



ICME2016-02410149

مدل سازی اعوجاج زاویه‌ای در جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود تنگستن و گاز محافظ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فرهاد کلاهان^۱، علی افشاری طبسی^۲، محمد مهدی تفرج^۳، مسلم نجفی بیرگانی^۴

^۱دانشگاه فردوسی مشهد، دانشیار، kolahan@um.ac.ir

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، دانشجوی کارشناسی ارشد، afshariali.tabasi@gmail.com

^۳دانشگاه فردوسی مشهد، دانشجوی دکتری، tafarroj@stu.am.ac.ir

^۴دانشگاه فردوسی مشهد، کارشناس ارشد، mnbn66@gmail.com

چکیده

پیچیدگی یا اعوجاج که منجر به تغییر ابعادی قطعه می‌شود، یکی از مشکلاتی است که در حین عملیات جوشکاری ایجاد می‌شود که به دلیل عدم زمان کافی برای توزیع یکنواخت بار حرارتی به موضع جوش و سرد شدن سریع محل جوش، انقباض و انقباض قطعه به طور غیریکنواخت و شدیداً غیرخطی صورت می‌گیرد. حال اگر این انقباض در محلی باشد که از نظر هندسی قطعه زاویه‌دار شود اعوجاج زاویه‌ای^۱ به وجود می‌آید. در شکل ۱ نمونه‌ای از اعوجاج زاویه‌ای نشان داده شده است.

جوشکاری یکی از روش‌های اتصال دائم قطعات است که در آن قطعات در اثر حرارت شدیداً غیریکنواخت، اغلب دچار پیچیدگی یا اعوجاج می‌شوند. با توجه به اینکه در صنعت نیاز است که قطعات تولیدی از دقت ابعادی و کیفیت بالایی برخوردار باشند، باید سعی شود این عیب تا حد زیادی برطرف گردد. به وجود آمدن این عیب ارتباط بسیار زیادی با پارامترهای تنظیمی جوشکاری دارد. در این مقاله اعوجاج‌های ناشی از جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود تنگستن و گاز محافظ مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌سازی فرایند با استفاده از روش تاگوچی و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با پس انتشار خطا صورت گرفته است. مشاهده شد که شبکه آموزش داده شده با دقت نسبتاً بالایی مقادیر اعوجاج‌های زاویه‌ای را با توجه به پارامترهای ورودی درست پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی

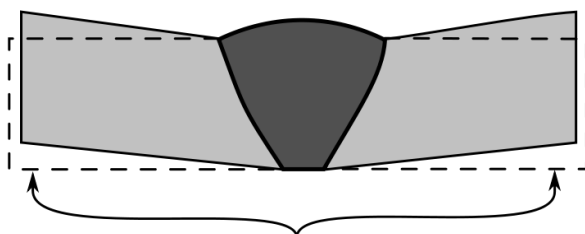
اعوجاج زاویه‌ای، تیگ، تاگوچی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

با توجه به اینکه ابعاد هندسی و دقت ابعادی قطعات در صنعت اهمیت بسیار زیادی دارند، باید به دنبال راهکارهایی بود که به توان این معایب و اعوجاج‌ها را پیش‌بینی و به حداقل رساند که در این زمینه تحقیقات بسیاری در دهه اخیر انجام شده است که به تعدادی از آن‌ها را می‌توان اشاره کرد. در زمینه نحوه به وجود آمدن انواع اعوجاج در تولید قطعات دنگ و همکاران تحقیقاتی به صورت عددی و آزمایشگاهی انجام داده‌اند [۴-۷].

جوشکاری عبارت است از اتصال دو قطعه فلزی یا غیرفلزی، به یکدیگر در اثر عوامل خارجی مثل فشار و حرارت، که امروزه به صورت یک علم پیشرفته و مؤثر در خدمت صنایع درآمده است [۱].

از جمله مهم‌ترین مزایای جوشکاری می‌توان به قابلیت اطمینان بسیار بالا و کاهش هزینه‌های تولید اشاره کرد [۲]. در کنار این مزایا این روش معایبی نیز دارد مثل به وجود آمدن اعوجاج در قطعات، شرایط سخت‌کاری، گرمای زیاد، نور خیره‌کننده‌ی مضر برای چشم و آلودگی زیاد ناشی از عملیات جوشکاری [۳].

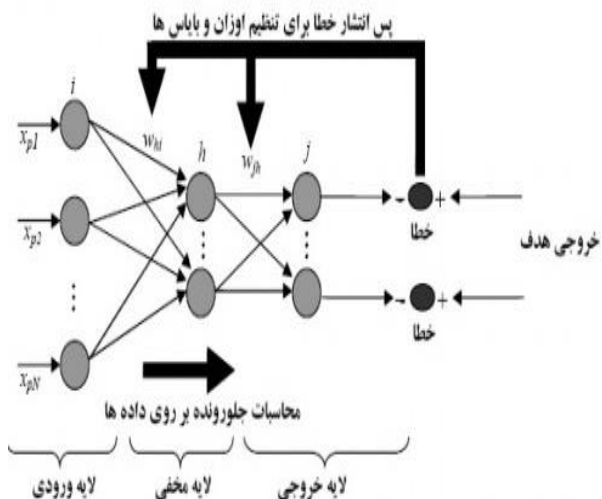


ORIGINAL SIZE

شکل ۱: اعوجاج زاویه‌ای

^۱ Angular Distortion

عملکرد شبکه‌ی عصبی رابطه‌ی مستقیم به تعداد لایه‌های پنهان و تعداد گره‌های موجود در لایه پنهان دارد. بنابراین، باید تلاش زیادی برای انتخاب ساختار بهینه شبکه عصبی با تغییر در تعداد لایه های پنهان و در نتیجه تعداد گره‌های هر لایه انجام داد. ساختار مناسب شبکه عصبی برای پیش‌بینی خروجی مورد نظر که در واقع محاسبه و پیش‌بینی مقدار اعوجاج زاویه‌ای است معمولاً از طریق آزمون و خطا انتخاب می‌شود. نوع کامل تری از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، شبکه پرسپترون چندلایه^۹ با پس انتشار خطا^{۱۰} است. در این شبکه ابتدا یک سیگنال ورودی به شبکه داده می‌شود که در نهایت پس از حل و رسیدن به جواب ابتدایی با توجه به میزان خطایی که در انتها حاصل شده و با استفاده از قانون دلتا^{۱۱} مقادیر تغییر وزن‌ها تعیین می‌شود و به‌عنوان یک سیگنال تصحیح به صورت پس‌خور وارد شبکه می‌شود. برای آشنایی بیشتر با شبکه‌های عصبی و شبکه‌های پرسپترون منابع متنوع و متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مرجع [۱۲] اشاره کرد. در این مقاله از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با پس انتشار خطا استفاده شده است. در شکل‌شکل ۲ نمایی کلی از شبکه مذکور مشاهده می‌شود [۱۳].



شکل ۲: شبکه پرسپترون چندلایه با پس انتشار خطا [۱۳].

طرح آزمایش

محققان برای شناخت پدیده‌ها، آزمایش‌هایی را انجام می‌دهند تا حقیقتی را در مورد سیستم یا فرآیندی کشف کنند، انجام آزمایش همواره متضمن هزینه و زمان است از این رو برای یک پژوهشگر انجام آزمایش‌های مؤثر که با صرف حداقل هزینه و زمان بیش‌ترین اطلاعات را به دست بدهد اهمیت بالایی دارد. این هزینه و زمان انجام آزمایش‌ها هنگامی که تعداد عوامل افزایش پیدا کند، به صورت صعودی افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین به روشی نیاز است که در آن

لانگ و همکاران [۸] با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی عددی و تجربی تحقیقاتی به منظور بررسی انواع اعوجاج در مفصل جوش تعدادی از سازه‌های مهندسی انجام شده است.

سلیمان و همکاران [۹] با به‌کارگیری روش المان محدود^۱ و با استفاده از نرم‌افزار آباکوس^۲ تحقیقاتی به منظور پیش‌بینی اعوجاج‌های طولی، عرضی و زاویه‌ای در جوشکاری منیزیم با گاز محافظ انجام شده.

سنگ و چاوو [۱۰] به بررسی اعوجاج به وجود آمده در جوش لب‌به‌لب و T شکل در ورق‌های با ضخامت ۴ میلی‌متر با استفاده از روش حل عددی-حرارتی الاستیکی^۳ به همراه تعدادی از آزمایش‌ها برای صحت‌سنجی آزمایش‌های شبیه‌سازی نتایج پرداختند.

ستاری فر و جوادی [۱۱] به بررسی تأثیر افزودن گاز نیتروژن به گاز آرگون جهت محافظت از حوضچه مذاب بر روی قطعه‌ای از جنس فولاد ضد زنگ آستنیتی^۴ ۳۰۴ و ۳۱۰ در جوشکاری تیگ^۵ پرداختند که طبق نتایج آزمایش با افزایش گاز نیتروژن مقدار اعوجاج زاویه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

شبکه‌های عصبی پرسپترون

یکی از مهم‌ترین انواع شبکه‌های عصبی که در مهندسی جایگاه خاصی دارد و از کاربردی‌ترین شبکه‌ها به شمار می‌رود، شبکه‌های پرسپترون هستند. این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلول‌های عصبی، یک نگاشت غیرخطی را به‌دقت انجام دهند. در شبکه‌های چندلایه، لایه‌ها به ترتیب به هم متصل می‌شوند به گونه‌ای که خروجی‌های لایه اول، که ورودی‌های لایه دوم است و خروجی‌های لایه آخر خروجی‌های اصلی و پاسخ واقعی شبکه را تشکیل می‌دهند. به عبارتی دیگر جریان سیگنال شبکه در یک مسیر پیش‌خور^۶ صورت می‌گیرد که از لایه ورودی شروع شده و به لایه خروجی ختم می‌گردد.

تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان^۷ بستگی به نظر طراح شبکه دارد و با سعی و خطابه دست می‌آید. در صورت کافی نبودن تعداد نرون‌ها^۸، شبکه قادر نخواهد بود نگاشت دقیقی بین بردارهای ورودی و خروجی ایجاد کند که در خروجی هر نرون از شبکه عصبی پرسپترون^۹ چند لایه 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.

- 1 Finite Element
- 2 ABAQUS
- 3 Linear Thermal Elastic Numerical Method
- 4 Gas Tungsten Arc Welding
- 5 Feed Forward
- 6 Hidden Layer
- 7 Neurons
- 8 Perceptron Neural Network

9 Multi-Layer Perceptron (MLP)

10 Error Back Propagation

11 Delta Rule

۱۵	۲/۴	۱۴/۵	۸۰	۳
۱۶	۲/۴	۱۱	۹۰	۲
۱۷	۲/۴	۱۳/۳	۹۰	۲,۵
۱۸	۲/۴	۱۴/۵	۹۰	۳

انجام آزمایش‌ها و تعیین نتایج

برای این کار دستگاه جوش ساخت شرکت گام الکترونیک مدل PSQ 250 AC/DC مورد استفاده قرار گرفته و تنظیمات مورد نظر بر روی آن انجام می‌گیرد و آزمایش‌های مورد نظر انجام داده شد و مقادیر اعوجاج زاویه‌ای در هر قطعه را مطابق جدول ۳ ثبت گردید.

جدول ۳: مقادیر اعوجاج زاویه‌ای در هر قطعه

شماره آزمایش	اعوجاج زاویه‌ای
۱	۶,۴۴
۲	۶,۲۰
۳	۵,۷۱
۴	۷,۵۲
۵	۶,۳۱
۶	۶,۸۲
۷	۶,۸۷
۸	۶,۵۳
.	.
.	.
.	.
.	.
۱۴	۵/۶۵
۱۵	۵/۶۴
۱۶	۶/۸۱
۱۷	۶/۰۱
۱۸	۵/۷۰

پارامترهای ورودی به عنوان ماتریس ورودی^۳ شبکه و مقادیر اعوجاج به عنوان ماتریس هدف^۴ برای شبکه تعریف می‌گردد. برای اعتبارسنجی^۵ نتایج، تعدادی از آزمایش‌ها را به همراه خروجی مربوطه از ماتریس ورودی و خروجی جدا شده که در این مقاله آزمایش‌های ۱۲، ۲، ۵ و ۹ انتخاب شده‌اند و عملکرد شبکه با این داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

بتوان با صرف حداقل هزینه و زمان، به بیش‌ترین اطلاعات در مورد فرآیند دست پیدا کرد، نتیجه‌گیری‌های منطقی ارائه کرد و مدارک مستند در خصوص فرآیند به دست آورد. روشی که به بهترین شکل اهداف ذکر شده را برآورده می‌سازد، طراحی آزمایش‌ها نام دارد در طراحی آزمایش‌ها^۱ مدل‌ها و روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان برای آشنایی هرچه بیشتر با آن روش‌ها از مرجع ذکر شده استفاده نمود [۱۴]. در این تحقیق از روش تاگوچی^۲ استفاده شده که ورودی این آزمایش، پارامتر تنظیمی شدت جریان جوشکاری، سرعت جوشکاری، گپ و قطر الکتروود جوشکاری است که سطوح این پارامترها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: جدول پارامترها و سطوح آزمایش‌ها

پارامتر	نماد	سطح پایین	سطح وسط	سطح بالا
شدت جریان (A)	C	70	80	90
سرعت (mm/s)	S	11	13/3	14/5
گپ (mm)	G	2	2/5	3
قطر الکتروود (mm)	D	1/6	2/4	

با توجه به روش تاگوچی ۱۸ طرح آزمایش مطابق جدول ۲ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲: طرح آزمایش تاگوچی L18

شماره آزمایش	قطر الکتروود	سرعت	شدت جریان	گپ
۱	۱/۶	۱۱	۷۰	۲
۲	۱/۶	۱۳/۳	۷۰	۲/۵
۳	۱/۶	۱۴/۵	۷۰	۳
۴	۱/۶	۱۱	۸۰	۲
۵	۱/۶	۱۳/۳	۸۰	۲/۵
۶	۱/۶	۱۴/۵	۸۰	۳
۷	۱/۶	۱۱	۹۰	۲
۸	۱/۶	۱۳/۳	۹۰	۲/۵
۹	۱/۶	۱۴/۵	۹۰	۳
۱۰	۲/۴	۱۱	۷۰	۲
۱۱	۲/۴	۱۳/۳	۷۰	۲/۵
۱۲	۲/۴	۱۴/۵	۷۰	۳
۱۳	۲/۴	۱۱	۸۰	۲
۱۴	۲/۴	۱۳/۳	۸۰	۲,۵

³ Input

⁴ Target

⁵ Validation

¹ Design Of Expert

² Taguchi Method

$$E_9 = \frac{6.2926 - 5.77}{5.77} = 0.09 \quad (4)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، خطای شبکه‌ی آموزش داده‌شده به ازای داده‌های تست، در محدوده‌ی بسیار خوبی بوده و به عبارت بهتر، شبکه‌ی بکار گرفته‌شده با دقت بسیار خوبی توانسته است خروجی مرتبط با ورودی‌های ناشناخته را پیش‌بینی نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این پژوهش، مقادیر اعوجاج‌های زاویه‌ای قطعات در جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود تنگستنی و گاز محافظ توسط شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با پس انتشار خطا مدل‌سازی شد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده، کمترین خطا ۷/۴٪ و بیش‌ترین خطا ۱۱/۴٪ و میانگین خطای نسبی شبکه حدود برای چهار نمونه‌ی تست ۸ درصد است. نتایج نمایانگر این است که شبکه قادر است یا دقت نسبتاً بالایی (به طور میانگین در حدود ۲۹٪) اعوجاج‌ها را درست پیش‌بینی کند. البته، همواره در کارهای آزمایشگاهی، خطای اپراتور، اندازه‌گیری، عوامل محیطی و غیره وجود دارند.

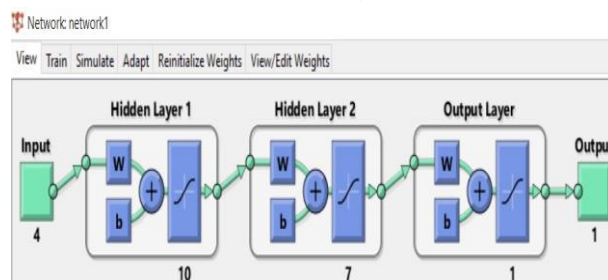
یکی دیگر از مزایای استفاده از شبکه عصبی، کاهش هزینه‌های ناشی از انجام آزمایش‌های متعدد، راه‌اندازی و تنظیمات اولیه، اپراتور، کاهش مصرف مواد اولیه، کاهش هزینه‌های مربوط به انجام آزمون‌های کنترل کیفیت می‌شود که در نهایت کیفیت قطعات تولیدی بالا می‌رود و همواره می‌توان قبل از انجام عملیات پیش‌بینی دقیقی از خروجی عملیات در دست داشت.

می‌توان پارامترهای دیگری مثل انواع اعوجاج‌ها، هندسه مهره جوش و غیره را نیز توسط این روش مدل‌سازی کرد.

مراجع

- [۱] امیرحسین، کوکی. (۱۳۹۲). تکنولوژی جوشکاری (چاپ نهم)، تهران: آزاده: جامعه ریخته‌گران ایران.
- [2] Tian, L. et al. (2014). "Prediction of transverse and angular distortions of gas tungsten arc bead-on-plate welding using artificial neural network. *Materials & Design* (1980-2015) 54: 458-472.
- [3] Park, J.U. et al. (2012). "Effect of external load on angular distortion in fillet welding." *Materials & Design* 42: 403-410.
- [4] Deng, D. et al. (2007). "Determination of welding deformation in fillet-welded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements." *Journal of Materials Processing Technology* 183(2-3): 219-225.
- [5] Deng, D. et al. (2008). "Prediction of welding distortion in a curved plate structure by means of elastic finite element method." *Journal of Materials Processing Technology* 203(1-3): 252-266.

شبکه عصبی با استفاده از نوار ابزار مربوطه در نرم‌افزار متلب^۱ و پس از تعیین پارامترها و شروط توقف، نوع شبکه (پرسپترون چند لایه با پس انتشار خطا)، بردارهای ورودی و خروجی، تابع آموزش^۲ (تابع آموزشی لئونبرگ-مارکواریت)^۳، تابع یادگیری، نوع اندازه‌گیری خطای شبکه (میانگین مربعات خطا)^۴، تعداد لایه‌ها شامل لایه مخفی و خروجی، تعداد نرون‌های هر لایه و نوع تابع تبدیل ایجاد می‌گردد. همان‌طور که در مشاهده می‌شود شبکه‌ای با دولایه مخفی با ۱۰ نرون در لایه اول و ۷ نرون در لایه دوم در نظر گرفته شده است.



شکل ۳ تعداد لایه‌ها و نرون‌ها

خروجی شبکه‌ی عصبی آموزش داده‌شده به ازای داده‌های تست در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مقادیر پیش‌بینی شبکه و مقادیر اندازه‌گیری شده

مقدار اندازه‌گیری شده	مقادیر پیش‌بینی شده در شبکه	آزمایش
۴/۸۳	۵/۱۸۸	۱۲
۵/۷۳	۴/۸۳۹۱	۲
۶/۳۱	۷/۰۳۵	۵
۵/۷۷	۶/۲۹۲۶	۹

با توجه به جدول فوق مقدار خطای نسبی شبکه به صورت زیر توسط معادلات محاسبه می‌شود.

$$E_{12} = \frac{5.73 - 6.20}{6.20} = 0.074 \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{5.73 - 6.20}{6.20} = 0.075 \quad (2)$$

$$E_5 = \frac{7.035 - 6.31}{6.31} = 0.114 \quad (3)$$

¹ MATLAB
² Training Function
³ Levenberg-Marquardt
⁴ Mean Square Error

- [6] Deng, D. et al. (2007). "Numerical simulation of welding distortion in large structures." *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 196(45-48): 4613-4627.
- [7] Deng, D. et al. (2010). "Investigations on welding distortion in an asymmetrical curved block by means of numerical simulation technology and experimental method." *Computational Materials Science* 48(1): 187-194.
- [8] Long, H. et al. (2009). "Prediction of welding distortion in butt joint of thin plates." *Materials & Design* 30(10): 4126-4135.
- [9] Sulaiman, M. S. et al. (2011). "Simulation and experimental study on distortion of butt and T-joints using WELD PLANNER." *Journal of Mechanical Science and Technology* 25(10): 2641-2646.
- [10] Tseng, K. H. and C. P. Chou (2003). "The study of nitrogen in argon gas on the angular distortion of austenitic stainless steel weldments." *Journal of Materials Processing Technology* 142(1): 139-144.
- [11] Sattari-Far, I. and Y. Javadi (2008). "Influence of welding sequence on welding distortions in pipes." *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 85(4): 265-274.
- [12] Fausett, L. V. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*, Prentice-Hall.
- [۱۳] ۱۳۸۸. عوامل مؤثر بر طرح اختلاط بتن غلتکی و تعیین پارامترهای آن (به همراه بررسی موردی). " دسترسی در تاریخ ۹۵/۱۰/۶ در <http://1001daneshjo.ir/> عوامل-مؤثر-بر-طرح-اختلاط-بتن-غلتکی-و-تعی./
- [14] Montgomery, D. C. (2000). *Design and Analysis of Experiments*, Wiley.