruct. Anal. (۲۰۱۲) ۱:۸۵-۹۱
- Yousefieh M, Shamanian M, Saatchi A. "Optimization of the pulsed current gas tungsten arc welding (PCGTAW) parameters for corrosion resistance of super duplex stainless steel (UNS S۳۲۷۶۰) welds using the Taguchi method" .J Alloys Compd ۲۰۱۱;۵۰۹(۳):۷۸۲e۸.