



مطالعه‌ی مقایسه‌ای عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیونی در پیش‌بینی هندسه‌ی حوضچه‌ی جوش در فرآیند جوشکاری با گاز محافظ و الکتروود تنگستنی

فرهاد کلاهان^۱، عطااله جداری لطف‌آبادی^۲، محمدمهدی تفرج^۳

^۱دانشیار، گروه مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ kolahan@um.ac.ir
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ ata.jedari@stu.am.ac.ir
^۳دانشجوی دکتری، گروه مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mm.tafarroj@stu.am.ac.ir

چکیده

جوشکاری قوسی با الکتروود تنگستن در پناه گاز محافظ که به اختصار جوش آرگون یا تیگ نامیده می‌شود یکی از مهمترین روش‌های جوشکاری در صنایع مختلف است. با توجه به این موضوع که کیفیت جوش می‌تواند به هندسه جوش نیز وابسته است، در این پژوهش، از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی برای یافتن رابطه‌ای بین متغیرهای فرآیند جوشکاری (شامل شدت جریان، سرعت جوشکاری و گپ) با شکل حوضچه‌ی جوش استفاده و عملکرد هر دو روش در پیش‌بینی ابعاد حوضچه‌ی حرارتی مقایسه شده است. قابلیت مدل‌های حاصل با داده‌های تجربی سنجیده شد. نتایج نشان داد که مدل حاصل از شبکه‌های عصبی تطابق بهتری با داده‌های تجربی دارد و دارای خطای کمتری می‌باشد.

کلمات کلیدی

شبکه‌های چند لایه پرسپترون، جوش تیگ، مدل رگرسیونی، حوضچه جوش.

A Comparative Study on the Performance of Artificial Neural Networks and Regression Models for Predicting the Weld Pool Geometry in Gas Tungsten Arc Welding Process

Farhad Kolahan, Ata Jedari Lotfabadi, Mohammad Mahdi Tafarroj

Associate professor, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad; kolahan@um.ac.ir

Postgraduate student, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad; ata.jedari@stu.am.ac.ir

PhD Candidate, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad; mm.tafarroj@stu.am.ac.ir

ABSTRACT

Tungsten inert gas welding briefly named as TIG welding is one of the most important welding method in various industries. Whilst weld quality is highly affected by weld geometry, this study aims to use the artificial neural networks and regression models to find some relationships between welding process parameters (welding current, welding velocity and welding gap) and weld pool shape. Then, the performance of the models in predicting of the weld pool geometry was compared. The models was validated with the experiments and the results showed that the artificial neural network model has better agreement and lower error compared to the regression model.

KEYWORDS

Multi Layer Perceptron, Tungsten Inert Gas, Regression Analysis, Weld pool.



۱- مقدمه

بین پارامترهای منبع گرما و ویژگی‌های حوضچه جوشکاری با تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه و تجزیه و تحلیل رگرسیون حداقل مربعات جزئی^۱ به دست آمد. آزمایش تجربی به منظور بررسی روش، انجام شد. آن‌ها با استفاده از این رویکرد ابعاد حوضچه‌ی حرارتی جوشکاری قوس با گاز محافظ را پیش‌بینی کردند. مورگان و همکاران [۴]، به کمک مدل رگرسیونی مرتبه دوم، ارتباط بین پارامترهای جوش زیرپودری و تاثیر آن بر هندسه جوش را مورد بحث و بررسی قرار دادند. گانجیگاتی و همکاران [۵] با مدلسازی فرآیند جوشکاری میگ به بررسی مدل‌های خطی و غیرخطی پرداختند. و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های خطی نسبت به برخی از مدل‌های غیرخطی (مدل منحنی الخط) از دقت بهتری جهت پیش‌بینی برخوردارند. آتس [۶] رابطه بین پارامترهای جوشکاری قوسی و خواص مکانیکی را با کمک شبکه عصبی چند لایه تعیین نمود. و نتایج بررسی‌ها نشان داد شبکه عصبی می‌تواند با دقت قابل قبولی خواص مکانیکی جوش را پیش‌بینی کند. وو و همکاران [۷] با استفاده از شبکه عصبی تاثیر پارامترهای جوشکاری آرگون بر عمق نفوذ جوش را مورد بررسی قرار دادند. لی و همکاران [۸] از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی هندسه مقطع جوش، در جوشکاری درون شیار استفاده نموده‌اند؛ که در آن جریان، سرعت پیشروی و اختلاف پتانسیل به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده‌اند. در این شبکه، از دو لایه پنهان و شش نورون در هر لایه استفاده شده به گونه‌ای که در لایه خروجی دو نورون برای پیش‌بینی پهنا و عمق هندسه جوش در نظر گرفته شده است. راویندرا و پارمر [۹] با استفاده از روش طرح عاملی کامل یک مدل ریاضی را به دست آوردند که می‌توانست هندسه مهره جوش و ابعاد مهره جوش (شامل نفوذ، عرض، ارتفاع بالا، نسبت عرض به نفوذ، و درصد رقیق سازی) را پیش‌بینی کنند. آن در پژوهش خود از فرآیند جوشکاری زیرپودری بر روی ورق فولادی ساختمانی با ضخامت ۱۳ میلی‌متر استفاده کردند. و پارامترهای ولتاژ قوس، جریان جوشکاری، سرعت جوشکاری، زاویه نازل و گپ جوشکاری را مورد بررسی قرار دادند.

بررسی پژوهش‌های گذشته راهنمای خوبی در انتخاب پارامترهای موثر در جوشکاری و همچنین روش مدلسازی می‌باشد. در نتیجه در این تحقیق، تاثیر برخی از پارامترهای تنظیمی جوشکاری قوسی با الکتروود تنگستن و گاز محافظ (تیگ) مانند شدت جریان، سرعت جوشکاری و گپ جوشکاری (فاصله نوک الکتروود تنگستن تا سطح قطعه کار) بر هندسه جوش مورد بررسی قرار می‌گیرد. و همچنین روشهای شبکه عصبی و مدل رگرسیونی جهت پیش‌بینی استفاده می‌شوند. و در نهایت داده‌های هر دو مدل با مقادیر تجربی سنجیده می‌شوند؛ و از لحاظ دقت پیش‌بینی بررسی می‌شوند. لازم به ذکر است که

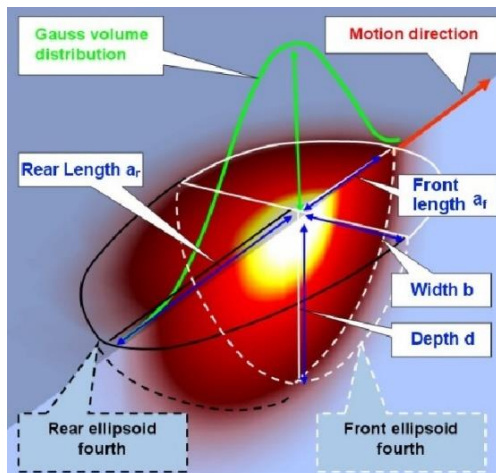
در جوشکاری با الکتروود تنگستن و گاز محافظ^۱ که معمولاً تحت عنوان تیگ^۲ هم شناخته شده است، قوس الکتریکی بین قطعه کار و یک الکتروود مصرف نشدنی (تنگستن) ایجاد می‌شود که قوس الکتریکی و ناحیه مورد جوشکاری توسط یک گاز که معمولاً آرگون است حفاظت می‌شود. پارامترهای ورودی جوشکاری نقش مهمی در کیفیت جوشکاری دارند. کیفیت جوشکاری می‌تواند در مشخصه‌هایی مانند هندسه مهره جوش، خواص مکانیکی و اعوجاج تعریف شود. به طور کلی همه فرآیندهای جوشکاری برای دستیابی به هندسه مهره جوش مناسب، خواص مکانیکی عالی و حداقل اعوجاج استفاده می‌شوند. امروزه روش‌های طراحی آزمایشات و الگوریتم‌های ابتکاری برای ایجاد یک ارتباط ریاضی بین پارامترهای ورودی و کیفیت جوش مطلوب به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کیفیت یک جوش ارتباط مستقیم با پارامترهای جوشکاری در حین فرآیند دارد. بنابراین جوشکاری را می‌توان یک فرآیند چند ورودی - چند خروجی در نظر گرفت. یکی از مشکلاتی که صنعتگران با آن مواجه هستند کنترل پارامترهای جوشکاری به منظور دستیابی به یک اتصال جوشکاری مناسب با هندسه مهره جوش مناسب و حداقل اعوجاج و تنش پسماند هست که این مستلزم ایجاد یک رابطه بین پارامترهای ورودی جوشکاری و متغیرهای خروجی آن است. بدین منظور نیاز به آزمون و خطای بسیار و زمان زیاد هست که با مهارت اپراتور این رابطه به دست آید. برای غلبه بر این مشکل روش‌های مختلفی را می‌توان برای دستیابی به یک مدل ریاضی مناسب که ارتباط مناسبی را بین ورودی‌ها و خروجی‌های مسئله ایجاد کند، بکار گرفت. در سه دهه اخیر تکنیک طراحی آزمایشات برای این بهینه‌سازی‌ها به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین الگوریتم‌های ابتکاری و شبکه‌های محاسباتی به طور چشمگیری در این زمینه رشد یافته‌اند [۱].

هندسه جوش تاثیر زیادی بر روی دمای ناحیه جوشکاری دارد. تارنگ و همکاران [۲] جهت بهینه کردن هندسه جوش در فرآیند جوشکاری با گاز محافظ آرگون و الکتروود تنگستنی متغیرهای شامل سرعت جوشکاری، جریان و نرخ گاز محافظ جوشکاری را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور ۱۶ آزمایش صورت گرفت و سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدلسازی صورت گرفت؛ و در نهایت توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرد تدریجی^۳ بهینه‌سازی صورت گرفت. جیا و همکاران [۳] روش جدیدی برای تعیین ابعاد حوضچه‌ی حرارتی جوشکار قوسی با گاز محافظ پیشنهاد داده‌اند. در تحقیق آن‌ها، روابط

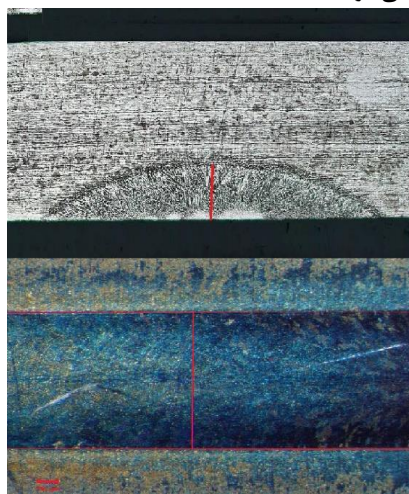


جریان در اول جوش ۱ و شیب سقوط جریان در انتهای جوش ۲ ثانیه در نظر گرفته شد. سه پارامتر دیگر شامل جریان پالس و پایه و فرکانس پالس با توجه به مقادیر مورد نظر در هر تیمار تنظیم گردید. در این پژوهش ۴ خروجی مورد نظر عبارتند از: عرض جوش، عمق جوش، طول نیم بیضی جلویی و طول نیم بیضی عقبی که که طبق شکل (۱)، و بر اساس مدل گلداک [۱۰] تعیین شده‌اند.



شکل (۱): مدل حوضیه حرارتی گلداک [۱۰]

خروجی‌ها توسط میکروسکوپ نوری تصویربرداری و در نرم افزار تحلیل تصاویر ImageJ اندازه‌گیری شد. جهت تعیین عمق هندسه جوش، سطح قطعات بعد از آماده سازی توسط محلول ماربل، اچ شد. یک نمونه تصویر اندازه‌گیری شده در نرم افزار را در شکل (۲) مشاهده می‌شود. پارامترهای ورودی و خروجی‌های اندازه‌گیری شده در جدول (۲) مشاهده می‌شود.



شکل (۲): تصویر اندازه‌گیری شده عمق و عرض جوش

به دلیل ماهیت پیچیده فرآیند جوشکاری، هنوز روش‌هایی محاسباتی و مدلسازی عددی به نتیجه مطلوب نرسیده و در این راستا، هنوز تحقیقات تجربی محور فعالیت‌های پژوهشی است.

۲- نحوه انجام آزمایش

برای پژوهش حاضر، ورق‌هایی با جنس فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴ انتخاب گردید. ضخامت ورق‌های مورد استفاده ۱ میلی‌متر بوده و نمونه‌ها به کمک گیوتین برش داده شدند. و انحنای ایجاد شده توسط گیوتین هر چند ناچیز بود اما با کمک چکش پلاستیکی رفع گردید. آلودگی‌های قطعات نیز قبل از جوشکاری زوده شد. جوشکاری نمونه‌ها در آزمایشگاه جوشکاری گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی و توسط دستگاه جوش ساخت شرکت گام الکتریک AC/DCPSQ 250 انجام شد.

با توجه به ضخامت ۱ میلی‌متری که برای ورق در نظر گرفته شده بود و جنس ورق، می‌بایست سطوح پارامترهای انتخابی به گونه‌ای انتخاب می‌شدند که اولاً جوش با نفوذ مناسب صورت می‌گرفت و ثانیاً از سوختن لبه‌های اتصال جلوگیری شود. به عبارت دیگر پایداری فرآیند تأمین گردد. بدین منظور ابتدا به صورت آزمایشی تست‌های زیادی بر روی نمونه‌های مشابه با نمونه‌های اصلی صورت پذیرفت و در نهایت سطوح مشاهده شده در جدول (۱) برای پژوهش حاضر در نظر گرفته شد. حدود فرکانس پالس جهت اتصال جوش مناسب نیز، ۳۰ تا ۶۰ هرتز تعیین شد.

جدول (۱): پارامترهای فرآیند و سطوح آن

پارامتر	جریان جوشکاری (A)	سرعت جوشکاری (mm/min)	گپ (mm)
نماد	C	S	G
سطح ۱	۴۰	۲۳۰	۱,۶
سطح ۲	۴۵	۲۴۵	۲,۲
سطح ۳	۵۵	۲۶۰	۲,۸

با توجه به جدول پارامترهای ورودی و سطوح آن‌ها، طرح فاکتوریل کامل، انتخاب گردید؛ که این طرح شامل ۲۷ آزمایش است و توسط نرم افزار مینی‌تب^۵ نسخه ۱۶ ایجاد گردید.

برای تنظیم پارامترهای روی دستگاه جوش، ابتدا حالت جوشکاری جریان مستقیم پالسی با عملگر فرکانس بالا انتخاب گردید. حال با توجه به این حالت هفت پارامتر قابل تنظیم است. مقدار پیش‌گاز و پس‌گاز به ترتیب ۰,۵ و ۴ ثانیه تنظیم گردید. همچنین شیب صعود

جدول (۲): پارامترهای ورودی و خروجی‌های اندازه‌گیری شده

پارامترهای خروجی				پارامترهای ورودی			آزمایش
عمق جوش (μm)	عرض جوش (μm)	طول نیم بیضی عقبی (μm)	طول نیم بیضی جلویی (μm)	گپ	سرعت	شدت جریان	
۱۲۱,۷۳	۴۸۲,۰۶	۲۶۴,۰۲	۲۲۱,۰۸	۳	۲	۱	۱
۳۱۰,۸۶	۸۹۴,۶۸	۵۱۱,۵۵	۴۵۴,۳۴	۳	۳	۳	۲
۱۹۴,۹۴	۷۲۵,۶۳	۴۲۶,۷۱	۳۸۹,۰۱	۱	۱	۱	۳
۳۰۱,۵۲	۸۳۶,۹۶	۴۵۵,۳۶	۴۳۶,۵۱	۱	۱	۲	۴
۲۱۸,۴۱	۸۱۴,۷۵	۴۵۸,۸	۳۷۳,۰۵	۱	۲	۲	۵
.
.
.
۴۷۳,۴۳	۱۱۱۳,۳۲	۶۶۶,۵۵	۵۷۹,۱۹	۲	۱	۳	۲۵
۴۱۴,۲۶	۱۰۱۸,۱۲	۶۶۲,۴	۵۴۸,۵۳	۱	۳	۳	۲۶
۴۵۲,۱۷	۱۰۵۲,۶	۶۵۶,۴۱	۵۹۶,۵۲	۳	۱	۳	۲۷

به گونه‌ای که خروجی‌های لایه اول ورودی‌های لایه دوم و به همین ترتیب تا آخر که خروجی‌های لایه آخر خروجی‌های اصلی و پاسخ واقعی شبکه را تشکیل می‌دهند. به عبارتی دیگر جریان سیگنال شبکه در یک مسیر پیش‌خور صورت می‌گیرد که از لایه ورودی شروع شده و به لایه خروجی ختم می‌گردد. در شکل (۳) شمای کلی یک شبکه عصبی را نشان می‌دهد.

عموماً در شبکه‌های چند لایه پرسپترون^۹ دو نوع سیگنال استفاده می‌شود که با هم متفاوتند. دسته اول سیگنال‌های تابعی که بر اساس ورودی‌های هر نرون و پارامترهای وزن و تابع محرک نظیرش محاسبه می‌شوند و دسته دوم سیگنال‌های خطا که با برگشت از لایه خروجی و منشعب شدن به لایه‌های پنهان دیگر محاسبه می‌شوند.

تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی به نظر طراح شبکه دارد و با سعی و خطا بدست می‌آید. در صورت کافی نبودن تعداد نرون‌ها، شبکه قادر نخواهد بود نگاشت دقیقی بین بردارهای ورودی و خروجی ایجاد کند. که در خروجی هر نرون از شبکه چند لایه پرسپترون یک تابع خطی قرار دارد و فرآیند یادگیری در تمام نرون‌ها و لایه‌ها صورت می‌گیرد. همه وزن‌ها و بایاس‌هایی که در شبکه قرار دارند در طول فرآیند یادگیری قابل تغییر هستند.

۳- کاربرد شبکه عصبی در جوشکاری

امروزه، شبکه‌های عصبی مصنوعی در مسائل مرتبط با فرآیندهای جوشکاری کاربردهای متنوعی یافته‌اند تحقیقات انجام یافته در این زمینه عبارتند از؛ ردیابی درز جوش که داده‌های خروجی از سنسور به یک شبکه هوشمند که به منظور کنترل ربات جوشکار مورد پردازش قرار می‌گیرد، پردازش اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط سنسورها در حین جوشکاری به منظور تعیین کیفیت جوش، آشکارسازی و تشخیص عیوب جوش بوسیله تست مافوق صوت، تشعشع و یا سایر سیگنال‌ها، برآورد شکل گرده جوش شامل نفوذ، پهنای، پارامترهای پاشنه جوش و غیره با استفاده از پارامترهای جوشکاری یا سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده، توسعه سیستم هوشمند عصبی برای پیشگویی پارامترهای فرآیند در جوشکاری قوسی رباتیک، برآورد چقرمگی و استحکام جوشهای فولادی، برآورد خواص مکانیکی و نفوذ جوش در روشهای جوشکاری با الکتروود تنگستنی، جوشکاری اصطکاکی دورانی^۷ و جوشکاری قوسی رباتیک^۸، لذا استفاده از شبکه عصبی در کنترل و مانیتورینگ فرآیندهای جوشکاری به خوبی رواج یافته است. [۱۱].

۴- مدل‌سازی به کمک شبکه عصبی چند لایه

در شبکه‌های چند لایه، لایه‌ها به ترتیب به هم متصل می‌شوند



هرچه تعداد این ضرایب بیشتر باشد انعطاف‌پذیری تابع نیز بیشتر است. ضرایب تعبیه شده در مدل ریاضی به نحوی تنظیم می‌شود که خطای بین مدل و داده‌های واقعی کمینه شود تا رابطه‌ای ایجاد شود که از داده‌ها پیروی نماید و درعین حال بتواند رفتار فرآیند را در محدوده طراحی آزمایشات پیش‌بینی نماید. خطای مذکور به صورت اختلاف بین مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل ریاضی تعریف می‌شود که باید تا حد ممکن کم شود.

پس از این که به کمک فرمول‌های رگرسیون مقادیر ضرایب مدل به دست آمد، تلاش می‌شود به کمک آزمون‌های آماری دقت، کیفیت و شایستگی مدل بررسی گردد. از نظر آماری بهترین مدل رگرسیونی، ساده‌ترین مدل با خطای کم قابل چشم‌پوشی است.

در مدلسازی انجام شده در این پژوهش، مدل خطی درجه دو برای تعیین هندسه مهره جوش با استفاده از داده‌های آزمایشی ایجاد گردیده است. در هر مدل، حذف عوامل کم اثر صورت نگرفته است. در نهایت برای مدل، تحلیل واریانس و باقیمانده، انجام شده است. کلیه محاسبات توسط نرم‌افزار مینی‌تب انجام شد. یادآوری می‌شود که پارامترهای مورد مطالعه برای کاربرد در فرمول‌های برازشی با نمادهای انگلیسی جایگزین شده‌اند که به ترتیب C برای جریان جوشکاری، S برای سرعت جوشکاری، G برای گپ جوشکاری استفاده گردید. همچنین خروجی‌ها با نمادهای a_f طول نیم بیضی جلوی، a_r طول نیم بیضی عقبی، b عرض جوش و d عمق جوش نام‌گذاری شدند. پس از برازش اولیه مدل خطی درجه دوم زیر برای خروجی‌ها به دست آمد:

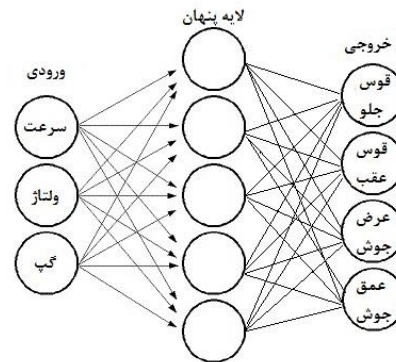
$$a_f = 2228.38 - 38.6603 C - 1.62656 S - 787.845G + 0.683363 C^2 - 0.0423333 CS + 0.637897 CG - 0.0246222 S^2 + 3.56611 SG + 18.5494 G^2 \quad (1)$$

$$a_r = 2866.65 - 37.7762 C - 8.27244 S - 871.013 G + 0.828104 C^2 - 0.106369 CS - 0.0621825 CG + 0.00153889 S^2 + 3.90639 SG + 31.0895 G^2 \quad (2)$$

$$b = -4511.48 + 44.8942 C + 61.2867 S - 1063.2 G + 0.115711 C^2 - 0.212343 CS + 5.02179 CG - 0.182083 S^2 + 2.6125 SG + 61.3519 G^2 \quad (3)$$

$$d = 5831.59 + 35.9415 C - 71.3102 S - 418.516 G + 0.465837 C^2 - 0.346017 CS - 1.01187 CG + 0.238278 S^2 + 1.27458 SG + 45.2855 G^2 \quad (4)$$

در این مدل‌ها تمام حالات ترکیب پارامترها و تاثیر آنها در متغیر پاسخ در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی مدل رگرسیونی از



شکل (۳): شمای کلی یک شبکه عصبی

در این پژوهش ۷۰ درصد داده برای آموزش شبکه عصبی، ۱۵ درصد برای تست و ۱۵ درصد باقی مانده برای اعتبارسنجی استفاده شد. در این بررسی ساخت شبکه و آموزش آن به کمک نرم‌افزار متلب ۲۰۱۵ اجرا شد. داده‌ها به صورت تصادفی در هر بار تکرار شبکه انتخاب شدند. از آنجا که در این تحقیق همه الگوریتم‌های آموزش شبکه مورد بررسی قرار گرفت؛ مقایسه نتایج نشان داد که شبکه‌ای که با الگوریتم لوبنبرگ مارکوارت^{۱۱} آموزش دیده باشد، کمترین خطا را در مقایسه با بقیه شبکه‌ها دارا می‌باشد. برای لایه‌های پنهان از تابع محرک تانژانت هایپربولیک سیگموئید و برای لایه خروجی از تابع محرک خطی استفاده شد.

بعد از آموزش شبکه، دو نمونه تست با مشخصات جدول (۳) انجام شد تا نتایج با پیش‌بینی شبکه عصبی مقایسه شود.

۵- مدل رگرسیونی

رگرسیون یک ابزار ریاضی است که هدف آن تعیین فرمولی تقریبی به شکل یک تابع برای مجموعه‌ای داده اولیه به صورت زوج مرتب هست. در این زوج‌های مرتب یک مختصه به عنوان متغیر وابسته و دیگر مختصه‌ها به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند. تابع حاصل از رگرسیون فرمولی خواهد بود که در آن با مقادیر متغیرهای مستقل، مقدار متغیر وابسته تقریب زده می‌شود. کم کردن خطای تقریب مدل نسبت به مقدار واقعی آن در داده‌های اولیه اساس به دست آوردن فرمول‌های رگرسیون است. تابع حاصل می‌تواند یک متغیره و یا چند متغیره باشد که بستگی به تعداد متغیرهای مستقل مسئله دارد. همچنین می‌تواند به صورت تابع خطی با درجات مختلف یا به شکل نمایی باشد. کاربردهای رگرسیون متعدد است و تقریباً در هر زمینه‌ای از جمله مهندسی، فیزیک و اقتصاد و سایر علوم مرتبط کاربرد دارد.

برای تنظیم تابع یک سری وزنه یا ضریب در آن تعبیه می‌شود.



۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر پارامترهای سرعت جوشکاری، جریان و گپ بر هندسه جوش مورد بررسی قرار گرفت. برای مدل کردن فرآیند از روشهای رگرسیونی و هم از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد و کیفیت مدل‌های حاصل با داده‌های تجربی سنجیده شد. نتایج نشان داد که مدل حاصل از شبکه‌های عصبی تطابق بهتری با داده‌های تجربی دارد.

از تحقیق انجام شده نتیجه می‌شود، که شبکه عصبی مصنوعی، قابلیت لازم برای تعیین اثر پارامترهای هندسه جوش را دارد؛ و لذا از این نتایج می‌توان برای طراحی جوش در کاربردهای مختلف بهره برد. در محدوده کاری مورد بررسی می‌توان هرگونه رخدادی را پیش‌بینی و برای مواجه با آن در حین فرآیند جوشکاری تصمیمات لازم را اتخاذ کرد؛ از طرفی، می‌توان مقادیر بهینه هندسه جوش که منجر به تولید جوش با کیفیت مطلوب می‌شود را نیز پیش‌بینی نمود.

با توجه به داده‌های کم آزمایشی، شبکه عصبی ارائه شده دارای دقت بهتری نسبت به مدل رگرسیونی می‌باشد.

از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی پارامترهای با دقت مناسب می‌توان استفاده نمود؛ که منجر به کاهش هزینه و زمان می‌شود. مدل‌های ارائه شده مرتبه دوم و شبکه عصبی قادر به پیش‌بینی پارامترهای فرآیند جوشکاری با دقت مناسب، جهت دستیابی به هندسه جوش مطلوب می‌باشند.

ابزار تحلیل واریانس استفاده شده است. با توجه به تحلیل واریانس می‌توان گفت که، مدل‌های ایجاد شده دارای همبستگی با داده‌های اولیه است.

در ادامه دو نمونه تست جدید برای بررسی دقت مدل‌های رگرسیونی با مدل شبکه عصبی مقایسه می‌شود.

۶- مقایسه مدل‌ها

رسیدن به کمترین میزان خطا برای داده‌های دو تست نمونه، به عنوان عامل اصلی در جوشکاری بررسی شد. در این قسمت به مقایسه دقت مدل‌ها برای پیش‌بینی هندسه جوش پرداخته می‌شود. برای این منظور درصد خطای هر دو مدل در جدول (۴) نشان داده شده است. از نتایج درصد خطا و بررسی آنها مشخص می‌شود که شبکه عصبی با ساختار مناسب برای پیش‌بینی کیفیت مطلوب جوشکاری انتخاب می‌گردد.

جدول (۴): ورودی و خروجی نمونه‌ها جهت اعتبارسنجی

تست	درصد خطای پیش‌بینی مدل شبکه عصبی				درصد خطای پیش‌بینی مدل رگرسیونی			
	d	b	a_r	a_f	d	b	a_r	a_f
۱	۲,۴	۱,۱	۰,۳۸	۳,۴۸	۳,۵۶	۳,۰۴	۱,۷۵	۳,۰۷
۲	۳,۶۲	۲,۹۳	۱,۹۳	۳,۳	۵,۸۳	۰,۸۵	۳,۰۶	۴,۱۳

جدول (۳): ورودی و خروجی نمونه‌های اعتبارسنجی

آزمایش جدید	پارامترهای ورودی			مقادیر حاصل از آزمایش				مقادیر حاصل از شبکه عصبی			
	شدت جریان	سرعت	گپ	طول نیم بیضی جلویی	طول نیم بیضی عقبی	عرض جوش	عمق جوش	طول نیم بیضی جلویی	طول نیم بیضی عقبی	عرض جوش	عمق جوش
۱	۵۰	۲۵۲	۲,۵	۳۶۹,۵۱	۴۴۲,۶۵	۷۸۵,۵۸	۲۶۰,۷۶	۳۸۲,۳۸	۴۴۰,۹۳	۷۷۶,۹۱	۲۵۴,۴۸
۲	۵۰	۲۴۰	۲	۴۳۶,۸۳	۴۹۷,۴۹	۹۰۱,۳۸	۳۴۳,۱۲	۴۵۱,۲۵	۵۰۷,۱۲	۸۷۴,۹۲	۳۳۰,۶۷

1438,1999.

۶- مراجع

- Jia, X., et al., A new method to estimate heat source parameters in gas metal arc welding simulation process. Fusion Engineering and Design, 2014. 89(1): p. 40-48. [۳]
- N. Murugan, V. Gunaraj, 2005, Prediction and control of weld bead geometry and shaperelationshipsin submerged arc welding of pipes, International Journalof Materials Processing Technology, Vol. 168, pp.478-487. [۴]

- Benyounis, K. Y and Olabi, a. G, "Optimization of different welding processes using statistical and numerical approaches - A reference guide", Adv. Eng. Softw., Vol. 39, pp. 483-496, 2008. [۱]
- Trang, Y.s, Tsai, H.L., and Yeh, S.S., "Modeling, optimization and classification of weld quality in tungsten inert gas welding", international Journal of Machine Tools & Manufacture, No.39,pp. 1427-



Raveendra.J and Parmar.RS, "Mathematical modelsto predict weld bead geometry for flux cored arc welding", Met. Constr. 1987, p. 19(2):31R-5R.	[۹]	J. P. Ganjigatti & D. K. Pratihari & RoyChoudhury, 2006, Modeling of the MIG welding process using statistical approaches, International Journal of AdvanceManufacturing Technology, pp. 798-809.	[۵]
Goldak, J., A. Chakravarti, and M. Bibby, A new finite element model for welding heat sources. Metallurgical Transactions B. 15(2): p. 299-305.	[۱۰]	Hakan Ates, 2007, Prediction of gas metal arcwelding parameters based on artificial neural networks,International Journal of Materials andDesign, Vol. 28,pp.2015-2023.	[۶]
پوراآسیایی، ندیمی و تقفیان، شبکه های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در جوشکاری، هشتمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی ایران. انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیرمخرب. ۱۳۸۶.	[۱۱]	C.S. Wu, J.Q. Gao and Y.H. Zhao, 2006, Neuralnetwork for weld penetration control in gas tungsten arcwelding, Journal of Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.), Vol.19, No. 1 pp. 27-33.	[۷]
		Lee, J.I. and Um, K.W., "A Prediction ofWelding Process Parameters by Predictionof Backbead Geometry", J. Mat. ProcessingTech., Vol. 108,No.1, pp. 106-113, 2000.	[۸]

زیر نویس ها

- ^۱Gas Tungsten Arc Welding
- ^۲Tungsten Inert Gas (TIG)
- ^۳Simulated Annealing
- ^۴Partial Least-Squares Regression
- ^۵MINITAB
- ^۶Marble
- ^۷Friction Stir Welding (FSW)
- ^۸Robotic Gas Metal Arc Wldding (RGMAW)
- ^۹Multi Layer Perceptron (MLP)
- ^{۱۰}Matlab
- ^{۱۱}Levenberg–Marquardt