



بررسی پارامترهای جوشکاری با گاز محافظ توسط شبکه عصبی مصنوعی

راحله پودینه نی^{1*}، فرهاد کلاهان²

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

2- دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مکانیک

ایمیل نویسنده مسئول: raheleh.poudinehei@mail.um.ac.ir

چکیده

فرایند جوشکاری جوشکاری قوسی با گاز محافظ به سبب سرعت جوشکاری بالا، امکان ماشینی کردن فرایند و محافظت خوب حوضچه مذاب، در صنعت به طور گسترده‌ای کاربرد دارد. در سالهای اخیر توسعه تحقیقات بر روی یافتن پارامترهای بهینه جهت بهبود سلامت جوش و بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی جوش، بطور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر پارامترهای فرایند شامل فاصله نازل از سطح کار، زاویه لبه اتصال، ولتاژ، سرعت تغذیه سیم و سرعت جوشکاری بر متغیرهای عرض جوش، عمق نفوذ جوش، ارتفاع گرده جوش و عرض ناحیه حرارت دیده از یک شبکه عصبی 5 لایه استفاده شده است. همچنین از یک مدل بازگشتی پس انتشار جهت آموزش، تست و ارزیابی شبکه عصبی استفاده شده است. بمنظور بررسی میزان انحراف داده‌های پیش بینی شده و داده های تجربی، از روش خطای میانگین مربعات، استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: گاز محافظ، جوشکاری، شبکه عصبی، گرده جوش

مقدمه

جوشکاری قوسی با گاز محافظ¹، یکی از روش‌های جوشکاری قوسی محسوب می‌شود. در این روش با استفاده از قوسی که بین فلز پرکننده مصرف شدنی و حوضچه‌ی جوش به وجود می‌آید، فیلر ذوب شده و اتصال قطعات برقرار می‌شود. همان طور که از نام این روش پیداست، از گاز محافظ برای محافظت از حوضچه مذاب استفاده می‌شود. اگر گاز محافظ استفاده شده بی اثر باشد، به این روش میگ² گفته می‌شود. اما اگر گاز محافظ فعال یا با اثر باشد به آن مگ³ می‌گویند [1].

گرمای لازم جهت ذوب فلز پایه و ایجاد اتصال در جوشکاری میگ مگ، از قوس الکتریکی ایجاد شده میان فلز پایه و سیم جوش تامین می‌شود و حفاظت حوضچه مذاب بر عهده‌ی گاز خارجی است. اما جوش جوشکاری قوسی با گاز محافظ از الکتروود جامد فلزی استفاده می‌کند و مقدار بسیار کمی سرباره باقی می‌گذارد. معمولاً برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی درجه حرارت در قطعات ضخیم پیش از جوشکاری، آنها را پیش گرم می‌کنند. دمای پیش گرم تابع عوامل زیادی مانند ترکیب شیمیایی، ضخامت فلز پایه، طرح اتصال و قطر سیم جوش است و معمولاً توسط شعله انجام می‌گردد [2]. ساکاری و همکارانش [3]، سیستم جوشکاری قوسی با گاز محافظ را به کمک شبکه عصبی مصنوعی کنترل نمودند. هدف از تحقیق آنها دستیابی به پارامترهای فرایندی بهینه در جوشکاری ورق‌های فولادی کم کربن گرید S420MC به ضخامت 12 میلی‌متر می‌باشد. مک فرسون و همکارانش [4]،

مقدار اعوجاج ورق‌های فولادی DH36 جوشکاری شده را به کمک شبکه عصبی مصنوعی مطالعه و بررسی نمودند. آنها برای این مهم تاثیر پارامترهای ضخامت ورق، سرعت عرضی تورچ جوشکاری، جریان و ولتاژ جوشکاری را به روش آزمایشات تجربی بررسی نمودند. نتایج آزمایشات تجربی آنها نشان داد مهمترین فاکتورهای تاثیرگذار بر اعوجاج ورق‌های فولادی جوشکاری شده به ترتیب عبارت است از ضخامت ورق، سرعت عرضی تورچ، ولتاژ و جریان جوشکاری. مک فرسون و همکارانش جهت بهینه‌سازی مقادیر پارامترهای ورودی فرایند جوشکاری، از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده نمودند. آتیس [5]، پارامترهای جوشکاری قوسی با گاز محافظ را به کمک شبکه عصبی پیش بینی نمود. آتیس تاثیر 3 نوع گاز محافظ آرگون، منوکسیدکربن و اکسیژن را بر استحکام کشش نهایی، درصد ازدیاد طول نمونه جوشکاری شده، مقاومت به ضربه و سختی منطقه جوشکاری شده را بررسی نمود. همچنین به کمک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه⁴ با آرایش 3-2-4 مقادیر بهینه را بدست آورد. نتایج شبکه عصبی نشان داد بیشترین سختی به مقدار 260 راکول سی برای نسبت مخلوط گاز محافظ 10-10-80، بیشترین استحکام کششی به مقدار 62.7 مگاپاسکال برای نسبت 10-10-90 و بیشترین درصد ازدیاد طول به مقدار 21.5 درصد برای نسبت 10-10-80 بدست آمده است. سودهاکران و همکارانش [6]، مدلسازی و بهینه سازی پارامترهای جوشکاری قوسی با گاز محافظ را با استفاده از الگوریتم‌های طبیعی تحریک شونده بررسی نمودند. آنها تاثیر 5 فاکتور زاویه تورچ، سرعت حرکت تورچ، نرخ تغذیه سیم الکتروود، جریان جوشکاری و نرخ جریان گاز محافظ را در 5 سطح بر متغیرهای خروجی فرایند جوشکاری نظیر ارتفاع و عرض گرده جوش و همچنین عمق نفوذ بررسی نمودند.

بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در چند دهه اخیر کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلف نظیر صنعت، پزشکی، هوافضا و غیره گسترش یافته است. زیرا یکی از مهمترین مزیت‌های بکارگیری این ابزار، بهینه سازی پارامترهای فرایندی، کاهش زمان تولید و رسیدن به نتایج مطلوب است. براساس نتایج منتشر شده توسط محققین در نشریات داخلی و خارجی، میتوان دریافت شبکه عصبی مصنوعی در بحث مهندسی ساخت و تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا بوسیله این ابزار قدرتمند مهندسان می‌توانند تاثیر پارامترهای ورودی بر پارامترهای خروجی را مطالعه و شرایط بهینه را بررسی و حتی پیش بینی نمایند. بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده است کاربرد این ابزار قدرتمند

⁴ Multilayer perceptron neural network

¹ Gas metal arc welding

² Metal Inert Gas

³ Metal Active Gas



	D	A	V	F	S	BW	BP	BH	HAZ
1	1	7	3	5	1	7.2	4.9	2.9	3.2
	2	0	0	0	5	9	9	4	7
2	6	9	3	7	2	7.1	4.9	2.2	3.4
		0	0	0	5	5	7	2	2
3	6	7	3	9	1	9.2	5.7	5.5	6.7
		0	5	5	5	1	1	4	8
4	6	6	4	9	2	7.6	5.9	2.5	5.5
		0	0	0	5	3	5	1	3
5	1	7	3	9	2	5.7	5.5	3.0	5.0
	2	0	0	0	0	3	3	7	5
.									
1	1	7	4	7	1	10.	5.9	3.3	6.4
1	2	0	0	0	5	1	9		5
1	1	5	4	5	2	6.2	5.7	2.6	3.3
2	2	0	0	0	0	7		3	1
1	1	5	4	7	1	9.7	5.2	3.5	5.0
3	2	0	0	0	5		5	2	8
1	6	5	3	5	1	5.8	5.5	2.7	3.7
4		0	0	0	5	2	3	5	4
1	6	7	3	5	1	6.8	4.7	5.1	4.2
5		0	0	0	5	9	6	1	2
.									
3	1	9	3	5	2	6.3	5.0	2.2	3.2
0	2	0	0	0	0	7	3	3	6
3	1	5	3	5	2	4.4	5	2.9	2.9
1	2	0	5	5	5	5		1	8
3	6	5	3	5	1	6.6	5.8	2.8	3.3
2		0	5	5	5	9	3	7	6
3	6	7	4	5	2	6.8	4.7	5.1	3.2
3		0	0	0	0	1	9	2	
3	6	9	4	9	2	8.2	5.9	2.6	4.5
4		0	0	0	5	3	5	1	4
3	1	5	4	9	2	7.2	6.0	3.3	4
5	2	0	0	0	5	6	1	1	
.									
4	1	9	3	9	2	8.9	4.6	5.0	4.4
5	2	0	0	0	0	2	1	4	7
6	6	5	3	5	1	6	5.5	2.7	3.7
		0	0	0	5		3	5	4
4	6	7	3	7	2	6.7	5.4	3.1	3.4
7		0	5	0	0	4	1		6
4	6	9	4	9	2	8.0	5.9	2.6	4.5
8		0	0	0	5	3	5	1	4

مدل سازی فرآیند جوشکاری توسط شبکه عصبی مصنوعی

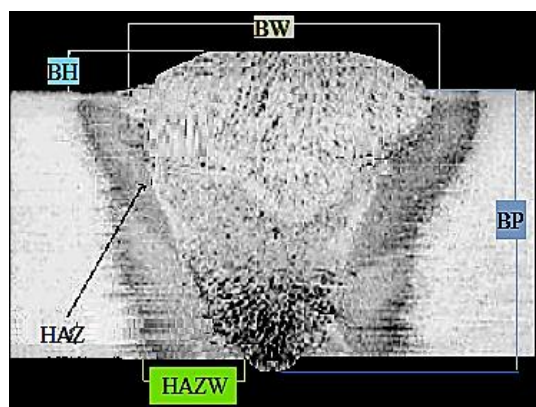
شبکه‌های عصبی مصنوعی در سه دهه اخیر با الهام‌گیری از سیستم‌های عصبی طبیعی ساخته شده‌اند. این مدل‌ها قابلیت‌های زیادی در مدل‌سازی فرآیندها و سیستم‌های پیچیده از خود نشان داده‌اند که قابل مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی نمی‌باشد. ویژگی‌هایی منحصر بفرد شبکه‌های عصبی مصنوعی سبب تمایز این شبکه‌ها از سایر روش‌های مدل‌سازی شده است. در بین شبکه‌های عصبی، شبکه عصبی پرسپترون به ویژه پرسپترون چند لایه، در زمره پرکاربردترین شبکه‌های عصبی می‌باشند. در تحقیق حاضر از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی جهت مدل‌سازی فرآیند جوشکاری استفاده شده است. پارامترهای لایه ورودی شامل فاصله نازل از سطح کار، زاویه لبه اتصال، ولتاژ، سرعت تغذیه سیم و سرعت جوشکاری می‌باشد. پس از انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلول‌های عصبی، این شبکه‌ها قادرند یک مدل غیرخطی با دقت بالایی را تخمین بزنند. پارامترهای عرض جوش، عمق نفوذ جوش، ارتفاع گرده جوش، عرض ناحیه حرارت دیده، به عنوان خروجی‌های لایه سوم در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به پیچیدگی فرآیند جوشکاری قوسی با گاز

در پیش بینی تاثیر پارامترهای ورودی بر پارامترهای مورد مطالعه در جوشکاری جوشکاری قوسی با گاز محافظ مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. همان‌طور که می‌دانیم با توجه به پیچیدگی‌ها و تعداد متغیرهای زیاد فرآیند جوشکاری، برای مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در تحقیق حاضر نیاز به یک سری داده‌های تجربی در محدوده مناسب عملی داریم. با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج منتشر شده توسط محققین، برای مدل‌سازی فرآیند جوشکاری با گاز محافظ، پنج متغیر ورودی در نظر گرفته شده این متغیرها به ترتیب عبارتند از: فاصله نازل از سطح کار (D)، زاویه لبه اتصال (A)، ولتاژ (V)، سرعت تغذیه سیم (F) و سرعت جوشکاری (S). لازم به ذکر است که این پارامترها با توجه به اهداف تحقیق مهمترین و اثرگذارترین فاکتورهای فرآیند مورد مطالعه‌اند. همچنین چهار خروجی جهت تعیین کیفیت جوش شامل: عرض جوش BW، عمق نفوذ جوش BP، ارتفاع گرده جوش BH و عرض ناحیه حرارت دیده HAZ در نظر گرفته شده است (شکل 1).

داده‌های تجربی مورد استفاده در تحقیق حاضر براساس 48 آزمایش از ترکیب دو روش، طراحی آزمایشات تاگوچی و دترمینان بهینه استخراج شده است. در این روش تاثیر 5 فاکتور در 3 سطح در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است سایر ورودی‌های فرآیند، در جریان جوشکاری و بصورت تنظیمات اولیه در نظر گرفته شده است. بنابراین مقدار دبی گاز خروجی حدود 12 لیتر بر دقیقه و گاز محافظ مورد استفاده در آزمایشات، ترکیبی از آرگون و دی اکسید کربن و نسبت اختلاط، 3 به 1 لحاظ گردیده است.

جدول 1- پارامترهای ورودی فرآیند جوشکاری قوسی با گاز محافظ

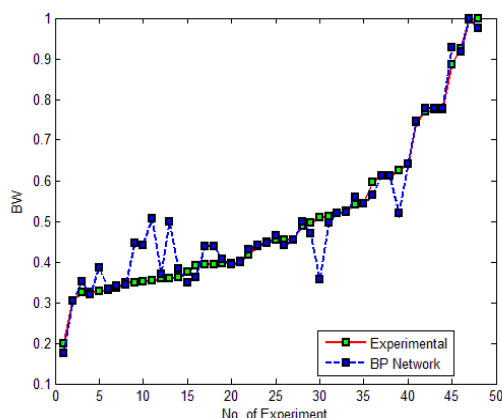
سرعت جوشکاری (m/min)	تغذیه سیم (m/min)	ولتاژ (V)	زاویه اتصال (deg)	فاصله نازل (mm)
سطح 1	0.15	5	30	50
سطح 2	0.2	7	35	70
سطح 3	0.25	9	40	90



شکل 1- موقعیت پارامترهای خروجی بروی پروفیل جوش

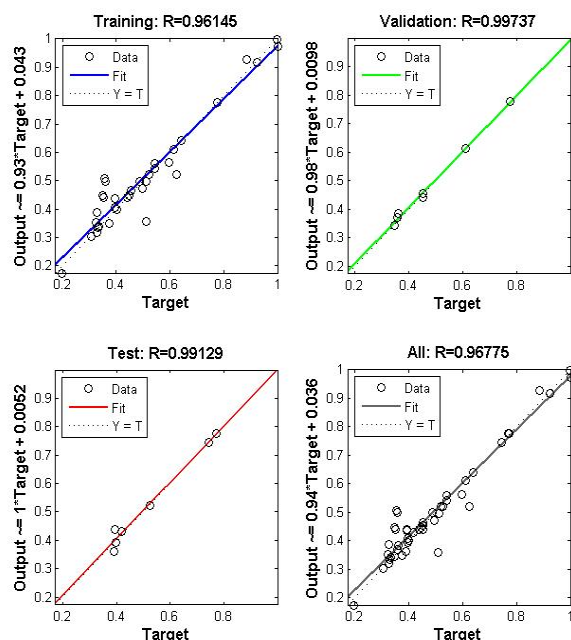
جدول 2- شرایط انجام آزمایشات و نتایج اخذ شده در رفرنس

پارامترهای خروجی	پارامترهای ورودی
------------------	------------------



شکل 2- مقایسه نتایج پیش‌بینی بهترین شبکه عصبی برای عرض جوش (BW)

همان‌طور که مشاهده می‌شود، انطباق میان داده‌ها مناسب است. اختلاف موجود بین داده‌های حاصل از مدل و داده‌های واقعی می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری و یا سایر خطاها در حین آزمایش باشد. شکل 3 عملکرد فرایند آموزش داده‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقادیر شیب و عرض از مبدأ معادلات رگرسیون خطی هم برای داده‌های آموزش و داده‌های تست و ارزیابی به ترتیب به مقادیر 0 و 1 بسیار نزدیک است که این امر نشان می‌دهد شبکه عصبی به خوبی آموزش دیده است. همچنین مقدار ضریب همبستگی برای داده‌های آموزشی برابر 0.96 و برای داده‌های آزمون برابر 0.99 است.



شکل 3- تحلیل رگرسیون مقادیر واقعی و مقادیر حاصل از مدل شبکه عصبی، داده‌های آموزشی، داده‌های ارزیابی، داده‌های تست برای عرض جوش (BW)

محافظ، به منظور بالا بردن دقت شبکه عصبی، برای هر یک از خروجی‌ها یک شبکه عصبی جداگانه تشکیل داده شده است. برای استفاده از قابلیت‌های یادگیری و تعمیم شبکه‌های عصبی مصنوعی اطلاعات جمع‌آوری شده از آزمایشات بصورت تصادفی به دو دسته داده‌های آموزش و داده‌های تست تقسیم شده‌اند. از میان 48 گروه داده‌های موجود 70 درصد برای آموزش، 15 درصد جهت تست و 15 درصد به منظور ارزیابی شبکه استفاده شده است. از آنجا پارامترهای ورودی فرآیند از یک مرتبه نیستند برای یکنواخت سازی داده‌ها و نیز افزایش سرعت آموزش شبکه، داده‌ها قبل از استفاده برای آموزش شبکه، نرمال سازی شدند لازم به ذکر است محدوده نرمال سازی در این تحقیق بصورت 0 و 1 تعریف شده است. به منظور آموزش شبکه عصبی در تحقیق حاضر، از روش بازگشتی پس انتشار⁵ استفاده شده است. در این روش پس از تنظیم معماری شبکه، با وارد نمودن مقادیر اولیه برای وزنه‌ها، خروجی شبکه برای تمام ورودی‌ها محاسبه شده و خطای هر مقدار تخمین زده شده توسط شبکه محاسبه می‌گردد. در تحقیق حاضر به منظور افزایش دقت در خروجی‌های شبکه عصبی، برای هر خروجی یک معماری متفاوت در نظر گرفته شده است (جدول 3).

جدول 3- معماری شبکه متفاوت برای هر پارامتر خروجی

فاکتورهای خروجی	عمق نفوذ	ارتفاع جوش	عرض گرده	عض ناحیه
معماری شبکه	4-3-10-5	4-3-7-5	5-4-3-8	HAZ جوش

بعد از انتخاب تعداد لایه‌ها و نرون‌ها و معماری شبکه عصبی، نوع توابع تبدیل در لایه‌ها تعیین می‌گردد. در این تحقیق برای لایه ورودی از تابع انتقال Symmetric sigmoid-TANSIG، برای لایه پنهان از تابع انتقال Logarithmic sigmoid- LOGSIG و برای لایه خروجی از تابع انتقال Linear transfer-PURELIN استفاده شده است.

ارائه نتایج و بحث

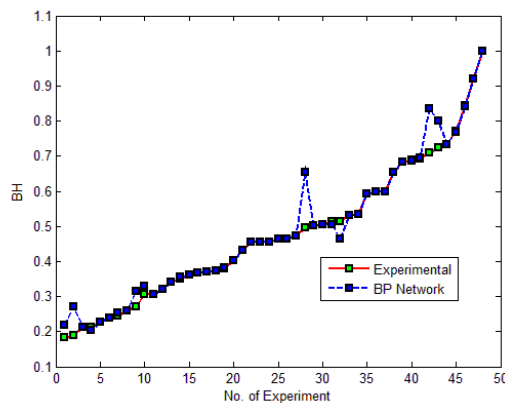
مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای عرض جوش بهترین شبکه عصبی توسعه یافته جهت مدل سازی برای BW دارای معماری 5-8-3-4 یعنی یک لایه ورودی و خروجی با دو لایه مخفی به ترتیب دارای 8 و 3 نرون، می‌باشد. در میان 48 داده آزمایش، بیشترین درصد خطای نسبی پیش‌بینی برابر با 0.00050، کم‌ترین خطا 0.00122 و میانگین خطا 3.5 است. این نشان دهنده انطباق مناسب شبکه توسعه یافته با داده‌های تجربی است. برای تصدیق ادعای مطرح شده، در شکل (2) داده‌های واقعی (تجربی) با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای 48 آزمایش ماتریس طرح آزمایشات مقایسه شده‌اند.

⁵ Back Propagation



شکل 5- تحلیل رگرسیون مقادیر واقعی و مقادیر حاصل از مدل شبکه عصبی، داده‌های آموزشی، داده‌های ارزیابی، داده‌های تست برای عمق نفوذ (BP)

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برای ارتفاع گرده جوش بهترین شبکه عصبی توسعه یافته جهت مدل‌سازی برای BH دارای معماری 5-3-4 یعنی یک لایه ورودی و خروجی و دو لایه پنهان به ترتیب دارای 7 و 3 نورون می‌باشد. در میان 48 داده آزمایش، بیشترین درصد خطای نسبی پیش‌بینی برای شبکه برابر با 0.007، کم‌ترین خطا 0.0014 و میانگین خطا 4.1 است. این نشان دهنده انطباق مناسب شبکه توسعه یافته با داده‌های تجربی است. برای تصدیق ادعای مطرح شده، در شکل (6) داده‌های واقعی (تجربی) با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی ارتفاع گرده در 48 آزمایش ماتریس طرح آزمایشات مقایسه شده‌اند.

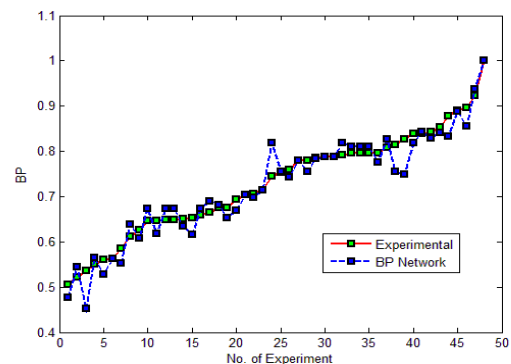


شکل 6- مقایسه نتایج پیش‌بینی بهترین شبکه عصبی ارتفاع گرده (BH)

شکل 7 عملکرد فرایند آموزش داده‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، مقادیر شیب و عرض از مبدأ معادلات رگرسیون خطی هم برای داده‌های آموزش، و داده‌های تست و ارزیابی به ترتیب به مقادیر 0 و 1 بسیار نزدیک است که این امر نشان می‌دهد شبکه عصبی به خوبی آموزش دیده است. همچنین مقدار ضریب همبستگی برای داده‌های آموزشی برابر 0.98 و برای داده‌های آزمون برابر 0.975 است.

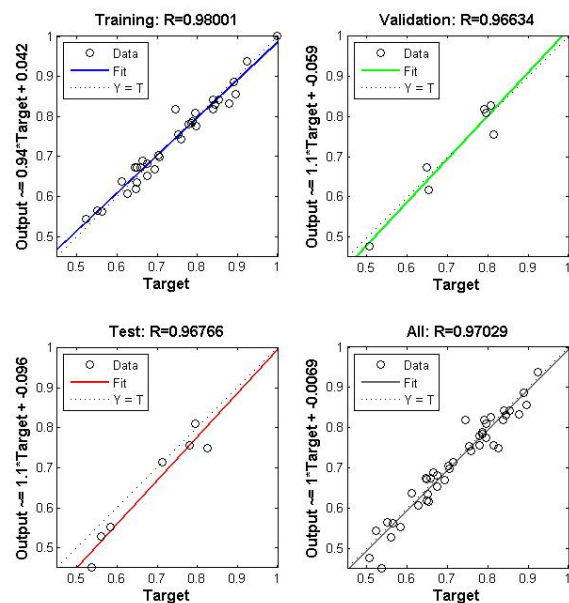
مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برای عمق نفوذ جوش

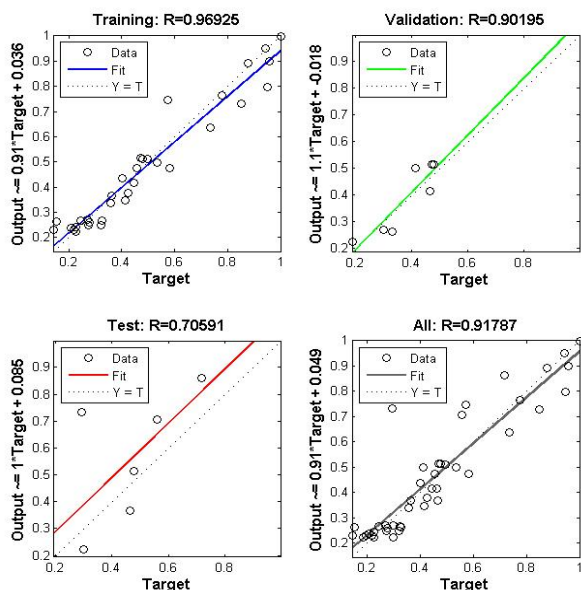
بهترین شبکه عصبی توسعه یافته جهت مدل‌سازی برای BP دارای معماری 5-3-4 یعنی یک لایه ورودی و خروجی و دو لایه مخفی به ترتیب دارای 10 و 3 نورون، می‌باشد. در میان 48 داده آزمایش، بیشترین درصد خطای نسبی پیش‌بینی برای این شبکه برابر با 0.0098، کم‌ترین خطا 0.001 و میانگین خطا برابر با 9.8 است. این نشان دهنده انطباق مناسب شبکه توسعه یافته با داده‌های تجربی است. برای تصدیق ادعای مطرح شده، در شکل (4) داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی عمق نفوذ در 48 آزمایش ماتریس طرح آزمایشات مقایسه شده‌اند.



شکل 4- مقایسه نتایج پیش‌بینی بهترین شبکه عصبی عمق نفوذ (BP)

شکل 5 عملکرد فرایند آموزش داده‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، مقادیر شیب و عرض از مبدأ معادلات رگرسیون خطی هم برای داده‌های آموزش، و داده‌های تست و ارزیابی به ترتیب به مقادیر 0 و 1 بسیار نزدیک است که این امر نشان می‌دهد شبکه عصبی به خوبی آموزش دیده است. همچنین مقدار ضریب همبستگی برای داده‌های آموزشی برابر 0.98 و برای داده‌های آزمون برابر 0.96 است.





شکل 9- تحلیل رگرسیون مقادیر واقعی و مقادیر حاصل از مدل شبکه عصبی، داده های آموزشی، داده های ارزیابی، داده های تست برای عرض ناحیه HAZ

جدول 1-3 خطای میانگین مربعات برای خروجی های فرایند

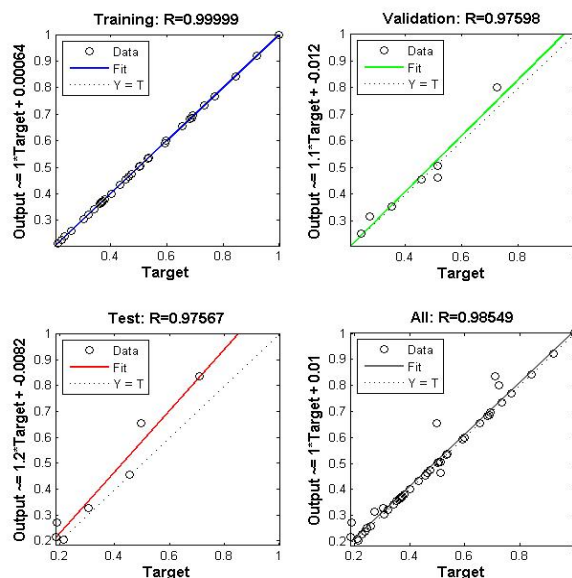
داده های آموزش	داده های تست	داده های ارزیابی
0.003142	0.000122	0.000443
0.000502	0.001063	0.002276
0.000908	0.001474	0.007043
0.004044	0.002836	0.036152
HAZ		

نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر پارامترهای ورودی فرایند جوشکاری قوسی با گاز محافظ نظیر فاصله نازل از سطح کار، زاویه لبه اتصال، ولتاژ، سرعت تغذیه سیم و سرعت جوشکاری بر متغیرهای پاسخ شامل عرض جوش، عمق نفوذ جوش، ارتفاع گرده جوش و عرض ناحیه حرارت دیده به کمک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج داده های بدست آمده از شبکه عصبی مصنوعی نشان می دهد معماری شبکه عصبی بویژه انتخاب مناسب تعداد نرون ها تاثیر بسیار مهمی بر فرایند آموزش و تست شبکه عصبی دارد.

مراجع

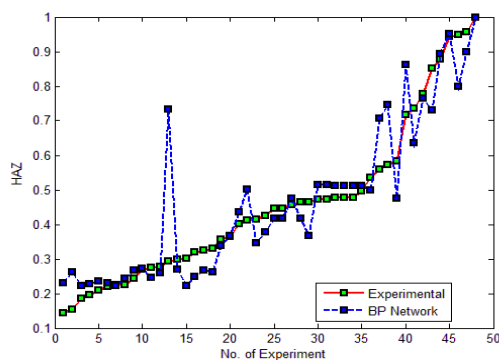
- 1- کلاوسیورگن ماتس، ارهارت ریشتر، مترجم: مهندس محمد نصیری نیا، تکنیک جوشکاری همراه با علائم، استاندارد اتصالات جوش، چاپ اول، ناشر: اندیشیاریان، 1384
- 2- نجم سهیلی پویا، نجم سهیلی فرزاد، تکنولوژی روشهای جوشکاری، چاپ اول، ناشر: فدک ایستاتیس، 1391
- 3- S. Penttila, P. Kah, J. Ratava, H. Eskelinen, Artificial Neural Network Controlled GMAW System: Penetration and Quality Assurance in a Multi-Pass Butt



شکل 7- تحلیل رگرسیون مقادیر واقعی و مقادیر حاصل از مدل شبکه عصبی، داده های آموزشی، داده های ارزیابی، داده های تست برای ارتفاع گرده (BH)

مدل سازی شبکه عصبی برای عرض ناحیه حرارت دیده

بهترین شبکه عصبی توسعه یافته جهت مدل سازی برای HAZ دارای معماری 4-2-9-5 یعنی یک لایه ورودی و خروجی و دو لایه مخفی که به ترتیب دارای 9 و 2 نرون می باشد. در میان 48 داده آزمایش، بیشترین درصد خطای نسبی پیش بینی برای این شبکه برابر با 0.03 در حالی که کمترین خطا از 0.002 کمتر و میانگین خطاهای نسبی برابر 1.04 است.



شکل 8- مقایسه نتایج پیش بینی بهترین شبکه عصبی عرض ناحیه HAZ

شکل 9 عملکرد فرایند آموزش داده ها را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، مقادیر شیب و عرض از مبدأ معادلات رگرسیون خطی هم برای داده های آموزش، و داده های تست و ارزیابی به ترتیب به مقادیر 0 و 1 بسیار نزدیک است که این امر نشان می دهد شبکه عصبی به خوبی آموزش دیده است. همچنین مقدار ضریب همبستگی برای داده های آموزشی برابر 0.96 و برای داده های آزمون برابر 0.7 است.



Weld Application, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019
4-C. J. Barclay, S. W. Campbell, A. M. Galloway, N. A. McPherson, Artificial neural network prediction of weld distortion rectification using a travelling induction coil, Int J Adv Manuf Technol (2013) 68:127–140
5-H. Ates, Prediction of gas metal arc welding parameters based on artificial neural networks, Materials and Design 28 (2007) 2015–2023
6-P. S. Sivasakthivel, R. Sudhakaran, Modelling and optimisation of welding parameters for multiple objectives in pre-heated gas metal arc welding process using nature instigated algorithms, Australian Journal of Mechanical Engineering, ISSN: 1448-4846, 2018