



شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در جوشکاری

حمید پورآسیایی^۱، حسن ثقفیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته شناسایی و انتخاب مواد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

مدل‌های ریاضی بسیاری برای کنترل کیفیت، راندمان، ریزساختار، خواص مکانیکی و عیوب جوش توسعه یافته‌اند، ولی به دلیل رابطه غیرخطی و پیچیده موجود بین پارامترهای جوش و وابستگی آنها به نتایج تجربی خاص، در پیش‌بینی نتایج عملیات واقعی جوشکاری و انتخاب بهینه شرایط جوشکاری با مشکل مواجه بوده‌اند. در این مقاله شبکه‌های هوشمند عصبی به عنوان یک ابزار سودمند در مدل‌سازی روابط بین ورودی و خروجی‌های فرآیندهای جوشکاری به عنوان یک سیستم پیچیده مورد مطالعه قرار گرفته و به کاربردهای از قبیل تخمین چقرمگی، استحکام، نرخ سردشدن، ترک‌خوردگی گرم، پیش‌گویی ابعاد پاشنه جوش، کنترل نفوذ جوش در جوشکاری با الکتروتود تنگ‌سنجی (GTAW)، انتخاب پهنای بهینه درز جوش بر حسب پارامترهایی چون تعداد پاس، سرعت، جریان و ولتاژ جوشکاری در عملیات جوشکاری قوسی رباتیک (GMA)، مدل‌سازی اندازه متوسط دانه در جوشکاری آلیاژهای تیتانیوم و رابطه بین پارامترهایی چون سرعت جوشکاری و سرعت دورانی ابزار با خواص مکانیکی‌ای همچون استحکام کششی، استحکام تسلیم، میزان تغییر طول، سختی فلز جوش و سختی HAZ در جوشکاری اصطکاکی دورانی (FSW) پرداخته شده است.

۱- مقدمه

فرآوری و توسعه مواد امری پیچیده است، به طوری که حتی با اینکه تحقیقات علمی انجام شده بر روی مواد، کمک‌شایانی به درک پدیده‌های مرتبط نکرده است، مسائل و مشکلات زیادی در زمینه‌ی مباحث آماری و کمی به قوت خود باقی است. به عنوان مثال؛ با توجه به اینکه تئوری نابه‌جایی‌ها برای تخمین استحکام تسلیم یک ریزساختار مورد استفاده قرار می‌گیرد، هنوز روشی برای برآورد ضریب کرنش سختی یک آلیاژ مهندسی وجود ندارد. استحکام کششی، درصد تغییر طول نهایی، عمر خستگی، مقاومت خزشی و چقرمگی، پارامترهای مهم در طراحی مهندسی هستند که برآورد آنها به وسیله تئوری نابه‌جایی‌ها ناممکن می‌نماید. پارامترهای بیشتری را می‌توان در جدولی مشابه جدول شماره ۱ لیست نمود [۱].

شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های بسیار سودمندی در چنین مواردی به شمار می‌آیند. این گونه مدل‌ها نه تنها در مطالعه خواص مکانیکی کارآمد هستند، بلکه هر جا که پیچیدگی مساله به وسیله مفاهیم اساسی مرتبط با موضوع، بیشتر می‌شود و ساده‌سازی مساله، غیر قابل قبول می‌نماید نیز کاربرد دارند.

جوشکاری یکی از زمینه‌های اصلی مورد مطالعه در سیستم شبکه‌های عصبی مصنوعی است. تحقیقات انجام یافته در این زمینه عبارتند از: ردیابی درز جوش که داده‌های خروجی از

سنسورها به وسیله یک شبکه هوشمند به منظور کنترل ربات جوشکار مورد پردازش قرار می‌گیرد [۲]، پردازش اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط سنسورها در حین جوشکاری به منظور تعیین کیفیت جوش [۳ و ۴]، آشکارسازی و تشخیص عیوب جوش به وسیله تست مافوق صوت، تشعشع و یا سایر سیگنال‌ها [۵]، برآورد شکل گرده جوش شامل نفوذ، پهنای پارامترهای پاشنه جوش و غیره با استفاده از پارامترهای جوشکاری یا سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده [۶]، توسعه سیستم هوشمند عصبی برای پیش‌گویی پارامترهای فرآیند در جوشکاری قوسی رباتیک [۷]، برآورد چقرمگی و استحکام جوش‌های فولادی [۸]، برآورد خواص مکانیکی و نفوذ جوش در روش‌های جوشکاری با الکتروتود تنگ‌سنجی (GTAW) و جوشکاری اصطکاکی دورانی (FSW) و جوشکاری قوسی رباتیک (RGMAW) [۹]. لذا استفاده از شبکه‌های عصبی در کنترل و مانیتورینگ فرآیندهای جوشکاری به خوبی رواج یافته است.

جدول ۱- شماری از خواص مکانیکی که می‌بایست در مدل‌های کمی به عنوان تابعی از متغیرهای فراوان، بیان گردند

خاصیت	ارتباط
استحکام تسلیم	تمام کاربردهای سازه‌ای
استحکام کششی نهایی	تمام کاربردهای سازه‌ای
نسبت استحکام تسلیم به استحکام کششی	حد مجاز برای بارگذاری پلاستیکی
درصد تغییر طول	مقاومت در مقابل شکست ترد
تغییر طول یکنواخت	وابسته به استحکام تسلیم و استحکام کششی
تغییر طول غیریکنواخت	وابسته به آخال‌ها
چقرمگی	وابسته به عیوب ساختمانی
استحکام خزشی	کار در دماهای بالا
مدول الاستیک	انرژی ذخیره شده
انبساط حرارتی	خستگی، تنش و شوک حرارتی
سختی	خواص تریبولوژیکی

۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

انسان از دیرباز تلاش‌های بسیاری جهت ساخت ماشینی نموده است که بتواند همانند انسان فکر کرده، ادراک نموده و تصمیم بگیرد. در راستای نیل به این هدف شاخه‌ای از علم به نام هوش مصنوعی^۴ (AI) توسعه یافته است. ایجاد یک سیستم هوش مصنوعی که توانایی یادگیری، خلاقیت و انعطاف‌پذیری انسان را داشته باشد، هدف اصلی تحقیقات در ارتباط با هوش مصنوعی است. کوشش جهت تقلید این روند انسانی در گذشته همواره با فعالیت شدیدی روبه‌رو بوده است که امروزه با مطالعات عمیق و جهت‌دار توسط دانشگاه‌ها، مؤسسات و مراکز تحقیقاتی دنبال می‌شود. در طی این مدت، مدل‌های زیادی از سیستم بیولوژیکی هوش به دست آمده است که هدف هر یک از این مدل‌ها این بوده است که به گونه‌ای همانند مغز و سیستم عصبی انسان عمل نمایند. هوش محاسباتی^۵ (CI) یا محاسبات نرم^۶ (SC)، به معنای استخراج هوش، دانش، الگوریتم یا نگاهت از دل محاسبات عددی بر اساس ارائه پروژ داده‌های عددی می‌باشد. مولفه‌های مهم اساسی هوش محاسباتی که ریشه در هوش مصنوعی دارند، شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی (محاسبات نرونی)، منطق فازی (محاسبات تقریبی) و الگوریتم ژنتیک (محاسبات ژنتیکی) می‌باشند که هر یک به نوعی مغز انسان را الگو قرار می‌دهند. شبکه‌های عصبی؛ ارتباطات سیناپسی و ساختار نرونی، منطق فازی؛ استنتاجات تقریبی و الگوریتم‌های ژنتیک؛ محاسبات موتاسیونی مغز را مدل می‌کنند. مدل بیولوژیکی هوشمندی که در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرد، مدل شبکه عصبی مصنوعی است. این مدل از نمایش یک سلول عصبی انسانی (نرون) و فعل و انفعالات بین اعصاب، به عنوان اساس کار خود بهره می‌گیرد.

۲-۱- معرفی شبکه‌های عصبی مصنوعی

حرکت مستمری از تحقیقات صرفاً تئوری به سمت تحقیقات کاربردی، به ویژه در پردازش اطلاعات برای مسائلی که برای آنها راه‌حلی وجود ندارد و یا به راحتی قابل حل نیستند، صورت پذیرفته است. با توجه به این امر، علاقه روزافزونی در توسعه سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل‌آزاد که مبتنی بر داده‌های تجربی هستند، ایجاد شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۷ (ANN) که شبکه‌های عصبی شبیه‌سازی شده^۸ (SNN) و یا به طور معمول شبکه‌های عصبی^۹ (NN) نیز نامیده می‌شوند، جزء این دسته از سیستم‌های دینامیکی هستند که با پردازش داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ویرای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین خاطر به این سیستم‌ها، هوشمند می‌گویند؛ چراکه براساس





شکل ۴- شبکه پیشخور چند لایه

۳- کاربرد شبکه‌های عصبی در جوشکاری

شبکه‌های عصبی در مطالعه چقرمگی جوش های فولادهای فریتی، استحکام جوش های فولادی، سرعت سرمایش جوش، ترک گرم در جوشکاری، کنترل نفوذ جوش در جوشکاری با الکتروود تنگستنی، اندازه متوسط دانه در جوشکاری آلیاژهای تیتانیوم و کنترل نفوذ جوش در جوشکاری قوسی رباتیک کاربرد دارد که در اینجا به دو مورد اشاره می‌شود.

۳-۱- سرعت سرمایش جوش

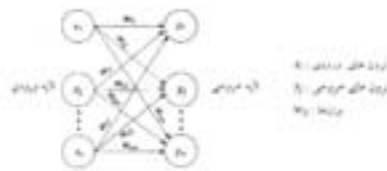
مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوش در محدوده دمایی ۵۰۰-۸۰۰ C سرد شود، پارامتر بسیار مهمی است که ریزساختار و خواص مکانیکی فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت (HAZ) مجاور جوش را تعیین می‌کند. برآوردهای تحلیلی در مورد مسائل انتقال حرارت نشان داده است که مدت زمان مذکور به میزان حرارت ورودی (یعنی جریان جوشکاری، ولتاژ، سرعت و راندمان حرارتی قوس)، دمای اولیه قطعه و ضخامت ورق (یعنی تعداد ابعاد انتقال حرارت) بستگی دارد. معادلات جداگانه‌ای برای انتقال حرارت دو بُعدی و سه بُعدی و ۲/۵ بُعدی مورد نیاز است.

Chan و همکارانش داده‌های حاصل از مدل فیزیکی Adams را مورد استفاده قرار داده و این داده‌ها را به منظور دستیابی به یک مدل واحد که پاسخگوی انتقال حرارت در همه تعداد ابعاد باشد، با یک مدل شبکه عصبی تلفیق نموده‌اند. آنها نشان داده‌اند که دقت حاصله در این حالت و با استفاده از شبکه‌های عصبی خیلی بالاتر از تقریب‌های انجام شده توسط معادلات تحلیلی استخراج شده از تئوری Adams می‌باشد. مشکلی که در این میان وجود دارد اینست که مدل شبکه عصبی مورد استفاده، مقادیر خطایی را که در واقع وابسته به انطباق موضعی می‌باشد، را به دست نمی‌دهد و لذا محدوده واقعی که در آن محدوده مدل قابل استفاده است، به وضوح مشخص نیست و میزان اعتبار آن به خصوص در مواقعی که نیاز به درون‌یابی و برونیابی در محدوده داده‌های آموزشی مدل می‌باشد، تعیین نگردیده است [۱۲].

اتصالات داخلی زیاد، برگرفته از ساختار قشر بیرونی مخ تعریف می‌شود. عموماً یک شبکه عصبی، یک مدل محاسباتی است که به صورت یک گراف جهت دار که از گره‌ها (که واحد یا نرون نیز نامیده می‌شوند) و اتصالات بین گره‌ها تشکیل شده است. رئوس گراف معرف نرون ها و یال های آن معرف اتصالات سیناپسی می‌باشند. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی وجود دارند که بر اساس مکانیسم یادگیری طبقه‌بندی می‌شوند، با این وجود در اینجا تنها به سه نوع کاملاً متفاوت از این شبکه‌ها اشاره می‌شود:

۲-۲-۱- شبکه پیشخور تک لایه^{۱۵}

این نوع شبکه دارای دو لایه می‌باشد؛ لایه ورودی و خروجی. نرون های لایه ورودی سیگنال های ورودی را دریافت نموده و نرون های لایه خروجی، سیگنال های خروجی را دریافت می‌کنند. اتصالات سیناپتیک وزن دار، هر نرون ورودی را به نرون خروجی متصل می‌کنند ولی اتصال معکوس در اینجا وجود ندارد. علی رغم اینکه این شبکه دارای دو لایه است ولی آن را تک لایه نامیده‌اند و این امر بدان دلیل است که تنها نرون های خروجی عمل محاسبه را انجام می‌دهند و نرون های ورودی صرفاً سیگنال ها را به لایه خروجی منتقل می‌کنند (شکل ۳).

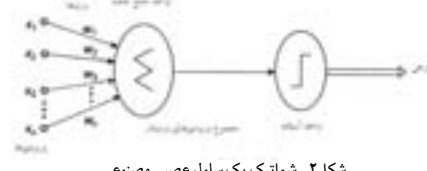


شکل ۳- شبکه پیشخور تک لایه

۲-۲-۲- شبکه پیشخور چند لایه^{۱۶}

این شبکه همان طور که از نام آن پیداست از چندین لایه تشکیل شده است. بنابراین معماری چنین شبکه‌هایی علاوه بر لایه‌های ورودی و خروجی شامل یک یا چند لایه میانی می‌باشد که لایه‌های مخفی^{۱۷} نامیده می‌شود. واحدهای محاسباتی لایه‌های مخفی را نرون‌های مخفی یا واحدهای مخفی می‌نامند. لایه مخفی قبل از اینکه ورودی را به خروجی منتقل کنند برخی از محاسبات میانی مفید را بر روی آنها انجام می‌دهد. شکل ۴ بیانگر این نوع شبکه است. تحقیقات نشان می‌دهد شبکه‌های بزرگ تر و پیچیده‌تر معمولاً قابلیت‌ها و توانایی‌های محاسباتی بیشتری را ارائه می‌کنند. ثابت شده است که شبکه‌های چند لایه قابلیت‌ها و توانایی‌های فراتر از شبکه‌های تک لایه دارند و در سال های اخیر الگوریتم‌های آموزشی برای آموزش آنها توسعه و بسط داده شده است.

نامیده می‌شود، تجاوز کند آنگاه نرون سیگنالی به نرون های دیگری که به آن متصلند، ارسال می‌کند. به روند تجاوز نمودن از حد آستانه فرستادن سیگنال، تحریک یا آتش نمودن اطلاق می‌شود. برای به دست آوردن حد آستانه سلول عصبی هر ورودی در وزن منظرش که بیانگر قدرت اتصالاتی است ضرب می‌شود، سپس همه این ورودی های وزن دار با یکدیگر جمع می‌شوند تا حد آستانه سلول عصبی را معین نمایند. در اینجا دسته‌ای از ورودی‌ها به صورت x_n که در آن $n = 1, 2, 3, \dots, n$ ، به سلول عصبی اعمال می‌شوند، این ورودی‌ها که در مجموع به عنوان یک بردار در نظر گرفته می‌شوند، مشابه علامتی هستند که به سیناپس های سلول عصبی فرستاده می‌شوند. هر سیگنال قبل از اینکه به واحد جمع‌کننده که در شکل ۲ با علامت نشان داده شده است، اعمال شود، در وزن مربوطه اش ضرب می‌شود. واحد جمع‌کننده که شباهت خیلی کمی به سلول بیولوژیکی دارد، همه ورودی‌های وزن دار را به صورت جبری جمع و خروجی را تولید می‌کند. برای تولید خروجی نهایی، این مجموع بایستی از یک فیلتر غیرخطی ϕ که تابع تحریک^{۱۸}، یا تابع تبدیل^{۱۹} و یا تابع فشرده‌ساز^{۲۰} نیز نامیده می‌شود، عبور داده شود تا خروجی به دست آید.



شکل ۲- شمای یک سلول عصبی مصنوعی

از متداول ترین توابع تحریک به کار رفته، تابع آستانه‌ای می‌باشد. در این حالت مجموع با مقدار θ که آستانه نامیده می‌شود، مقایسه می‌گردد؛ هر گاه مقدار I بیشتر از θ باشد، خروجی یک و در غیر این صورت خروجی صفر است. یعنی:

$$y = \phi \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \right)$$

که ϕ تابع پله‌ای معروف به تابع هوی‌ساید است، به طوری که:

$$\phi(I) = \begin{cases} 1 & I > 0 \\ 0 & I \leq 0 \end{cases}$$

علاوه بر توابع آستانه‌ای از توابع تحریک دیگری چون توابع S شکل (هلالی)، تانژانت هیپربولیک و یا دیگر توابع غیرخطی، توابع خطی قطعه‌ای و توابع پله‌ای نیز استفاده می‌شود [۱۰].

۲-۲-۲- معماری شبکه‌های عصبی

یک شبکه عصبی به صورت یک سیستم پردازش اطلاعات، شامل مقدار زیادی از عناصر پردازنده ساده (نرون های مصنوعی) با

محاسبات روی داده‌های عددی، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. این سیستم‌های مبتنی بر هوش محاسباتی سعی در مدل‌سازی ساختار نرو - سیناپتیکی مغز دارند.

شبکه‌های هوشمند عصبی که به عنوان یک انفجار بزرگ در طی چند دهه اخیر مطرح شده‌اند، به طور موفقیت‌آمیزی در حل گستره بسیار وسیعی از مسائل مهندسی، پزشکی، امور مالی و اقتصادی، زمین‌شناسی، فیزیک و غیره کاربرد یافته‌اند. در واقع هر جاکه مسأله برآورد، پیش گویی، طبقه‌بندی و یا کنترل لازم بوده، شبکه‌های عصبی به نوعی در آنجا مطرح شده‌اند.

مغز انسان عضو پیچیده‌ای است که در حالت کلی درک خیلی ضعیفی از آن وجود دارد. با این وجود مفهوم نرون که عنصر بنیادی سازنده مغز است، مطالعه کار آن را نسبتاً آسان نموده است. مغز انسان از 10^{11} واحد اساسی به نام نرون تشکیل شده است که هر نرون، خود به 10^4 نرون دیگر متصل می‌باشد. یک نرون سلول کوچکی است که سیگنال های الکتروشیمیایی را از منابع مختلف دریافت نموده و پاسخ خود را به صورت ایمپالس های الکتریکی به دیگر نرون ها انتقال می‌دهد.

یک سلول عصبی مصنوعی که گره^{۲۱} نیز نامیده می‌شود، بخش اساسی یک شبکه عصبی مصنوعی است. نرون های مصنوعی در واقع یک نوع شبیه‌سازی از نرون های زیستی می‌باشند که معمولاً توابعی هستند که از فضای چندبُعدی به فضای یک‌بُعدی تعریف می‌شوند. این نرون ها یک یا چند ورودی را دریافت نموده و در وزن متناظرشان ضرب کرده و با هم جمع می‌کنند تا خروجی حاصل گردد. سلول های عصبی مصنوعی به منظور تولید خصوصیات مرتبه اول سلول عصبی بیولوژیکی (زیستی) طراحی شده‌اند و در واقع هر بخش از سلول عصبی مصنوعی متناظر با یک بخش از سلول عصبی بیولوژیکی است.



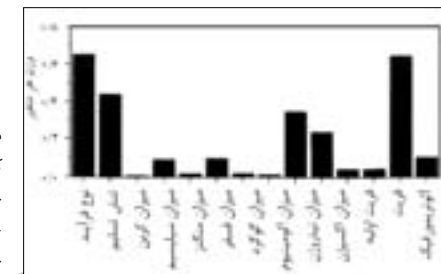
شکل ۱- شمای یک مدل عصبی Mc-Pitts.

اولین مدل واقعی از یک سلول عصبی واحد که توسط سخت‌افزار یا نرم‌افزار کامپیوتری شبیه‌سازی شده بود، توسط Mc-Culloch و Pitts ایجاد گردید که به عنوان مدل عصبی Mc-Pitts شناخته شد. این مدل در شکل ۱ آورده شده است. نرون Mc-Pitts سیگنال های ورودی بازدارنده را به عنوان مقادیر منفی و سیگنال های تحریک‌کننده را به عنوان مقادیر مثبت قبول می‌نماید. سپس مقادیر مثبت و منفی را جمع می‌کند؛ اگر مجموع از مقداری که حد آستانه^{۲۲}



۳-۲- چقرمگی جوش های فولادهای فریتی

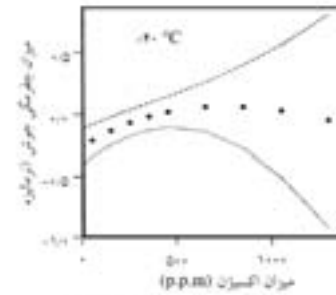
چقرمگی جوش های فولادهای فریتی با استفاده از شبکه‌های عصبی مورد مطالعه قرار گرفته است. چقرمگی حاصل از تست شارپی به عنوان تابعی از فرآیند جوشکاری (جوشکاری قوسی دستی یا جوشکاری زیر آب)، ترکیب شیمیایی (درصد عناصر C، Mn، Si، Al، P، S، O، N)، دمای آزمایش و ریزساختار (اولیه، ثانویه، فریت آلتریمورفیک، فریت ویدمن اشتانتن و فریت سوزنی) در نظر گرفته شده است. وجود آخال در ریزساختار، تعداد داده‌های موجود برای آنالیز را به شدت محدود کرده است. به همین دلیل نتایج معدودی در مقالات گزارش گردیده است. با این وجود هدف از تجزیه و تحلیل‌ها این بوده است که نحوه وابستگی چقرمگی جوش به ریزساختار تعیین گردد. فرآیند جوشکاری در آنالیزهای انجام گرفته، به وسیله اعداد صفر و یک به ترتیب برای جوشکاری دستی و جوشکاری در زیر آب متمایز شده‌اند. شکل ۵ اهمیت و تاثیر داده‌های ورودی موثر در چقرمگی جوش، برآورد شده به وسیله شبکه عصبی را نشان می‌دهد. طبق انتظار، عمده‌ترین تاثیر را نوع فرآیند دارد، به طوری که جوشکاری در زیر آب کیفیت پایین‌تری در مقایسه با جوشکاری قوس با الکتروود دستی دارد. استحکام تسلیم نیز تاثیر مهمی دارد؛ مشاهده گردیده است که افزایش استحکام تسلیم منجر به کاهش در میزان چقرمگی می‌گردد. هم چنین با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت که میزان فریت سوزنی نیز به طور گسترده‌ای در چقرمگی جوش تاثیرگذار است. همان‌طور که نتایج تجربی نیز این موضوع را اثبات می‌کند، نیتروژن هم تاثیر زیادی بر روی چقرمگی جوش دارد.



شکل ۵- نمودار میله‌ای نشان‌دهنده وزن متغیرهای ورودی موثر در مقدار چقرمگی جوش.

با توجه به شکل ۵ نباید تعجب کرد که چرا کربن تاثیر ناچیزی بر چقرمگی دارد، چرا که کربن با تاثیر بر روی استحکام و ریزساختار حاصله به طور ضمنی در چقرمگی موثر است. اکسیژن هم تاثیر مثبت و هم تاثیر مخربی دارد؛ با کمک به جوانه‌زایی فریت های

سوزنی و تاثیر در شکست جوش با کمک به جوانه‌زایی اکسیدها. تاثیر غلظت اکسیژن در میزان چقرمگی جوش به همراه میزان خطای پیش گویی نرمالیزه شده بین ۱ ± از انحراف معیار در شکل ۶ آورده شده است. به وضوح مشخص است که برویایی در نواحی‌ای که داده‌ها در آن نواحی پراکنده و متفرق هستند، باعث بروز خطاهای زیادی می‌گردد. در داده‌های مورد استفاده در آموزش مدل چقرمگی جوش، غلظت اکسیژن ماکزیمی معادل با ۸۲۱ppm مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۷ نحوه تغییر چقرمگی جوش را به عنوان تابعی از غلظت منگنز و دمای انجام آزمایش نشان می‌دهد. با توجه به شکل واضح است که تاثیر دما در غلظت های زیاد منگنز، کمتر است؛ بدین معنی که تاثیر متقابل مابین میزان منگنز و دمای انجام تست وجود دارد، همان‌طور که از دیدگاه متالورژیکی هم انتظار می‌رود. این تاثیر متقابل به طور طبیعی به وسیله مدل تشخیص داده می‌شود.

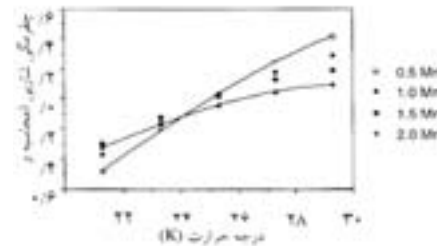


شکل ۶- تغییر میزان چقرمگی نرمالیزه شده به صورت تابعی از غلظت اکسیژن (در اینجا با ثابت نگهداشتن سایر ورودی‌ها، تنها میزان اکسیژن تغییر داده شده است.)

آنالیزهایی که بدون انجام آزمایشات مرتبط صورت می‌گیرند، معمولاً منجر به نتایج نادرستی می‌گردند، به خصوص در نواحی‌ای که روش شبکه‌های عصبی از شفافیت کمتری برخوردار است. به عنوان مثال Chan و همکارانش مدلی برای سختی منطقه متأثر از حرارت در جوش (HAZ) در جوش های فولادی به عنوان تابعی از غلظت کربن، کربن معادل (CE) و سرعت سرمایش در محدوده دمایی معینی ایجاد نموده‌اند. بعد از ایجاد مدل مذکور، مطالعات بعدی بر روی نحوه وابستگی سختی به هر کدام از پارامترهای اولیه انجام پذیرفت که آیا این ارتباط برای فولادهای کم کربن و فولادهای پرکربن متفاوت است یا خیر؟

مدل ارائه شده برای چقرمگی جوش مدل جامعی می‌باشد ولی برای کاربردهای عادی، غیرعملی و غیرقابل استفاده است؛ چرا که

ورودی‌های مدل مذکور شامل ریزساختار می‌باشد که پیشگویی و اندازه‌گیری آن امری پیچیده است. این مشکل با حذف ورودی‌های مربوط به ریزساختار و با استفاده از شرایط جوشکاری (جریان، ولتاژ، سرعت، دمای بین پاسی، راندامن قوس) که سرعت سرمایش جوش را تعیین می‌نمایند، قابل حل است. ریزساختار تابعی از سرعت سرمایش و ترکیب شیمیایی است (که اندازه‌گیری هر دو میسر می‌باشد)، لذا ابهام خاصی در این مدل وجود نخواهد داشت.



شکل ۷- تغییر میزان چقرمگی نرمالیزه شده جوش به صورت تابعی از میزان منگنز و دمای آزمایش.

پی‌نوشت

- ۱- Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)
- ۲- Friction Stir Welding (FSW)
- ۳- Robotic Gas Metal Arc Welding (RGMAW)
- ۴- Artificial Intelligence
- ۵- Computational Intelligence
- ۶- Soft Computing
- ۷- Artificial Neural Network
- ۸- Simulated Neural Network
- ۹- Neural Network
- ۱۰- Node
- ۱۱- Threshold Limit
- ۱۲- Activation Function
- ۱۳- Transfer Function
- ۱۴- Squash Function
- ۱۵- Single Layer Feed Forward Network
- ۱۶- Multi Layer Feed Forward Network
- ۱۷- Hidden Layers

مراجع و منابع

1. H.K.D.H. BHADESHIA, ISIJ International, Vol.39, No.10, 1999, pp. 966- 979.
2. H. Nam and S. V. Oh, Journal of Applied Intelligence, Vol.10, 1999, pp. 53- 70.
3. D.C. Lim and D.G. Gweon, Journal of Engineering Manufacturing, No. 213, 1999, pp. 51- 57.
4. T.K. Meng and C. Butler, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.13, 1997, pp. 666- 675.
5. W. Yi and I.S. Yun, KSME International Journal, Vol.12, 1998, pp. 1150- 1158.
6. J.D. Brown, M.G. Rodd and N.T. Williams, Iron and Steelmaking Journal, Vol.25, 1998, pp.199- 211.
7. J.A. Freeman, D.M. Shapura, Neural networks: algorithms, applications and programming techniques, New York, Addison- Wesley, 1991.
8. H.K.D.H. Bhadeshia, D.J.C. MacKay and L.E. Svensson, Material Science Technology, Vol.11, 1995, pp. 1046- 1055.
9. C.S. Wu, J.Q. Gao and Y.H. Zhao, Acta Metallurgica Sinica, Vol.19, No.1, 2006, pp. 27- 33.
10. Nikola K. Kasabov, Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Second Edition, 1998.
11. S. Rajasekaran, G.A. Vijayalakshmi Pai, Neural Networks, Fuzzy Logics, Genetic Algorithms, Synthesis and Applications, Prentice Hall of India, 2006.
12. B. Chan, M. Bibby and N. Holtz, Transactions of Canadian Society of Mechanical Engineering (CSME), Vol.20, 1996, pp. 75- 87.

