

۴ الی ۶ اردیبهشت ۱۳۹۷

بیست و ششمین
همایش سالانه بین المللی
انجمن مهندسان مکانیک ایران
26th Annual International
Conference of
Iranian Society of
Mechanical Engineers
ISME 2018



انجمن مهندسان مکانیک ایران



دانشگاه سمنان

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می شود که مقاله با عنوان

استفاده از مدل سازی ریاضی و الگوریتم فرا ابتکاری تبرید

شبیه سازی شده در بهینه سازی فرآیند جوشکاری قوس

الکتریکی با گاز محافظ

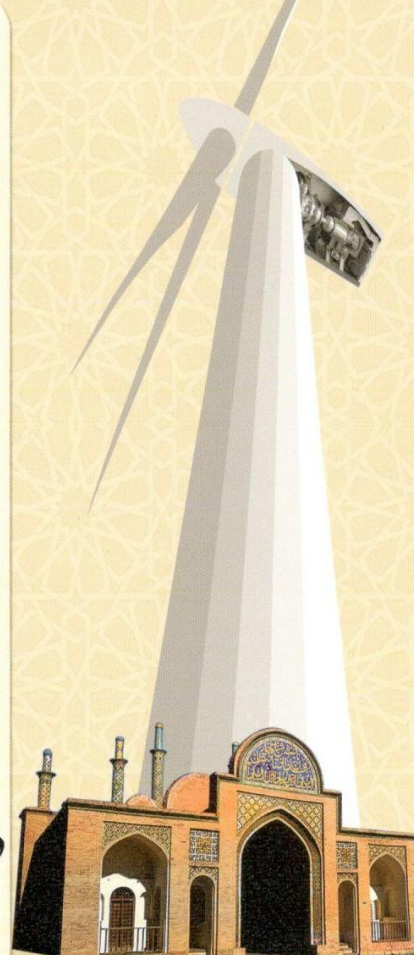
توسط نویسندگان

علیرضا نیکروان، فرهاد کلاهان

در بیست و ششمین همایش سالانه بین المللی انجمن مهندسان مکانیک ایران

که در دانشگاه سمنان برگزار گردید، ارائه شده است.

دکتر سید علی محمد حسینی
مدیر همایش



دبیرخانه همایش:
سمنان، روبروی پارک سوکان، پردیس شماره یک
دانشکده مهندسی مکانیک تلفن: ۰۲۳-۳۳۶۵۴۳۳۹
کدپستی: ۳۵۱۳۱-۱۹۱۱۱ فکس: ۰۲۳-۳۱۵۳۳۴۱۱
ارسال مقالات از طریق وب سایت:
<http://isme2018.semnan.ac.ir>
Email: isme2018@semnan.ac.ir

26th Annual International
Conference of
Iranian Society of
Mechanical Engineers
ISME 2018



استفاده از مدل سازی ریاضی و الگوریتم فرا ابتکاری تبرید شبیه سازی شده در بهینه سازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ

علیرضا نیکروان^۱، فرهاد کلاهان^۲

^۱ دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ با توجه به خصوصیات منحصر به فرد خود همچون نفوذ مناسب، اعوجاج کم و قابلیت استفاده در سیستم های جوشکاری اتوماتیک به عنوان یکی از پرکاربردترین فرآیندهای اتصال در صنایع مختلف به ویژه صنایع نفت و گاز محسوب می شود. بنابراین شناخت و تحلیل دقیق این فرآیند ضروری می باشد. اما به دلیل تعداد پارامترهای کنترلی زیاد رسیدن به اتصال با کیفیت مطلوب در گرو شناخت دقیق فرآیند، فاکتورهای تأثیرگذار و نحوه تأثیر آنها بر خصوصیات مکانیکی و متالورژیکی جوش است. فرآیند جوشکاری با گاز محافظ دارای پارامترهای ورودی زیادی است که هر یک به نوبه خود بر روی کیفیت جوش تأثیر می گذارند. تشخیص چگونگی تأثیرگذاری هر پارامتر و اهمیت آنها، کار دشواری است که نیاز به بررسی دقیق فرآیند از طریق طراحی آزمایشات و تحلیل های نرم افزاری دارد از این رو در این تحقیق تلاش می شود تا با انجام مطالعات تجربی و تحلیل های آماری، رفتار فرآیند و پارامترهای موثر در آن بررسی شود. همچنین روشی به منظور تعیین سطوح بهینه پارامترهای این فرآیند برای نیل به خروجی مد نظر ارائه گردید.

کلیدواژه ها: جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ، بهینه سازی، طرح تاگوچی، مدل سازی ریاضی، الگوریتم تبرید شبیه سازی شده.

مقدمه

امروزه روش های جوشکاری به عنوان یکی از مهم ترین فرآیندهای اتصال شناخته می شوند. جوشکاری به منظور ایجاد اتصال دائمی مواد مهندسی (به خصوص فلزات) به یکدیگر انجام می گیرد به گونه ای که خواص اتصال حتی المقدور مشابه خواص ماده پایه باشد. امروزه با گسترش کاربرد فلزات در صنایع، استفاده از این فرآیندها افزایش چشمگیری یافته است. از این رو با توجه به اهمیت جوشکاری در تولید، دستیابی به کیفیت مناسب در آن بسیار ضروری به نظر می رسد. رسیدن به این کیفیت در گرو تنظیم هر چه بهتر پارامترهای تنظیمی فرآیند است، که نوع و تعداد این پارامترها با توجه به نوع جوشکاری می تواند متفاوت باشند.

جوشکاری دارای انواع مختلفی است. در این میان جوشکاری قوس الکتریکی یکی از روش های متداول و پر کاربرد است که خود شامل انواع متنوعی است. روش جوشکاری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته جوشکاری قوس الکتریکی با استفاده از گاز محافظ است که

جزء فرآیندهای مهم در ایجاد اتصالات فلزی دائمی با کیفیت بالا به شمار می آید. این روش کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف، از جمله صنایع هوا و فضا، خودروسازی و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی دارد. با توجه به نیاز این صنایع به اتصالات دقیق و قابل اطمینان، اهمیت دستیابی به کیفیت مناسب در اتصالات بسیار ملموس تر می شود.

در کشور ایران صنعت نفت و گاز دارای جایگاه خاصی است، ولی متأسفانه به علت نبود داده های آزمایشگاهی مناسب و دقیق، در این زمینه کار زیادی صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت موضوع، لزوم بررسی و تحقیق مناسب در این حیطه کاملاً ضروری احساس می شود. لذا هدف اصلی از این تحقیق، مدل سازی و بهینه سازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ است. در این بررسی ابتدا به کمک تکنیک های طراحی آزمایشات داده های آزمایشگاهی بدست آمده و سپس با استفاده از این داده ها به منظور ایجاد رابطه ریاضی دقیق بین پارامترهای ورودی جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ و متغیر خروجی (سختی)، مدل های ریاضی مبتنی بر روش های میان یابی، بر اساس داده های تجربی استخراج شده است. یکی از مهم ترین روش های میان یابی روش مدل سازی رگرسیون می باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. برای استخراج مدل ها، طرح آزمایش تاگوچی مورد استفاده قرار گرفته است که داده های مورد نیاز را برای مدل سازی فراهم می نماید. سپس با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده مدل انتخاب شده برای نیل به خروجی مد نظر استفاده شد.

مروری بر تحقیقات گذشته

تأثیر پارامتر جنس الکتروود و ترکیب گاز محافظ را بر روی نرخ پاشیدن قطرات مذاب، ترکیب شیمیایی جوش و استحکام کاشی اتصال توسط لیاو و همکارانش [۱] مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در جوشی که از الکتروود توپر استفاده شده نسبت به الکتروود یکپارچه نرخ پاشیدن کمتری اتفاق می افتد. همچنین ترکیب گاز محافظ بر روی استحکام کاشی و استحکام نهایی اتصال تأثیری ندارد. سرینواسا راو و همکارانش [۲]، تأثیر پنج پارامتر نرخ تغذیه سیم، ضخامت ورق، فرکانس، جریان پایه و نسبت سرعت تغذیه سیم به سرعت جوشکاری را بر روی هندسه گرده جوش، عمق نفوذ و درصد برآمدگی گرده جوش بررسی نمودند. مشاهده شد که دو پارامتر نرخ تغذیه سیم و نسبت نرخ تغذیه به سرعت جوشکاری به ترتیب تأثیرگذارترین فاکتورها بر روی عمق نفوذ و درصد برآمدگی گرده هستند. در واقع در جریان های بالا، برای مقادیر زیاد نرخ تغذیه در سرعت های کم جوشکاری می توان به نفوذ مناسب و درصد برآمدگی کم دست یافت. همچنین با کاهش فرکانس جوشکاری، می توان به عمق نفوذ بهتری رسید. گولنک و همکارانش [۳]، تأثیر ترکیب های متفاوت دو گاز محافظ هیدروژن و آرگون را در جریان های مشخص بر روی فولاد ضد زنگ 304L بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار هیدروژن، چقرمگی جوش نیز افزایش می یابد از طرف دیگر با افزایش مقدار هیدروژن به دلیل بالا رفتن دما، اندازه دانه ها نیز در ریزساختار افزایش می یابد. عرض گرده جوش و عمق نفوذ نیز با افزایش مقدار هیدروژن زیاد می شود. همچنین با استفاده از آزمایش سختی مشخص گردید که برای تمام نمونه ها مقدار سختی جوش بیشتر از خود قطعه کار است.

جدول ۱: پارامترهای تنظیمی جوشکاری و سطوح آن ها

پارامتر	ولتاژ	سرعت تغذیه سیم	سرعت جوشکاری	نرخ جریان گاز	گاز محافظ
واحد	ولت	متر/دقیقه	سانتیمتر/دقیقه	لیتر/دقیقه	درصد
نشانه	V	F	S	FR	GT
سطح پایین	۲۶	۱۲	۱۸	۱۵	۵
سطح بالا	۳۴	۱۶	۳۶	۳۵	۲۵

انجام آزمایشات و اخذ نتایج خروجی

دستگاه استفاده شده در این تحقیق از نوع دستگاه های MIG/MAG ساخت شرکت گام الکتریک است که یکی از شرکت های معروف کشورمان در زمینه ساخت دستگاه های جوشکاری می باشد. مدل دستگاه از سری PARSMIG-SP501 بوده که به طور گسترده در صنایع داخلی مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق از ترکیب دو گاز دی اکسید کربن و آرگون استفاده شده است. گاز آرگون بکار رفته گرید ۴ بوده و دارای خلوص ۹۹/۹۹ درصد می باشد. هر دو کپسول مجهز به فشارسنج و دبی سنج مدل هستند. در کپسول دی اکسید کربن یک سیستم گرم کننده برای جلوگیری از یخ زدگی گاز تعبیه شده است. بازه فشار سنج بکار رفته ۰ تا ۳۰۰ بار بوده و بازه دبی سنج ۰ تا ۳۵ لیتر در دقیقه می باشد.

با توجه به این که هدف اصلی در این تحقیق، مدل سازی فرآیند جوشکاری ورق های مورد استفاده در ساخت لوله های انتقال گاز بوده است، نمونه های بکار رفته در آزمایشات از جنس 5L-X42 تحت استاندارد API می باشد. برای اطمینان از ترکیب شیمیایی ورق ها، بر روی یک نمونه از قطعات آنالیز جنس صورت گرفت. ضخامت ورق های بکار رفته در این تحقیق ۸ میلی متر است که برای انجام جوشکاری با ابعاد ۱۰ × ۵ سانتیمتر توسط دستگاه گیوتین به تعداد

بدرین منظور در این تحقیق سعی شده تا با کار آزمایشگاهی دقیق و علمی اهداف تعیین شده زیر بر آورده شود.

بررسی و تعیین میزان تأثیر پارامترهای تنظیمی جوشکاری بر میزان سختی جوش. ایجاد مدل های ریاضی مبتنی بر نتایج آزمایشات عملی به منظور تبیین رابطه دقیق بین پارامترهای ورودی و مشخصه های خروجی. طراحی و توسعه الگوریتم بهینه سازی تبرید شبیه سازی شده برای تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی برای نیل به خروجی مد نظر.

بکارگیری رویکرد تاگوچی در طراحی آزمایشات

به طور کلی در روش تاگوچی پارامترها به دو دسته قابل کنترل و غیر قابل کنترل تقسیم می شوند. پارامترهای کنترلی فاکتورهایی هستند که با انتخاب سطوح مختلف، تأثیر آن ها بر روی فرآیند بررسی می شود. برای فاکتورهایی که با توجه به محدودیت های عملکردی دستگاه یا بنا به شرایط محیطی امکان کنترل وجود ندارد نیز سطوح ثابتی انتخاب می گردد و به عنوان پارامترهای غیر کنترلی در نظر گرفته می شوند. آرایه متعامد شامل یک آرایه داخلی و یک

پارامتر، سطح اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته شد. نتایج محاسباتی و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهند که مدل "مرتبه دوم تعدیل یافته" بهترین انطباق را بر سختی دارند. [۵]. شکل نهایی مدل‌های رگرسیونی مرتبه اول، دوم، دوم تعدیل یافته و لگاریتمی در روابط ۱ تا ۴ ارایه شده است:

$$MH = 197 - 0.050 \times V + 0.40 \times F + 1.09 \times S + 0.068 \times FR - 36.8 \times GT \quad (1)$$

$$MH = 206 - 20.2 \times V + 24.8 \times F + 20.0 \times S + 5.92 \times FR - 3377 \times GT + 0.205 \times V^2 - 1.15 \times F^2 - 0.244 \times S^2 - 0.346 \times FR^2 + 1066 \times GT^2 - 0.158 \times V \times F - 0.188 \times V \times S + 0.412 \times V \times FR + 43.3 \times V \times GT - 0.049 \times F \times FR + 114 \times F \times GT + 5.17 \times S \times GT \quad (2)$$

$$MH = 146 - 7.22 \times V + 28.5 \times S - 3397 \times GT - 0.497 \times F^2 - 0.284 \times S^2 - 0.394 \times FR^2 + 995 \times GT^2 - 0.449 \times V \times S + 0.588 \times V \times FR + 44.8 \times V \times GT + 116 \times F \times GT + 0.0794 \times S \times FR + 4.00 \times S \times GT \quad (3)$$

$$\ln(MH) = 4.88 - 0.013 \times \ln(V) + 0.031 \times \ln(F) + 0.126 \times \ln(S) + 0.0159 \times \ln(FR) - 0.0216 \times \ln(GT) \quad (4)$$

بر اساس تحلیل‌های آماری انجام شده، تاکنون مدل مرتبه دوم تعدیل یافته دارای دقت بالاتری نسبت به مدل خطی می‌باشد (جدول ۳).

در مرحله آخر، وضعیت باقی‌مانده‌های مدل اصلاح (مرتبه دوم تعدیل یافته) مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به نمودارهای باقی‌مانده‌ها (شکل ۲) این نکته حاصل می‌شود که باقی‌مانده‌ها دارای شرایط مورد نظر هستند. هیستوگرام باقی‌مانده‌ها وضعیت نرمال بودن باقی‌مانده‌ها را تصدیق می‌نماید. نمودار پراکندگی مقادیر تخمین زده شده در مقابل باقی‌مانده‌ها، بیان‌کننده ثابت بودن واریانس می‌باشد، زیرا این نمودار ساختار خاصی را نشان نمی‌دهد. بنابراین مدل مورد نظر درست است. همچنین نمودار احتمال نرمال نیز نشان‌دهنده توزیع مقادیر در امتداد خط مستقیم است که این خود موید توزیع

مورد نیاز برش داده شد. همچنین برای افزایش کیفیت سطح لبه‌های برش خورده، یک مرحله عملیات فرزکاری بروی قطعات انجام شد. پارامتر خروجی بررسی شده در این تحقیق سختی جوش است. برای بدست آوردن سختی، ابتدا نمونه‌هایی که در مرحله قبل ماکرواچ شده‌اند، دوباره توسط سنادهای ۶۰۰ و سپس ۱۲۰۰ سناده‌زنی شده تا به کیفیت سطح مطلوب برسند. سپس با استفاده از دستگاه سختی سنج ویکرز مدل BUEHLER-6125 (شکل ۱) سختی قطعات گرفته شد. جدول (۲) طرح آزمایشی تاگوچی را نشان می‌دهد. در این جدول ۵ ستون اول پارامترهای جوشکاری و ستون آخر نتایج مربوط به آزمایشات را نشان می‌دهد.



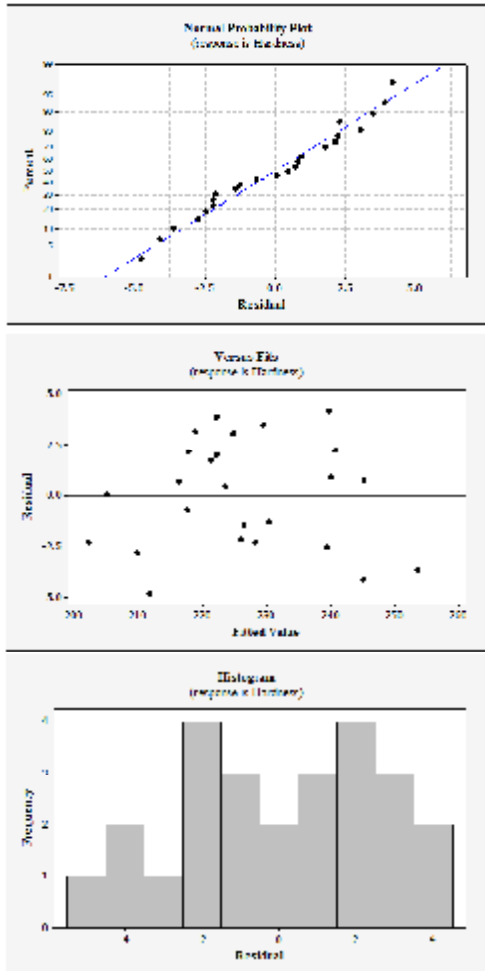
شکل ۱: دستگاه سختی سنج ویکرز بکار گرفته شده

جدول ۲: ماتریس آزمایشات تاگوچی و نتایج سختی اندازه‌گیری شده

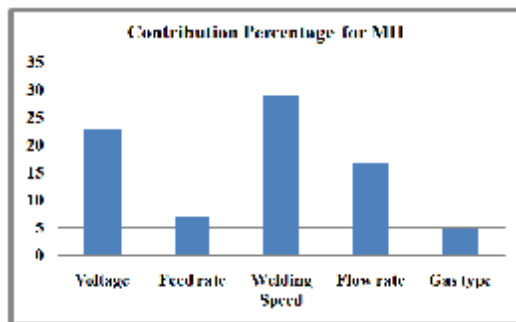
دریف	ولتاژ	سرعت تغذیه سیم	سرعت جوشکاری	نرخ جریان گاز	گاز محافظ	سختی
۱	۱	۱	۱	۱	۵	۲۲۴
۲	۱	۲	۲	۲	۱۰	۲۳۷
۳	۱	۳	۳	۳	۱۵	۲۴۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۳	۵	۳	۲	۱	۲۵	۲۲۰
۲۴	۵	۴	۳	۲	۵	۲۲۸
۲۵	۵	۵	۴	۳	۱۰	۲۴۱

مدل‌سازی فرآیند و تحلیل نتایج حاصله

به منظور مدل‌سازی فرآیند، توابع مختلف رگرسیونی، شامل توابع مرتبه اول، دوم، دوم تعدیل شده و لگاریتمی بر داده‌های تجربی حاصل از آزمایشات، برآزش داده شد. تهیه مدل‌های ریاضی و تجزیه و تحلیل واریانس در محیط نرم‌افزار آماری مینی‌تب انجام شد. به منظور افزایش دقت مدل‌سازی و همچنین تعیین میزان تاثیر هر



شکل ۲: نمودارهای احتمال نرمال، مقادیر تخمین زده شده و هیستوگرام برای مدل مرتبه دوم تعدیل یافته



شکل ۳: درصد تأثیر گذاری پارامترها ورودی میزان سختی جوش

مطابق شکل بالا، پارامتر سرعت جوشکاری بیشترین تأثیر را بر میزان سختی جوش دارد. پارامتر ولتاژ و نرخ جریان گاز نیز به ترتیب در مکان های بعدی قرار می گیرند. همچنین پارامتر ترکیب گاز کمترین تأثیر را بر روی خروجی دارد.

نرمال باقی مانده های حاصل از برازش مدل درجه دوم تعدیل یافته است.

جدول ۳: مقایسه ضرایب همبستگی مدل های برازش شده برای میزان سختی جوش

مدل برازش شده	ضریب همبستگی (R^2)	ضریب همبستگی تعدیل یافته (R^2_{adj})
مدل خطی	۵۶/۹۲	۳۸/۲۰
مدل درجه دوم	۹۷/۰۱	۹۴/۴۰
مدل درجه دوم تعدیل یافته	۹۸/۰۸	۹۵/۷۰
مدل لگاریتمی	۵۷/۷۰	۳۹/۶۲

مدل بدست آمده ضریب همبستگی ۹۴٪ را دارا هستند که این ضریب همبستگی بالا بیانگر برازش خوب مدل بر فرآیند است. در کنار تحلیل های آماری، مدل انتخابی به کمک آزمایشات تجربی نیز صحت گذاری گردید. برای این که بتوان به صحت مدل های ایجاد شده اطمینان پیدا کرد، یک سری آزمایشات گواه مطابق جدول ۴ انجام شده است.

جدول ۵: مقادیر برازش شده توسط مدل سختی جوش، مقادیر حاصل از آزمایشات و درصد خطای متغیر پاسخ را نشان می دهد.

جدول ۴: جدول مربوط به آزمایشات صحت گذاری مدل مرتبه دوم تعدیل یافته

شماره آزمایش	ولتاژ (ولت)	نرخ تغذیه سیم (متر/دقیقه)	سرعت جوشکاری (سانتی-متر/دقیقه)	نرخ جریان گاز (لیتر/دقیقه)	ترکیب گاز (درصد)
۱	۲۵	۱۴	۲۷	۲۵	۱۶
۲	۲۷/۵	۱۵/۵	۳۷	۱۳	۱۰
۳	۳۰	۱۷	۲۲	۳۱	۴
۴	۳۲/۵	۱۱	۳۲	۱۹	۲۷
۵	۳۵	۱۲/۵	۱۷	۳۷	۲۲

$$P = \text{Exp}\left(\frac{-\Delta Z}{T_k}\right)$$

(۵)

در این رابطه ΔZ تفاضل انرژی نقطه هدف و نقطه فعلی است. همچنین T دمای سیستم می‌باشد. برای اینکه الگوریتم شانس بیشتری برای حرکت به جواب‌های غیر بهبود دهنده به منظور جلوگیری از گیر افتادن در بهینه‌های محلی را داشته باشد معمولاً در ابتدای جستجو، مقدار دمای اولیه بزرگ انتخاب می‌شود. اما با افزایش این حرکت‌ها، این دما طبق رابطه‌ی نرخ سرمایه‌ی به تدریج کاهش می‌یابد به عبارت دیگر با پیشرفت جستجو، حرکت‌ها غالباً بر اساس بهبود تابع هدف انجام شده و نقش طبیعت تصادفی الگوریتم در پذیرش جواب جدید کاهش می‌یابد.

در این تحقیق، تابع مرتبه دوم تعدیل یافته، به عنوان تابع هدف الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده استفاده شد. جدول ۶، نتایج حاصل از بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج صحه‌گذاری صلاحیت مدل و روش ارائه شده مشهود است. مقدار خطای مدل ارائه شده کمتر از ۳ درصد می‌باشد که با توجه به تجهیزات مورد استفاده، قابل قبول می‌باشد.

جدول ۶: نتایج بهینه‌سازی برای مشخصه‌ی خروجی سختی

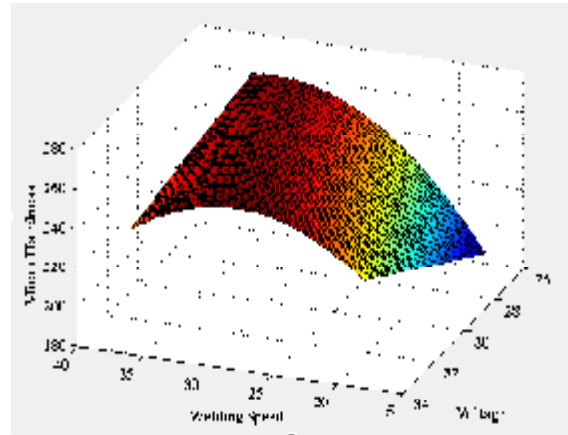
مقادیر بهینه پارامترهای ورودی					متغیر پاسخ		خطا (%)
V	F	S	FR	GT	مقدار آزمایش تجربی	مقدار پیش‌بینی شده	
۲۶	۱۳	۱۸	۲۰	۱۵	۱۸۲	۱۸۷	۲/۶

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا با بکارگیری تکنیک طراحی آزمایشات ماتریسی انجام آزمایشات طراحی و سپس به کمک توابع مختلف رگرسیون (مرتبه اول، دوم، دوم تعدیل یافته و لگاریتمی) مدل‌سازی انجام شد. با بکارگیری آنالیزهای آماری مدل اصلح از بین مدل‌های آرایه شده انتخاب و برای اطمینان از نتایج مربوطه تعدادی از آرایش تجربی انجام شد. نتایج آزمایشات عملی و نتایج حاصل از مدل‌سازی ریاضی گواهی بر کفایت مدل انتخابی می‌باشد. همچنین میزان تاثیر پارامترها بر خروجی مدنظر تعیین گردید. در انتها با بکارگیری الگوریتم فرا ابتکاری تبرید شبیه‌سازی شده مدل انتخابی برای نیل به خروجی مدنظر بهینه شد.

تحلیل‌های صورت گرفته در این زمینه نشان داد که برای رسیدن به مقدار کمینه سختی باید پارامترهای سرعت و ولتاژ در سطوح حداقل خود قرار بگیرند. همچنین مشاهده شد که حداقل سختی بدست آمده بیشتر از سختی قطعه است.

در بررسی میزان سختی جوش، مطابق شکل ۴، با افزایش سرعت و کاهش ولتاژ میزان سختی به حداکثر خود می‌رسد. همچنین با کاهش هم‌زمان ولتاژ و سرعت، این مقدار به مینیمم خود نزدیک می‌گردد. در سطوح ثابت سرعت نیز با افزایش ولتاژ میزان سختی تا حدی افزایش می‌یابد. در اینجا نیز سرعت، به دلیل ایجاد تغییرات بیشتر در خروجی، از اهمیت بیشتری نسبت به ولتاژ برخوردار است.



شکل ۴: تاثیر متقابل سرعت جوشکاری و ولتاژ بر روی سختی جوش

جدول ۵: مقایسه نتایج آزمایشات تجربی با مقادیر برآورد شده توسط مدل مرتبه دوم تعدیل یافته

شماره آزمایش	خروجی آزمایش	مقدار برآورد شده	درصد خطای پیش‌بینی
۱	۲۴۸	۲۴۰/۵۹	۲/۹۸
۲	۲۱۱	۲۰۶/۷۵	۲/۰۱
۳	۲۰۹	۲۰۳/۱۹	۲/۷۷
۴	۲۰۵	۲۰۲/۱۱	۱/۴۰
۵	۲۰۸	۲۰۲/۶۶	۲/۵۶
میانگین درصد خطا			۲/۳۴

بهینه‌سازی فرآیند با به کارگیری الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده یک الگوریتم برای بهینه‌سازی مسائل گسسته است. در این الگوریتم تصمیم‌گیری این به این صورت است که برای هر حرکت، یک هم‌سایگی جدید به صورت تصادفی تولید و ارزیابی می‌شود. اگر جواب جدید از جواب فعلی بهتر باشد یا مقدار تابع احتمال از یک عدد تصادفی بین صفر و یک بزرگتر باشد حرکت به سمت جواب جدید انجام می‌شود در غیر این صورت الگوریتم جواب جدیدی را تولید و حرکت به این جواب با توجه به این شرایط فوق مجدداً ارزیابی خواهد شد. این حرکت گام به گام تا ارضای شرط توقف الگوریتم (تعداد تکرارها، زمان محاسباتی، ...) ادامه می‌یابد. مقدار تابع احتمال حرکت از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۶].



مراجع

- [1] M. T. Liao and W. J. Chen, "A Comparison of Gas Metal Arc Welding with Flux-Cored Wires and Solid Wires Using Shielding Gas," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 15, pp. 49-53, 1999.
- [2] P. Rao, *et al.*, "Effect of process parameters and mathematical model for the prediction of bead geometry in pulsed GMA welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 45, pp. 496-505, 2009.
- [3] B. Gülenç, *et al.*, "Experimental study of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in MIG welding of austenitic stainless steel," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 30, pp. 1475-1481.
- [4] D. Antoniou, Design of Analysis of Experiment, 5th edition, John wiley and sons, United States of America, 2001, pp. 230-235.
- [5] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*: John Wiley & Sons, 2010.
- [6] Kirkpatrick, G.J. and Vecchi D D, Optimization by simulated annealing, *Science*, 220 (5), 1983, pp.671-680.