

پیش‌بینی اثر پارامترهای جوش قوس الکتریکی بر هندسه جوش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فرهاد جاویدراد^۱ و مهدی فضلی^۲ حسین فرقدانی^۳ جلیل مظلوم^۴
 مرکز تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی هوافضا دانشکده مهندسی برق
 دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری
 (تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۳۱)

چکیده

در این مقاله، شبیه‌سازی روابط بین پارامترها و هندسه جوش قوس الکتریکی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی که با اطلاعات تجربی ۲۱۶ نمونه تجربی ایجاد شده، ارائه شده است. شبکه عصبی مصنوعی گسترش داده شده در این مقاله از الگوریتم پس انتشار خطا و با دو لایه پنهان بهره می‌برد که در آن شش پارامتر شدت جریان، طول قوس، سرعت حرکت الکتروود، زاویه الکتروود با خط جوش، حرکت عرضی و نوع الکتروود به عنوان ورودی و چهار عامل شامل سه اندازه از هندسه جوش (عمق، ارتفاع، پهنا) به همراه سرعت ذوب الکتروود به عنوان خروجی شبکه، در نظر گرفته شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی در مورد نمونه‌های انجام گرفته دقت قابل قبولی را نشان می‌دهد. همچنین، نتایج بدست آمده از شبکه عصبی به طور کیفی تأثیر پارامترهای مختلف بر هندسه جوش را تأیید می‌نمایند. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که از این سامانه می‌توان به طور موفق برای پیش‌بینی هندسه جوش و تعیین اثر پارامترهای مختلف بر جوش ایجاد شده بهره برد.

واژه‌های کلیدی: جوشکاری قوس الکتریکی، شبکه عصبی مصنوعی، هندسه جوش، شبیه‌سازی

Influence of Shielded Metal Arc Welding Parameters on the Bead Geometry, Based on Artificial Neural Network

F. Javidrad and M. Fazlie
 Graduate School

H. Farghdani
 Aerospace Eng. Dep't.
 Air Univ. of Sci. and Tech.

J. Mazloum
 Electrical Eng. Dep't.

(Received:26 Oct, 2010; Accepted:21 May, 2011)

ABSTRACT

This paper presents an artificial neural network simulation, based on 216 set of experimental data for prediction of SMAW bead geometry. Input parameters consist of electrode type, current, travel speed, arc length, transverse motion, and angle of the electrode with respect to the vertical plane along the weld line. outputs of the neural network were bead width, bead height, penetration, and the rate of electrode consumption. The Error analysis in the neural network was performed by well-known back-propagation error reduction method containing two hidden layers. The results showed that the results were basically in good agreements with the available experimental data, indicating a suitable technique for simulation of the SMAW. It is concluded that the established neural network system, in conjunction with back-propagation analysis, is able to determine the bead geometry for a set of specified input parameters, facilitating the design of special purpose arc welds.

Keywords: Artificial Neural Network, Shielded Metal Arc Welding, Bead Geometry, Penetration Depth

۱- دانشیار (نویسنده پاسخگو) : f_javidrad@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد: med_fazli@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد: farghdani@gmail.com

۴- دانشور: jalil9898@yahoo.com

۱- مقدمه

جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار یکی از متداول ترین، ساده ترین و شاید کارآمدترین روش هایی است که در آن از انرژی الکتریکی برای ایجاد قوس و حرارت استفاده می شود. برای انجام این نوع از جوشکاری، نیاز به دستگاه تولید انرژی الکتریکی، الکتروود برای انتقال جریان از دستگاه به قطعه کار و ایجاد قوس می باشد که در نهایت با ایجاد قوس الکتریکی و حرارت بالا، باعث ذوب شدن محل اتصال و نهایتاً ایجاد جوش می شود. در این نوع جوشکاری از مکانیزم فشار استفاده نمی شود و کار محافظت از حوضچه مذاب، بر عهده پوشش الکتروود است. این پوشش در هنگام جوشکاری در اثر حرارت تجزیه و به صورت سرپاره و گاز از فلز جوش محافظت می کند. با توجه به اینکه عوامل مختلفی در طراحی و ایجاد کیفی این نوع جوش مؤثر می باشند، هم اکنون تحقیقات مختلفی برای مدل سازی و پیش بینی هندسه جوش برای پارامترهای ورودی مشخص، در حال انجام است. هندسه جوش (شامل: ارتفاع، پهنا و عمق نفوذ) از خصوصیات فیزیکی مهم خط جوش می باشند که چندین پارامتر بر آن تأثیرگذار می باشد. البته خصوصیات دیگر جوش شامل: ترک های حرارتی، هندسه جوش، زیر برش، نفوذ و منطقه متأثر از گرما، نیز در تشخیص کیفیت جوشکاری مؤثر می باشند. ولی این خصوصیات در جوشکاری قوس فلز با الکتروودهای روکش دار، از چندین پارامتر مثل طول قوس، ماهیت الکتروود، رسوب فلز، سرعت حرکت قوس و قطبیت تأثیر می پذیرند. به عنوان نمونه، طول قوس بلند در سطح بزرگ تری پخش می شود و باعث افزایش پهنای جوش شده که نهایتاً منجر به نفوذ کم جوش در قطعه کار می گردد [۱]. ماهیت و سیال بودن سرپاره شکل گرفته (که مربوط به ترکیب و ضخامت پوشش الکتروود است) تا حد زیادی ترکیب و اجزاء متشکله جوش و در نهایت سختی و ظرفیت تحمل بار در اتصال را تحت تأثیر قرار می دهد. سرعت رسوب گذاری و سرعت حرکت قوس الکتریکی بر شکل مقطع جوش، نفوذ و درصد دقت تأثیرگذار است؛ به گونه ای که با افزایش سرعت حرکت قوس، معمولاً پهنای جوش کاهش و زیربرش افزایش می یابد [۲].

در این مقاله، از شبکه عصبی هوشمند با الگوریتم پس انتشار خطا برای مدل سازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار و یافتن رابطه متغیرهای فرآیند جوشکاری با شکل هندسه جوش استفاده شده است. از این طریق، اثر پارامترهای جوشکاری شامل طول قوس، ماهیت الکتروود، آمپر، سرعت حرکت الکتروود، زاویه الکتروود با قطعه کار و حرکت عرضی الکتروود در هندسه جوش و عمق نفوذ مورد بررسی قرار گرفته است.

به منظور تعلیم شبکه، ۲۱۶ نمونه آزمایش تجربی با سه نوع الکتروود ۶۰۱۰، ۶۰۱۳، ۷۰۱۸ انجام شده است. نتایج شبکه با نتایج تجربی در نقاط تعلیم و نقاطی غیر از نقاط تعلیم، مقایسه شده و به طور کلی تطابق خوبی مشاهده گردیده است. لذا می توان ادعا کرد که سامانه شبکه عصبی مصنوعی ابزار خوبی برای محاسبه هندسه جوش قوس الکتریکی ناشی از تغییر پارامترهای مؤثر بوده و اطلاعات بدست آمده می تواند برای مدل سازی و طراحی یک جوش مناسب استفاده گردد. از نتایج این تحقیق، هم چنین می توان برای طراحی و ساخت سامانه های سخت افزاری شبیه ساز جوشکاری و هم چنین شبیه سازی انواع دیگر جوشکاری استفاده نمود.

۲- مروری بر ادبیات تحقیق

در همه انواع جوش مثل جوش زیر پودری، جوش قوس الکتریکی با گاز محافظ^۱، جوش الکترونی^۲ و غیره، پارامترهایی وجود دارند که تغییرات در آنها، باعث تغییر در هندسه و در نهایت استحکام جوش می شود [۳-۵]. در تحقیقی، از شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا برای پیش بینی هندسه مقطع رسوبات فلزی ناشی از الکتروودهای فولاد نرم بر روی صفحات چدنی استفاده شده است [۳]. در تحقیقی دیگر با استفاده از شبکه عصبی، مقطع جوش الکترونی بر فولاد ضد زنگ پیش بینی شده که در آن به علت هندسه بی قاعده جوش، از شش معادله درجه سه برای نشان دادن مقطع جوش استفاده شده است [۴]. شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق، بر اساس هر دو الگوریتم پس انتشار

1- GMAW

2- EBW

کلیه این پژوهش‌ها که در ارتباط با تعیین هندسه جوش برای متغیرهای ورودی پیش‌فرض هستند، تلاشی به منظور شبیه‌سازی جوش و دستیابی به فناوری طراحی جوش‌های مختلف می‌باشند. لازم به ذکر است که بر اساس طبیعت پیچیده فرآیند جوشکاری، هنوز روش‌هایی محاسباتی و مدل‌سازی عددی به نتیجه مطلوب نرسیده و در این راستا، هنوز تحقیقات تجربی محور فعالیت‌های پژوهشی است.

علاوه بر این روش‌ها، روش‌های دیگری نیز برای شبیه‌سازی هندسه و سایر پارامترهای فیزیکی جوش گسترش داده شده‌اند. در مراجع [۹ و ۳] به مدل‌سازی آماری برای استنتاج بازدهی حرارتی منطقه جوش پرداخته شده است. در مقالات [۱۰-۱۱] از روش سطح پاسخ^۶ برای پیش‌بینی پارامترهای هندسه جوش، در جوش زیر پودری لوله‌های استیل استفاده گردیده است. در مقاله [۱۲]، همین روش سطح پاسخ، به جوش لیزر در فولاد با کربن متوسط برای پیش‌بینی مقطع هندسی اعمال شده است. در مقاله [۱۳] از شبکه عصبی هوشمند برای پیش‌بینی کیفیت جوش در فرآیند جوش GMAW با جریان متغیر و در مقاله [۹] از شبکه متعادل با قابلیت خودتطبیق^۷ برای شبیه‌سازی همین نوع جوش، در حالتی که برای چند ورودی تنها یک خروجی مورد نظر است، استفاده گردیده است. در این مقاله، نتایج بدست آمده از شبکه عصبی با چند خروجی با داده‌های تجربی مقایسه گردیده و نتیجه گرفته شده که این شبکه از دقت بالایی برخوردار است.

در تحقیق مرجع [۱۴] جدا از سه مورد اندازه‌گیری شده پهنا، ارتفاع و عمق نفوذ، از برخی مشخصه‌های دیگر مانند فاکتور شکل نفوذ و فاکتور شکل استحکام برای پیش‌بینی مقطع جوش در جوشکاری GMAW استفاده گردیده که در آن فرض شده شکل مقطع جوش بیضی‌گون یا سهمی‌گون باشد.

تحقیقات انجام شده در ارتباط با شبیه‌سازی مقطع جوش، همگی بر قابلیت استفاده از شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی مقطع جوش اتفاق نظر دارند. ولی به علت پیچیدگی زیاد جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش‌دار،

خطا و ژنتیک بوده است. هدف این تحقیق، گسترش قابلیت سامانه برای پیش‌بینی هندسه جوش ناشی از جوش الکترونی و کارایی بهتر الگوریتم پس انتشار خطا، نسبت به الگوریتم ژنتیک عنوان گردیده است.

در مرجع [۶]، از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی هندسه مقطع جوش، در جوشکاری درون شیار استفاده شده 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.

در مقاله [۷]، روش‌های تحلیل رگرسیون^۱ شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار خطا^۲ و شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک^۳ برای مدل‌سازی هندسه فرآیند جوشکاری آرگون استفاده شده است. در فرآیند تعلیم شبکه عصبی، برای کم کردن خطا و تنظیم ضرایب وزنی معمولاً از روش‌های شبیه فرآیندهای موجود در محاسبات بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در الگوریتم پس انتشار خطا از روش بهینه‌سازی بر مبنای گرادیان^۴ استفاده می‌شود. این روش دارای سرعت هم‌گرایی خوبی است ولی ممکن است به یک نقطه بهینه نسبی هم‌گرا شود.

در مرجع [۷]، از روش الگوریتم ژنتیک برای تعلیم شبکه به منظور کم کردن خطا و هم‌گرایی به نقطه بهینه مطلق استفاده شده که می‌تواند کاهش بیشتر خطا را تضمین نماید. البته باید توجه نمود که استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، به دلیل طبیعت جستجوی تصادفی آن، طبعاً دارای حجم محاسباتی بیشتری است.

در تحقیق حاضر از این روش (برخلاف مرجع [۴]) نتیجه گرفته شده که شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک از دو روش دیگر بهتر عمل می‌کند. رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی در فرآیند جوشکاری آرگون با استفاده از تابع مبنای شعاعی^۵ در مرجع [۸] مورد بررسی قرار گرفته است.

1- Regression Analysis

2- BPNN

3- GANN

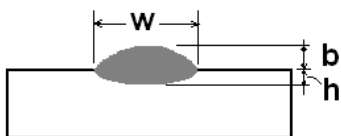
4- Steepest Descent

5- Radial Basis Function Networks

6- Response Surface Methodology

7- Self-Adaptive Offset Network (SAON)

ناشی از اختلاف پتانسیل، شدت جریان و سرعت حرکت قوس می‌باشد. سرعت بالای حرکت قوس یا قدرت پایین قوس نیز باعث ذوب کم فلز شده و سرعت مصرف الکتروود بالا باعث پهنای جوش بیشتر و در نهایت جوش صافتر می‌شود.



شکل (۱): ابعاد مقطع جوش.

۳-۲ نفوذ

در ادبیات فرآیند جوشکاری، دو نوع نفوذ تعریف شده است: نفوذ جوش که اغلب ذوب نامیده می‌شود و نفوذ گرما. در جوشکاری ذوبی.

معمولاً عمق نفوذ جوش یا ذوب، با فاصله زیر سطح اولیه قطعه‌کار تا جایی که فلز مذاب شده، سنجیده می‌شود [۱-۲]. به‌طور کلی نفوذ، متأثر از قطبیت، شدت جریان، اختلاف پتانسیل، سرعت حرکت قوس و عوامل دیگر می‌باشد. هدایت حرارتی بالا باعث نفوذ کمتر می‌شود. طول قوس بلندتر نیز نفوذ را کمتر می‌کند؛ چرا که تمرکز حرارت کمتر می‌شود [۱]. عوامل دیگری نیز بر عمق نفوذ تأثیرگذارند که عبارتند از: قابلیت هدایت گرمایی، طول قوس و نیروی قوس.

در مجموع می‌توان اظهار کرد که هندسه جوش و نفوذ آن، بر خصوصیات جوش تأثیرگذار بوده و متأثر از تعدادی از متغیرهای جوشکاری هستند.

۴- استفاده از شبکه عصبی برای پیش بینی هندسه

جوش و نفوذ آن

اصطلاح شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع به شبکه‌های عصبی زیستی برمی‌گردد. شبکه‌های عصبی مصنوعی از مدل عصب‌های زیستی الهام گرفته شده‌اند و بسیاری از ویژگی‌های عصب‌های زیستی از قبیل غیر خطی بودن، سادگی واحدهای محاسباتی و قابلیت یادگیری را دارا می‌باشند. شبکه‌های عصبی در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند و در گستره مسائل زیادی از جمله پزشکی، تجارت، مهندسی، زمین شناسی و فیزیک، موفقیت چشم‌گیری داشته‌اند.

تاکنون به طور جامع به شبیه‌سازی این نوع جوش پرداخته نشده است. در تحقیقات انجام شده عمدتاً تعداد کمی متغیر ورودی و یا تعداد محدودی نمونه در نظر گرفته شده و سعی شده که با تغییر در فرآیند یادگیری به نتایج قابل قبولی دست یابند. در این مقاله به هدف انجام شبیه‌سازی کامل‌تر و استفاده عملی از نتایج شبیه‌سازی در گسترش سامانه جوشکاری مجازی، تعداد متغیرها و نمونه‌ها بیشتر از منابع موجود در نظر گرفته شده است.

۳- مدل‌سازی مقطع جوش

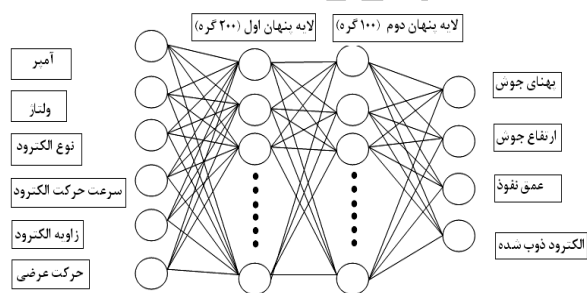
مقطع جوش عموماً شامل سه ناحیه ذوب شده، ناحیه متأثر از گرما و ناحیه بی‌تأثیر از گرما است. بسته به فرآیند جوشکاری و پارامترهای آن، ممکن است منطقه جوش به اشکال مختلفی درآید. هر دو ناحیه ذوب شده و متأثر از گرما از نظر ساختار میکروسکوپی و اندازه دانه‌ها قابل تغییر بوده و در نتیجه آن، خواص مکانیکی جوش حاصله، دچار تغییر می‌شود. استحکام ساختار جوش وابسته به عمق نفوذ و حجم مذاب از قطعه‌کار است. خواص مکانیکی ساختار جوش هم‌چنین به شکل منطقه جوش وابسته است که معمولاً با عرض، عمق و ارتفاع نفوذ سنجیده می‌شود.

۳-۱ هندسه جوش

همان‌طور که در قسمت‌های قبل بیان شد، هندسه جوش به پهنای (w)، ارتفاع مقطع (b) و عمق نفوذ جوش (h) اطلاق می‌شود (شکل ۱). پس از سرد شدن مذاب فلز مقطع جوش، تنش‌های دو بعدی نقش قابل توجهی در تعیین هندسه نهایی جوش دارند. از طرفی شدت جریان، اختلاف پتانسیل، سرعت جوشکاری، قطبیت، چگونگی انتقال فلز و عوامل دیگر بر شکل و اندازه مقطع جوش تأثیر گذارند. به‌عنوان مثال، مشاهدات نشان می‌دهند که پهنای مقطع جوش با افزایش گرمای ورودی به قطعه‌کار افزایش یافته و با سرعت بالای حرکت قوس، زیر برش در مقطع جوش ایجاد خواهد شد [۳]. افزایش اختلاف پتانسیل، باعث ایجاد پهنای بیشتر مقطع جوش و کاهش قابل توجه در ارتفاع مقطع جوش، نفوذ و سطح استحکام می‌گردد. سطح مقطع عرضی جوش به گرمای موثر منتقل شده به صفحه وابسته است. این گرمای مؤثر،

خطاها از گره‌های خروجی به گره‌های ورودی در عقب انتشار داده می‌شوند. به عبارت دقیق‌تر، پس انتشار خطا برای محاسبه گرادیان خطای شبکه نسبت به وزن‌هایی قابل اصلاح، به کار می‌رود. در این روش، مقادیر خروجی با جواب‌های صحیح مقایسه شده تا مقدار تابع خطای از پیش تعیین شده بدست آید. سپس به روش‌هایی متفاوت این مقدار خطا از میان شبکه به عقب برمی‌گردد. با استفاده از این اطلاعات، الگوریتم وزن‌هایی هر اتصال تنظیم شده تا مقدار تابع خطا کاهش یابد [۱۶].

عملکرد شبکه عصبی بستگی مستقیم به تعداد لایه‌های پنهان و تعداد گره‌های موجود در لایه پنهان دارد، بنابراین بایستی تلاش زیادی برای انتخاب ساختار بهینه شبکه عصبی با تغییر در تعداد لایه‌های پنهان و در نتیجه تعداد گره‌های هر لایه انجام داد. ساختار مناسب شبکه عصبی برای پیش‌بینی هندسه جوش و نفوذ معمولاً از طریق آزمون و خطا انتخاب می‌شود [۱۸-۱۷]. در لایه ورودی، گره‌های لازم برای ورود متغیرها قرار دارد که در این تحقیق شش گره در ورودی منظور شده است. لایه خروجی نیز شامل گره‌هایی منطبق بر متغیرهای خروجی هستند که در اینجا شامل عرض، ارتفاع، عمق جوش و سرعت ذوب الکتروود می‌باشند. در لایه‌های پنهان استفاده شده در این تحقیق، به ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ گره وجود دارد. بنابراین ساختار شبکه به صورت (۴-۱۰۰-۲۰۰) ایجاد گردیده است (شکل ۲).



شکل (۲): ساختار شبکه عصبی همراه ورودی و خروجی‌های آن.

در این تحقیق، برای تعلیم شبکه از داده‌های تجربی استفاده شده است. روند تعلیم شامل دو عبور است که در عبور رو به جلو، مقادیر از ورودی، به سوی خروجی انتشار می‌یابند. در این حرکت خروجی لایه به لایه محاسبه شده و

شبکه‌های عصبی می‌توانند رابطه اطلاعات عرضه شده را فهمیده و آن را برای حالات جدید (که اطلاعاتی برای آن‌ها وجود ندارد) تعمیم دهند. به عبارت دیگر شبکه می‌تواند برای ورودی‌هایی که هرگز آن‌ها را ندیده خروجی‌های نسبتاً درستی را پیش‌بینی نماید.

ورودی‌های شبکه متغیرها هستند و خروجی‌ها نیز مواردی هستند که بایستی پیش‌بینی یا کنترل شوند. ورودی‌ها و خروجی‌ها از طریق گره‌ها به هم مربوط می‌شوند. در برخی موارد ممکن است از گره‌های پنهان نیز استفاده شود. گره‌های ورودی، خروجی و پنهان، بایستی به هم متصل شوند. برای استفاده از ماهیت سامانه‌های عصبی زیستی، از نورون‌های مصنوعی استفاده می‌شود که تعدادی ورودی را دریافت کرده و هر ورودی را از طریق یک رابط بنام «وزن» به گره‌های دیگر ارتباط می‌دهند. این وزن‌ها، مشابه اثر سیناپسی در نورون‌ها یا طبیعی هستند. هر نورون دارای یک مقدار آستانه است. ورودی در وزن ضرب شده و مقدار آستانه از آن کم می‌شود تا نورون فعال شود. سیگنال فعال‌سازی شده از میان تابع فعالیت گذر می‌کند تا خروجی نورون ایجاد شود. این تابع مقادیر خروجی یک عصب مصنوعی را بین مقادیر مجانب، فشرده یا محدود می‌کند [۱۵]. در این تحقیق، این تابع از نوع سیگموئید به صورت زیر انتخاب شده که برای همه نورون‌ها مورد استفاده قرار گرفته است:

$$f(x) = [1 + \exp[-x]]^{-1} \quad (۱)$$

شبکه‌های عصبی مصنوعی دو کار عمده انجام می‌دهند که عبارتند از یادگیری و فراخوانی. یادگیری عبارت است از فرآیند تنظیم وزن اتصالات یک شبکه عصبی به گونه‌ای که شبکه بتواند به هنگام دریافت بردار تحریک توسط لایه ورودی، بردار خروجی مطلوب را به عنوان پاسخ تولید کند. فراخوانی، فرآیند پذیرش یک ورودی تحریک و تولید یک پاسخ خروجی بر حسب ساختار وزنی تعلیم دیده شبکه است. دو فرآیند یادگیری و فراخوانی مکمل یکدیگرند؛ زیرا خروجی مطلوب یک شبکه باید با خروجی واقعی آن مقایسه شود تا تابع خطا به وجود آید. شایسته‌ترین الگوریتم برای تعلیم شبکه عصبی، پس انتشار خطا است. این روش از نوع تعلیم با سرپرست است و تاکنون کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های جلو سو داشته است. همان‌طور که نام الگوریتم نشان می‌دهد،

استفاده نیز ۳/۲ میلی‌متر بوده است. بیشترین پوشش الکتروود E6010 را سلولز، الکتروود E6013 را اکسید تیتانیوم و الکتروود E7018 را مواد قلیایی حاوی پودر آهن، تشکیل می‌دهد.

برای اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل، یک سامانه الکترونیکی طراحی و ساخته شده که با به‌کارگیری یک حسگر جریان و اندازه‌گیر ولتاژ الکتریکی، این دو پارامتر را به‌صورت لحظه‌ای بر روی نمایشگر رایانه نشان می‌دهد. با توسعه امکانات نرم‌افزاری، قابلیت پردازش و ذخیره‌سازی این اطلاعات در رایانه فراهم شده است. سامانه مذکور از دو بخش سخت‌افزار و نرم‌افزار تشکیل شده است. بخش سخت‌افزار شامل حسگر جریان و مدارات لازم برای نمونه‌گیری از ولتاژ و فیلتر کردن نویز است و بخش نرم‌افزار نیز شامل سه قسمت است که عبارتند از: بخش نرم‌افزار موجود در میکروکنترلر AVR، نرم‌افزار نمایش اطلاعات به‌وسیله کامپیوتر و نرم‌افزار مربوط به راه‌اندازی ماژول درگاه USB به سریال. نرم‌افزار بخش میکروکنترلر به زبان C در محیط Code Vision نوشته شده و سپس توسط نرم‌افزار Programmer در داخل میکروکنترلر قرار گرفته است. همچنین نرم‌افزار مانیتورینگ بر روی رایانه، به زبان MATLAB نوشته شده است. تغذیه بخش سخت‌افزار از درگاه USB انجام شده تا احتیاج به منبع تغذیه جداگانه نباشد.

برای اندازه‌گیری سرعت حرکت الکتروود، از میز دستگاه فرز یونیورسال کنترل عددی استفاده شده که قابلیت تغییر و کنترل سرعت را با دقت بالا دارد. برای انجام آزمایش‌ها با انجام چند نمونه آزمایشی، سه سرعت ذکر شده در جدول ۱ مناسب تشخیص داده شده است. سایر پارامترها (زاویه الکتروود و حرکت عرضی) توسط

خروجی هر لایه به عنوان ورودی لایه بعد محسوب می‌شود. در عبور معکوس، ابتدا مقادیر خطای محاسبه شده به عقب منتشر می‌شود، تا از آن‌ها برای تنظیم وزن‌ها استفاده شود. در این حرکت معکوس ابتدا وزن‌های لایه خروجی تنظیم می‌شود. زیرا برای هر یک از اعصاب لایه خروجی، خروجی مطلوب وجود دارد. سپس باید وزن لایه‌های میانی تنظیم شوند.

از آنجا که برای عصب لایه‌های میانی، مقادیر خروجی مطلوب تعریف نشده است، خطا باید از لایه خروجی به سمت عقب در شبکه منتشر شود و لایه به لایه توابع غیرخطی را در برگیرد [۱۹]. روند کلی محاسبات شبکه عصبی استفاده شده در شکل ۳ داده شده است.

مشخصه‌های آزمایش در جدول ۱ داده شده‌اند. در این جدول، ستون‌ها به ترتیب از چپ به راست نشان دهنده نوع الکتروود، شدت جریان، سرعت حرکت، طول قوس، حرکت عرضی و زاویه الکتروود می‌باشند. مبنای شماره‌گذاری آزمایش‌ها که نتایج داده‌های تجربی بر حسب آن در جدول ۲ داده شده، نیز طبق این جدول انجام شده است. (برای مثال نمونه ۱۳۱۱۲۲ از چپ به راست نشان دهنده الکتروود نوع اول (۶۰۱۳)، آمپر سوم (۱۲۰)، سرعت اول (۸۰) سانتیمتر در دقیقه، طول قوس اول (یک برابر قطر مفتول)، حرکت عرضی دوم (سه برابر قطر الکتروود) و زاویه الکتروود دوم (۹۰ درجه) می‌باشد).

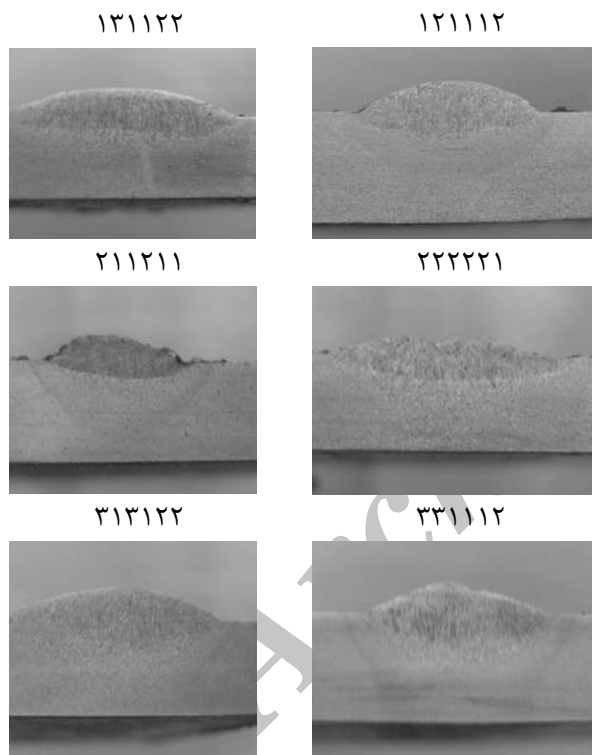
۵- نحوه انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق از استاندارد جوشکاری AWS A5.1 و سه الکتروود پرکاربرد در صنعت، شامل الکتروودهای: E6010, E6013, E7018 استفاده شده است. قطر الکتروودهای مورد

جدول (۱): محدوده پارامترهای انتخابی و کدهای انتخاب شده برای انجام آزمایش‌ها.

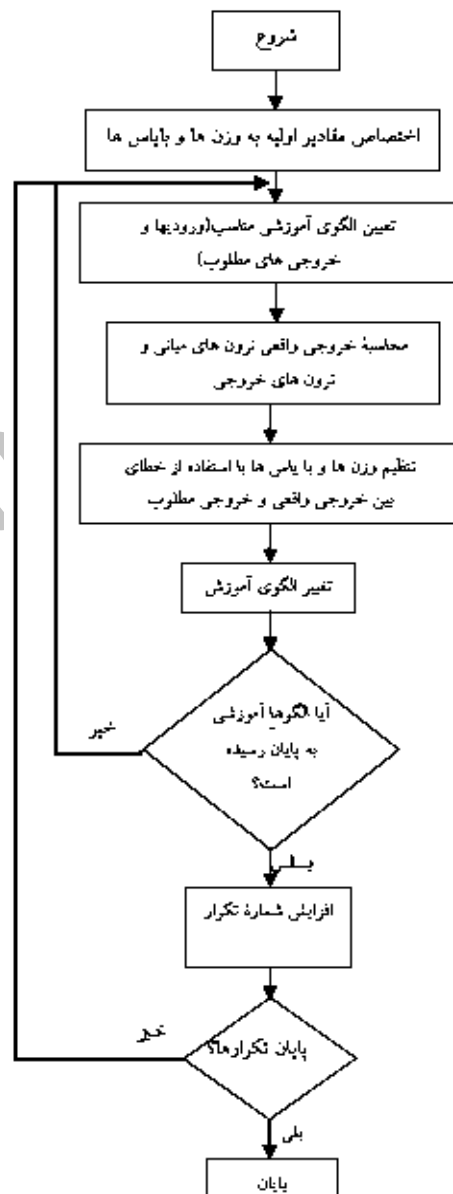
نوع الکتروود	شدت جریان (Amp)			سرعت حرکت الکتروود (cm/min)			طول قوس (ضریب قطر الکتروود)		حرکت عرضی (ضریب قطر الکتروود)		زاویه الکتروود (deg.)	
	کدهای شدت جریان			کدهای سرعت حرکت			کدهای طول قوس		کدهای حرکت عرضی		کدهای زاویه الکتروود	
	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱
۶۰۱۳	۱۲۰	۱۰۵	۸۵	۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۴	۱	۳	۱	۹۰	۷۵
۶۰۱۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۴	۱	۳	۱	۹۰	۷۵
۷۰۱۸	۱۶۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۴	۱	۳	۱	۹۰	۷۵

پس از انجام آزمایش‌ها و شماره‌گذاری هر کدام از ۲۱۶ نمونه، آن‌ها در سه محل برش داده شده و پرداخت می‌گردند. سپس، سطح نمونه‌ها با اسید نیتریک رقیق شده «چ» می‌شود. هدف از انجام این کار شفاف‌سازی مقطع جوش برای تعیین عرض، ارتفاع و عمق نفوذ جوش است. اندازه‌گیری این ابعاد با استفاده از کولیس دیجیتال و ذره‌بین چراغ‌دار رومیزی با بزرگ‌نمایی ۱۰ برابر انجام شده است. میانگین اندازه‌گیری این ابعاد که در سه مقطع انجام می‌شود، به عنوان نتیجه آزمایش نمونه به صورت دو ماتریس (۶×۲۱۶) و (۴×۲۱۶) (ورودی و خروجی) برای تعلیم به نرم‌افزار شبکه عصبی وارد می‌شود. شکل ۴ مقاطع جوش حاصله در برخی از آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۴): تصویر مقطع برخی از نمونه‌های آزمایش (شماره گذاری بر اساس جدول ۱ انجام شده است).

جوشکار کنترل و به‌صورت هم‌زمان توسط ناظر جوش نظارت می‌شود. در نهایت چنانچه هر کدام از پارامترهای مذکور مورد رضایت نباشد آزمایش باطل شده و تکرار می‌گردد. برای هر آزمایش شدت جریان، سرعت حرکت الکتروود و نوع الکتروود پیش از شروع جوشکاری انتخاب و به نرم‌افزار مربوطه معرفی می‌شود.



شکل (۳): الگوریتم پس انتشار خطا در شبکه عصبی مصنوعی.

۶- تحلیل و بحث در مورد نتایج

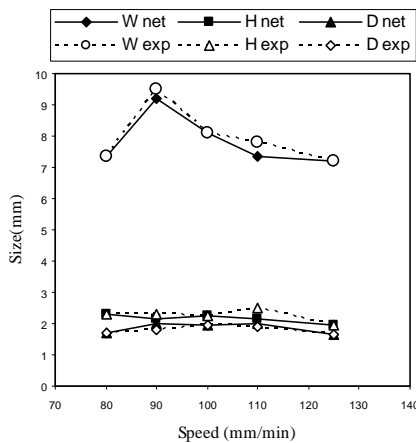
تعیین کننده هندسه جوش و یک متغیر میزان مصرف الکتروود به عنوان خروجی مورد نظر بوده است. با عنایت به کثرت متغیرها می‌توان با استفاده از این شبیه‌سازی، تأثیر عوامل مختلف، به صورت تک عامل یا چند عامل را بر هندسه جوش بررسی کرده و بدین ترتیب به حجم زیادی از اطلاعات و منحنی‌های مختلف که بیانگر رفتار جوش باشد، دست یافت. به‌عنوان نمونه می‌توان برای هر الکتروود با ثابت نگاه داشتن میزان آمپر، سرعت حرکت مفتول، زاویه عرضی، حرکت عرضی و زاویه مفتول با قطعه‌کار، تأثیر طول قوس بر هندسه جوش از جمله پهنا، عمق نفوذ و ارتفاع گرده جوش از سطح قطعه‌کار را برآورد نمود. هم‌چنین می‌توان با تغییر دو یا چند عامل به‌طور توأم، تغییرات هندسه جوش را مورد ارزیابی قرار داد.

برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار شبکه عصبی، از دو فرآیند استفاده شده است. در فرآیند اول، نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها با نتایج بدست آمده از شبکه مقایسه شده تا بتوان خطای تقریب را بدست آورد. در این حالت، از نقاط استفاده شده برای تعلیم شبکه بهره‌برداری شده است. نتایج که در جدول ۲ داده شده‌اند، نشان‌دهنده دقت بسیار خوبی می‌باشند. در فرآیند دوم، نتایج شبکه عصبی با داده‌های آزمایشگاهی در نقاطی غیر از نقاط تعلیم مقایسه گردیده است. برای این حالت ۱۰ نمونه آزمایش اضافه تهیه و فرآیند آزمایش با تعریف پارامترهایی مشخص و با استفاده از الکتروود ۶۰۱۳ تکرار شده است؛ تا بتوان چگونگی دقت و عملکرد شبیه‌سازی را بررسی نمود. در این تحقیق پنج متغیر ورودی برای سه نوع الکتروود و چهار متغیر خروجی شامل سه بعد

جدول (۲): نتایج حاصل از شبکه عصبی و داده‌های تجربی.

ردیف	کد آزمایش	داده‌های گرفته شده از آزمایش				داده‌های گرفته شده از شبکه عصبی			
		پهنای جوش	ارتفاع جوش	عمق نفوذ	سرعت ذوب الکتروود	پهنای جوش	ارتفاع جوش	عمق نفوذ	سرعت ذوب الکتروود
1	111111	7.84	2.1	0.73	0.42	7.83	2.09	0.73	0.42
2	111112	8.72	1.8	0.87	0.43	8.68	1.80	0.87	0.43
3	111121	13.65	1.94	1.03	0.50	13.6	1.93	1.03	0.50
4	111122	13.46	2.24	1.18	0.48	13.46	2.24	1.17	0.49
5	111211	9.74	1.52	0.96	0.39	9.73	1.52	0.94	0.40
6	111212	9.65	1.67	1.36	0.38	9.66	1.67	1.36	0.37
7	111221	16.27	1.77	1.47	0.44	16.20	1.77	1.47	0.44
8	111222	14.57	1.4	1.48	0.38	14.62	1.40	1.48	0.38
9	112122	13.3	2.09	1.18	0.51	14.65	2.28	2.41	0.52
10	122222	16.51	1.43	1.41	0.44	16.59	1.43	1.41	0.44
11	131111	8.26	2.11	1.15	0.34	8.23	2.11	1.14	0.34
12	133222	13.64	1.46	1.08	0.49	14.38	1.46	1.10	0.48
13	211111	8.18	1.54	1.68	0.47	8.19	1.54	1.68	0.47
14	211122	14.28	1.61	1.70	0.51	14.40	1.54	1.78	0.51
15	211211	9.25	1.59	1.47	0.46	9.25	0.83	1.11	0.47
16	211221	14.82	1.14	1.63	0.44	13.62	1.16	1.53	0.44
17	212111	8.24	1.45	1.75	0.45	6.98	2.15	2.20	0.41
18	213222	16.22	0.99	1.62	0.55	16.57	1.16	1.84	0.53
19	221111	7.62	2.0	2.34	0.55	7.62	2.01	2.34	0.55
20	221121	13.51	1.85	2.11	0.62	13.49	1.85	2.11	0.62
21	222222	15.81	0.94	1.78	0.53	15.87	0.93	1.78	0.53
22	231111	8.53	1.66	3.10	0.64	13.89	2.35	3.40	0.53
23	311111	8.30	2.32	1.35	0.48	8.29	2.34	1.35	0.48
24	311112	9.45	2.05	1.76	0.53	9.45	2.05	1.75	0.53
25	311121	14.95	2.40	1.77	0.55	15.03	2.35	1.77	0.54
26	311211	12.56	1.5	1.67	0.51	12.58	1.49	1.67	0.51
27	311221	16.73	1.89	3.14	0.47	16.55	1.89	3.14	0.47
28	312212	13.04	1.57	1.49	0.49	14.33	1.40	3.09	0.72
29	323121	14.62	1.95	1.87	0.55	14.60	1.95	1.87	0.55
30	331122	15.25	1.92	2.22	0.63	15.23	1.92	2.22	0.63

شکل ۶ اثر تغییرات سرعت حرکت الکتروود بر هندسه جوش و عمق نفوذ در آمپر ۱۰۰ را نشان می‌دهد. در این نمودار نتایج آزمایش‌های تجربی با نتایج گرفته شده از شبیه‌سازی شبکه عصبی مقایسه شده است. در این حالت نیز تطابق بسیار خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و آزمایش وجود دارد. ضمناً همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش سرعت حرکت الکتروود، پهنای جوش کاهش، و ارتفاع و عمق نفوذ افزایش پیدا می‌کنند.



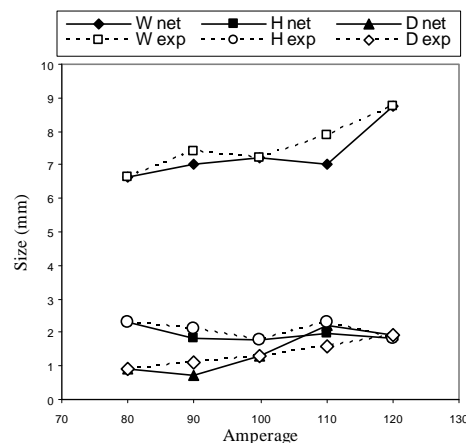
شکل (۶): نمودار مقایسه اثر تغییرات سرعت بر هندسه جوش در آمپر ۱۰۰ (خطوط توپر نتایج شبکه و خطوط نقطه‌چین نتایج آزمایش می‌باشند).

در شکل ۷ اثر تغییرات آمپر بر هندسه جوش و عمق نفوذ در سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه برای نتایج بدست آمده از آزمایش‌های تجربی و شبیه‌سازی شبکه عصبی نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که اثر تغییر آمپر بر هندسه جوش و عمق نفوذ نیز با موارد عنوان شده در تحلیل‌های قبل انطباق دارد.

در شکل ۸ اثر تغییرات سرعت حرکت الکتروود بر هندسه جوش و عمق نفوذ در آمپر ۱۲۰ برای نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی شبکه عصبی نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش سرعت (تا سرعت ۱۰۰ mm/min) افزایش عمق نفوذ و سپس کاهش عمق نفوذ پیش‌بینی می‌شود که این امر به دلیل

در این مقاله، صرفاً به تست شبکه برای آزمایش‌های اضافی انجام شده بسنده شده و تعدادی از نمودارهای بدست آمده از این طریق، شامل تأثیر سرعت بر هندسه جوش در آمپرهای مختلف و تغییرات آمپر بر هندسه جوش در سرعت‌های مختلف برای یک نوع الکتروود پرداخته شده است. لازم به ذکر است که با توجه به آنکه از میان شش پارامتر مورد بررسی، سرعت حرکت الکتروود و آمپر با دستگاه قابل اندازه‌گیری بودند، در آزمایش‌های اضافی صرفاً اثر این دو پارامتر بر هندسه جوش و عمق نفوذ مورد بررسی قرار گرفته است.

در شکل ۵، اثر تغییرات آمپر در هندسه جوش در سرعت ۱۲۵ میلی‌متر بر دقیقه نشان داده شده است. در این نمودار نتایج عددی بدست آمده از سامانه شبیه‌سازی شبکه عصبی با نتایج تجربی بدست آمده مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که تطابق قابل قبولی بین نتایج وجود دارد. همچنین دیده می‌شود که با افزایش آمپر، افزایش پهنای جوش و عمق نفوذ اتفاق می‌افتد که این به دلیل افزایش حرارت ورودی ناشی از افزایش آمپر است. در مورد ارتفاع جوش نیز افزایش محسوس است که به دلیل افزایش میزان ذوب الکتروود می‌باشد.



شکل (۵): نمودار مقایسه اثر تغییرات آمپر بر هندسه جوش و در سرعت ۱۲۵ mm/min (خطوط توپر نتایج شبکه و خطوط نقطه‌چین نتایج آزمایش می‌باشند).

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی جوش قوس الکتریکی برای پیش‌بینی هندسه جوش بر مبنای تغییرات متغیرهایی از قبیل: نوع الکتروود، شدت جریان، طول قوس، سرعت پیش‌روی، زاویه مفتول و حرکت عرضی مفتول جوش انجام پذیرفته است. این شبیه‌سازی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و با اطلاعات بدست آمده از ۲۱۶ نمونه آزمایش عملی جوش صورت گرفته است. در این تحقیق به طور مشخص شبیه‌سازی جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش‌دار برای سه الکتروود خاص و با تعداد شش متغیر انجام شده که در مقالات دیگر به آن پرداخته نشده است. این شبیه‌سازی می‌توان حساسیت جوش به پارامترهای تأثیرگذار را برآورد نمود. بررسی دقت و کارایی سامانه شبیه‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به دو طریق انجام شده و نتایج قابل قبولی دریافت گردیده است.

از تحقیق انجام شده استنباط می‌شود که روش شبیه‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، قابلیت لازم برای اندازه‌گیری اثر پارامترهای شش‌گانه بر هندسه جوش را داراست و لذا از این نتایج می‌توان برای طراحی جوش در کاربردهای مختلف بهره برد.

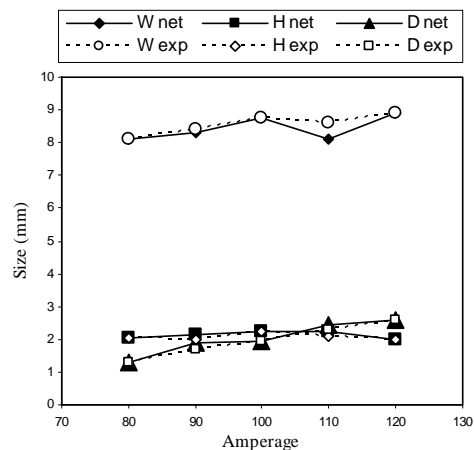
روش گسترش داده شده در این مقاله را می‌توان برای انواع دیگر الکتروود و یا انواع دیگر جوش از قبیل جوش اصطکاکی، جوش زیر پودری و جوش الکترونی نیز انجام داده و از نتایج حاصل از آن برای پیش‌بینی و طراحی این نوع جوش‌ها استفاده کرد.

مراجع

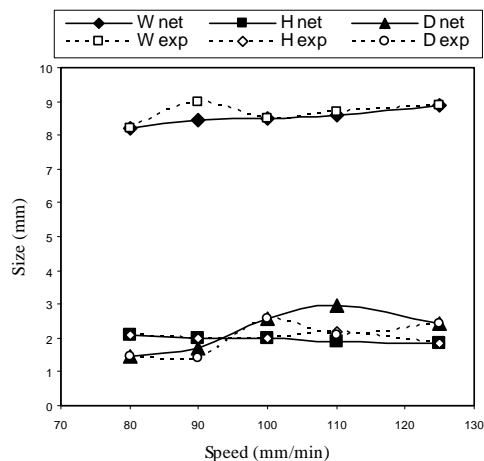
۱- کوبی، ا.ح.، "تکنولوژی جوشکاری"، تهران، نشر آزاده، چاپ ششم، زمستان ۱۳۸۳.

2. Tsegelsky, V., "The Electric Welder", Foreign Language Publishing House, Moscow, 1976.
3. Nagesh, D.S. and Datta, G.L., "Prediction of Weld Bead Geometry and Penetration in Shielded Metal-Arc Welding, Using Artificial Neural Networks", J. Mat. Processing Tech., Vol. 123, No. 2, pp. 303-312, 2002.

پدیده زیربرش در سرعت‌های بالاتر می‌باشد. در این حالت نیز تطابق قابل قبولی بین نتایج تجربی و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی وجود دارد.



شکل (۷): نمودار مقایسه اثر تغییرات آمپر بر هندسه جوش و عمق نفوذ در سرعت 100 mm/min (خطوط توپر نتایج شبکه و خطوط نقطه‌چین نتایج آزمایش می‌باشند).



شکل (۸): نمودار مقایسه اثر تغییرات سرعت بر هندسه جوش و عمق نفوذ در آمپر ۱۲۰ (خطوط توپر نتایج شبکه و خطوط نقطه‌چین نتایج آزمایش می‌باشند).

14. Kim, I.S., Son, J.S., Park, C.E., Kim, I.J., and Kim, H.H, "An Investigation into an Intelligent System for Predicting Bead Geometry in GMA Welding Process", *J. Mat. Processing Tech.*, Vol. 159, No. 1, pp. 113-118, 2005.
15. Welstead, S.T., "Neural Network and Fuzzy Logic Applications in C/C++, NY", John Wiley and Sons, New York, 1994.
16. Mehrotra, K., Chilukuri, K., and Ranka, S., "Elements of Artificial Neural Networks", The MIT Press, 1997.
17. Cook, G.E., Andersen, K., Karsai, G., and Ramaswamy, K., "Artificial Neural Networks Applied to Arc Welding Process Modeling and Control", *IEEE Trans. Indust. Appl.*, Vol. 26, No. 5, pp. 824-830, 1999.
18. Cook, G.E., Barnett, R.J., Andersen, K., and Strauss, A.M., "Weld Modeling and Control, Using Artificial Neural Networks", *IEEE Trans. Indust. Appl.*, Vol. 31, No. 6, pp. 1484-1491, 1995.
- ۱۹- سید صالحی، س.ع. "افزایش کارایی بازشناخت الگوی شبکه‌های عصبی جلوسو از طریق توسعه روش‌هایی برای دوسویه کردن عملکرد آن‌ها"، گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی، تهران، ایران، مهر ۱۳۸۳.
4. Dey, V., Pratihari, D.K., and Datta, G.L., "Prediction of Weld Bead Profile, Using Neural Networks", *The First Int. Conf. on Emerging Trends in Eng. and Tech.*, IEEE, pp.581-586, 2008.
5. Ates, H., "Prediction of Gas Metal Arc Welding Parameters Based on Artificial Neural Networks", *Mat. and Design*, Vol. 28, No. 7, pp. 2015-2023, 2007.
6. Lee, J.I. and Um, K.W., "A Prediction of Welding Process Parameters by Prediction of Backbead Geometry", *J. Mat. Processing Tech.*, Vol. 108, No.1, pp. 106-113, 2000.
7. Dutta, P. and Pratihari, D.K., "Modeling of TIG Welding Process Using Conventional Regression Analysis and Neural Network-based Approaches", *J. Mat. Processing Tech.*, Vol. 184, No's.1-3, pp. 56-68, 2007.
8. Mollah, A.A. and Pratihari, D.K., "Modeling of TIG Welding and Abrasive Flow Machining Processes, Using Radial Basis Function Networks", *Int. J. Advanced Manufacturing Tech.*, Vol. 37, No's. 9-10, pp. 937-952, 2008.
9. Li, P., Fang, M.T.C., and Lucas, J., "Modeling of Submerged Arc Weld Beads, Using Self Adaptive Offset Neutral Network", *J. Mat. Processing Tech.*, Vol. 71, No.2, pp. 288-298, 1997.
10. Gunaraj, V. and Murugan, N., "Prediction and Comparison of the Area of the Heat-Affected Zone for the Bead-on-Plate and Bead-on-Joint in Submerged Arc Welding of Pipes", *J. Mat. Processing Tech.*, Vol. 95, No's.1-3, pp. 246-261, 1999.
11. Gunaraj, V. and Murugan, N., "Prediction and Optimization of Weld Bead Volume for the Submerged Arc Process - Part 1", *Welding Research Supplement*, Vol. 78, pp. 286-294, 2000.
12. Benyounis, K.Y., Olabi, A.G., and Hashmi, M.S.J., "Effect of Laser Welding Parameters on the Heat Input and Weld-Bead Profile", *J. Mat. Processing Tech.*, Vol.'s. 164-165, pp. 978-985, 2005.
13. De, A., Jantre, J., and Ghosh, P.K., "Prediction of Weld Quality in Pulsed Current GMAW Process, Using Artificial Neural Network", *Sci. and Tech. of Welding and Joining*, Vol. 9, No. 3, pp. 253-259, 2004.