



انجمن مهندسی
ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



دانشگاه صنعتی
نوشیروانی بابل

مقاله کامل پوستر

کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم تبرید تدریجی در پیش‌بینی و بهینه‌سازی فرآیند پوشش‌زدایی فلزات با روش واترجت

امین اسماعیل‌زاده^۱، عبدالحمید خواجوی^۱، فرهاد کلاهان^{۲*}

^۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، kolahan@um.ac.ir

هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی فرآیند پوشش‌زدایی فلزات با روش واترجت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم تبرید تدریجی است. در این تحقیق، از شبکه عصبی پس‌انتشار به منظور پیش‌بینی نرخ حذف پوشش و تغییرات پارامترهای فرآیند استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم تبرید تدریجی می‌تواند به بهبود عملکرد فرآیند واترجت منجر شود. همچنین، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم تبرید تدریجی می‌تواند به بهبود عملکرد فرآیند واترجت منجر شود.

کلیدواژه‌ها: پوشش‌زدایی - فرآیند واترجت - شبکه عصبی - الگوریتم تبرید تدریجی - بهینه‌سازی



کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم تبرید تدریجی در پیش بینی و بهینه‌سازی فرآیند پوشش زدایی فلزات با روش واترجت

امین اسماعیل زاده^۱، عبدالحمید خواجوی^۱، فرهاد کلاهان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، kolahan@um.ac.ir

چکیده

فرآیند واترجت دارای کاربردهای متعدد صنعتی می‌باشد که از آنجمله می‌توان به پوشش زدایی با واترجت^۱ (WJCI) در تمیزکاری سطوح نام برد. در این تحقیق از شبکه عصبی پس انتشار بمنظور مدل‌سازی این فرآیند استفاده شده است. مدل‌سازی بکمک ۶۶ مجموعه از داده‌های تجربی در پوشش زدایی رنگ اپکسی از ورق‌های فولادی، انجام یافته است. متغیرهای ورودی مورد بررسی شامل سه پارامتر مهم فشار، فاصله نازل تا قطعه کار و سرعت حرکت جت می‌باشند. همچنین عرض پوشش زدایی، بعنوان شاخص اصلی ارزیابی فرآیند و متغیر خروجی در نظر گرفته شده است. متوسط خطای پیش‌بینی توسط شبکه عصبی کمتر از ۴/۵ درصد می‌باشد که مبین قابلیت مناسب روش پیشنهادی در پیش‌بینی فرآیند پوشش زدایی توسط واترجت است. در ادامه تحقیق، از الگوریتم تبرید تدریجی بمنظور تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی، استفاده شده است. در این راستا، مدل شبکه عصبی بمنظور تخمین خروجی‌های فرآیند در داخل الگوریتم تبرید تدریجی قرار گرفته و بهینه‌سازی بر اساس حداکثرسازی عرض برش انجام یافته است. نتایج محاسباتی این مرحله نیز نشان دهنده عملکرد بسیار خوب روش بهینه‌سازی پیشنهادی در حل مسئله مورد نظر است.

واژه‌های کلیدی: پوشش زدایی - فرآیند واترجت - شبکه عصبی - الگوریتم تبرید تدریجی - بهینه‌سازی.

۱- مقدمه

امروزه فرآیندهای مبتنی بر انرژی جنبشی واترجت دارای کاربردهای متعدد صنعتی است. این فرآیند با بهره‌گیری از تأثیرات فرسایشی یک جت آب با قطر کم و سرعت بالا بر روی مواد عمل می‌کند [۱]. فرآیند واترجت دارای مزایای بسیاری است که از آن جمله می‌توان به عدم تماس مستقیم ابزار با قطعه کار، عدم ایجاد تنش‌های پسماند مکانیکی و حرارتی، صافی سطح و دقت ابعادی بالا اشاره نمود. برخی از کاربردهای این روش شامل حفر تونل‌ها، پوشش برداری کابل‌ها، تمیزکاری و پوشش زدایی سطوح، ایجاد سوراخهای ریز و دقیق، برشکاری و سوراخکاری مدارهای چاپی و پلیسه‌گیری می‌باشد [۲ و ۳]. در میان طیف وسیع کاربردهای فرآیند واترجت، پوشش زدایی و تمیزکاری سطوح، بعنوان یکی از کاربردهای مهم و منحصر بفرد این روش، همواره مطرح بوده است. پوشش زدایی توسط انتقال انرژی جنبشی سیال تحت فشار (بعضاً به همراه ذرات ساینده) بر سطح قطعه کار، انجام می‌یابد. سرعت عملیات پوشش زدایی و کیفیت سطح حاصل، تحت تأثیر سطوح پارامترهای تنظیمی می‌باشند. پارامترهای مؤثر در پوشش زدایی شامل فشار جت آب، سرعت حرکت افقی نازل و فاصله نازل از قطعه کار است [۴-۶]. چگونگی انتخاب سطوح این پارامترها تأثیر بسزایی در سرعت (و هزینه) عملیات و همچنین کیفیت سطح نهایی قطعه دارد. بنابراین شناخت نوع و میزان تأثیر هر یک از پارامترهای تنظیمی کاملاً ضروری بنظر می‌رسد.

^۱. Water jet cleaning



تحقیقات بسیاری در مورد مدل سازی و پیش بینی عملکرد فرآیند پوشش زدایی و رنگ زدایی بوسیله واتر جت انجام یافته است. در این میان مدل های آماری مبتنی بر داده های تجربی بصورت گسترده ای در تعیین رابطه بین ورودی ها و خروجی های فرآیند بکار گرفته شده اند. لئو و همکارانش [۶] با استناد بر داده های تجربی و تحلیل رگرسیونی، مدل های آماری را بمنظور تعیین میزان تأثیر فاصله نازل تا قطعه کار، فشار جت و شعاع نازل ارائه نمودند. آنان همچنین رابطه ای را برای حداکثر سازی عرض پوشش زدایی بر حسب فاصله نازل تا قطعه کار، پیشنهاد نموده اند. در همین راستا، تکنولوژی هوش مصنوعی به همراه ابزارهایی نظیر منطق فازی و شبکه عصبی نیز برای بررسی این نوع مسائل پیچیده، بکار گرفته شده اند. بابتس و گسکین [۷] با استفاده از تکنیک شبکه عصبی و منطق فازی، مدل مربوط به فرآیند رنگ زدایی با استفاده از واتر جت را ارائه نمودند. دائومینگ و همکارانش [۸] از روش منطق فازی استفاده کردند تا بتوانند فرآیند پوشش زدایی از سطح جاده ها را با استفاده از آزمایشات تجربی مورد بررسی قرار دهند.

همانطور که اشاره شد، در فرآیند پوشش زدایی واتر جت کیفیت ماشینکاری به شدت تحت تأثیر پارامترهای تنظیمی می باشد. پارامترهای مختلفی به عنوان متغیرهای ورودی می بایست تنظیم شوند. دسته اول شامل پارامترهای وابسته فرآیند نظیر سرعت حرکت جت، فاصله نازل تا قطعه کار، تعداد پاس ها، فشار آب، زاویه نازل، نوع و قطر نازل و هندسه داخلی آن است. دسته دوم مشخصات پوشش دهی از جمله چسبندگی به سطح و استحکام پوشش می باشد [۹]. نحوه تأثیر هر یک از این پارامترها و انتخاب مناسب آنها، نقش مهمی در سرعت عملیات دارد، که معمولاً با معیار عرض پوشش زدایی اندازه گیری می شود. بنابراین، هدف از این تحقیق یافتن رابطه منطقی و دقیق بین ورودی ها و خروجی های فرآیند پوشش زدایی با واتر جت است. همانطور که گفته شد، از میان پارامترهای ورودی فشار، فاصله نازل تا قطعه کار و سرعت حرکت جت انتخاب شده اند. همچنین عرض پوشش زدایی به عنوان مشخصه خروجی فرآیند، در نظر گرفته شده است.

از آنجا که رابطه بین پارامترهای فرآیند و نتایج آن پیچیده و غیر خطی است، در این مقاله ابتدا به کمک داده های تجربی و تکنیک شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) مدل مناسبی برای فرآیند ارائه می شود. سپس نتایج حاصل از شبکه عصبی پیشنهادی با مقادیر تجربی مقایسه شده و صحت مدل ارزیابی می شود. در ادامه از الگوریتم تبرید تدریجی^۲ (SA) به منظور بهینه سازی پارامترهای مؤثر فرآیند استفاده خواهد شد.

۲- مدل سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

به دلیل پیچیدگی و غیر خطی بودن فرآیند واتر جت نمی توان با یک رابطه ریاضی تحلیلی و ساده، فرآیند را پیش بینی نمود [۱۰]. از این رو در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل کردن فرآیند واتر جت استفاده شده است. در این مرحله با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمایشات تجربی، یک شبکه عصبی پس انتشار^۳ (BP) معماری می شود تا بتوان به بهترین وجه، خروجی فرآیند را بر حسب ورودی های آن پیش بینی نمود. شبکه عصبی یک ساختار منطقی متشکل از چند لایه از نرون ها است که بوسیله وزنه هایی به یکدیگر متصل شده اند. این وزنه ها در شبکه پس انتشار با استفاده از روش سریع ترین کاهش گرادیان طوری تنظیم می شوند تا میانگین مربع خطاهای خروجی کمینه شود [۱۱].

تعداد ۵۶ مجموعه از داده های تجربی مورد استفاده در مدل سازی فرآیند در جدول ۱ ارائه شده است [۱۰]. این داده ها در مرحله اول، برای آموزش شبکه هایی با معماری های مختلف استفاده شد. پس از آن، ساختارهای مختلف شبکه عصبی (با

^۱ . Artificial Neural Network

^۲ . Simulated Annealing

^۳ . Backpropagation



انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران

ICME 2010

۱۰-۱۲ اسفند ماه ۱۳۸۸

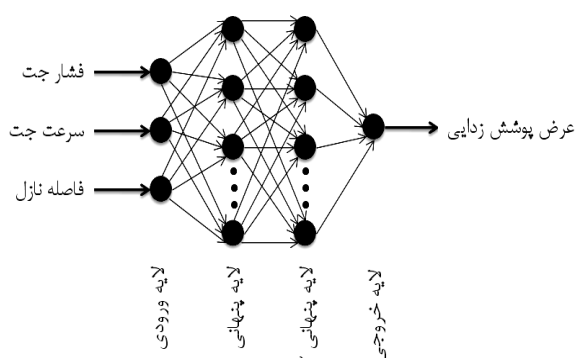
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



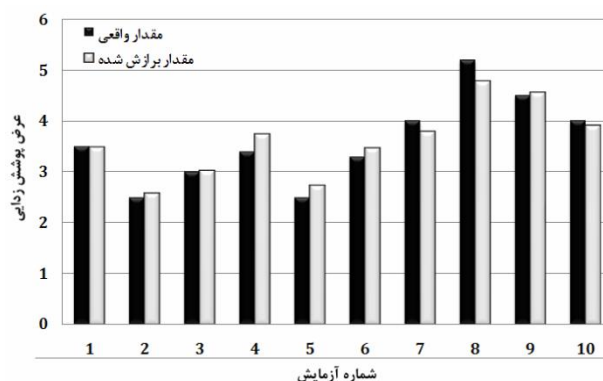
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تعداد لایه‌ها و نرون‌های متفاوت) توسط ۱۰ مجموعه از داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های مرحله تست در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

بهترین شبکه عصبی با یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی در شکل ۱ نشان داده شده است. تعداد نرون‌های هر لایه از این شبکه به ترتیب ۳، ۶، ۶ و ۱ می‌باشد. در شکل ۲ مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی پیشنهادی، مقایسه شده است.



شکل ۱ - معماری شبکه عصبی پیشنهادی



شکل ۲ - مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای بهترین معماری

جدول ۱ - داده‌های استفاده شده برای آموزش شبکه

شماره آزمایش	فشار جت آب (MPa)	سرعت حرکت جت (mm/s)	فاصله نازل تا قطعه کار (mm)	عرض پوشش زدایی (mm)
۱	۱۳۵	۸۰	۲۰	۲/۵
۲	۱۳۵	۸۰	۴۰	۳/۲
۳	۱۳۵	۸۰	۶۰	۳/۰
۴	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰
۲۷	۱۷۰	۱۲۰	۶۰	۳/۶
۲۸	۱۷۰	۱۲۰	۸۰	۴/۰
۲۹	۱۷۰	۱۶۰	۲۰	۲/۵
۳۰	۰	۰	۰	۰
۳۱	۰	۰	۰	۰
۳۲	۰	۰	۰	۰
۵۴	۲۰۵	۲۰۰	۲۰	۳/۵
۵۵	۲۰۵	۲۰۰	۴۰	۳/۶
۵۶	۲۰۵	۲۰۰	۶۰	۴/۲



جدول ۲- داده های استفاده شده برای تست شبکه

شماره آزمایش	فشار جت آب (MPa)	سرعت حرکت جت (mm/s)	فاصله نازل تا قصه کار (mm)	عرض پوشش زدایی (mm)
۱	۱۷۰	۱۲۰	۴۰	۳/۵
۲	۱۳۵	۱۶۰	۶۰	۲/۵
۳	۱۵۰	۱۴۰	۳۵	۳
۴	۱۵۰	۱۰۰	۲۵	۳/۴
۵	۱۳۵	۱۲۰	۴۰	۲/۵
۶	۱۷۰	۱۶۰	۶۰	۳/۳
۷	۱۹۰	۱۴۰	۲۵	۴
۸	۱۹۰	۱۰۰	۳۵	۵/۲
۹	۲۰۵	۱۲۰	۴۰	۴/۵
۱۰	۲۰۵	۲۰۰	۶۰	۴

با توجه به جدول ۳، شبکه پیشنهادی قادر است با خطای متوسط ۴/۴۴ درصد و حداکثر خطای ۹/۶۰ درصد، تخمین نسبتاً دقیقی از خروجی های فرآیند، به ازاء ورودی های مختلف، ارائه نماید.

جدول ۳- درصد خطای پیش بینی برای معماری شبکه عصبی

خطای میانگین	کمترین خطا	بیشترین خطا	معماری شبکه
۴/۴۴	۰/۲۲	۹/۶۰	۳-۶-۶-۱

۳- بهینه سازی با استفاده از الگوریتم تبرید تدریجی

مدل شبکه عصبی ارائه شده در این تحقیق قادر به تخمین عرض پوشش زدایی به ازاء مقادیر مشخصی از پارامترهای تنظیمی فرآیند است. با این حال در اکثر کاربردهای صنعتی هدف تعیین سطوح مناسب پارامترهای تنظیمی بمنظور کسب یک مقدار مطلوب از خروجی مورد نظر (در این مورد عرض پوشش زدایی) است. بنابراین در ادامه از روش بهینه سازی تبرید تدریجی بمنظور تنظیم پارامترهای فرآیند پوشش زدایی، در راستای افزایش عرض پوشش زدایی، استفاده می شود. الگوریتم تبرید تدریجی که بر اساس الگوی عملیات حرارتی آنیل کردن مواد طراحی شده است. در این روش با ایجاد تغییرات تدریجی و تصادفی در مقادیر متغیرهای مسئله و محاسبه خروجی آن، الگوریتم فضای جوابها را جستجو می نماید. در هر تکرار، یک همسایه جدید برای جواب فعلی تولید و ارزیابی می شود. احتمال حرکت به جواب جدید و قبول آن توسط رابطه بلتزمن (رابطه ۱) تعیین می گردد [۱۲].

$$p = \min \left\{ 1, \exp \left(- \frac{f(x_{nh}) - f(x_{el})}{KT_i} \right) \right\} \quad (1)$$

در این رابطه T_i دمای لحظه ای فرآیند، K ثابت تعدیل دهنده بلتزمن و $f(x)$ تابع شایستگی است. با افزایش تعداد تکرارها و کاهش تدریجی دمای الگوریتم، جواب به نقطه ای همگرا می شود که کمترین سطح انرژی (مقدار تابع هدف) را دارد. در این تحقیق مدل ایجاد شده توسط شبکه عصبی به عنوان تابع شایستگی (تابع سطح انرژی) برای برنامه نوشته شده در نرم افزار MATLAB[®] بکار برده شده است. پس از چندین اجرای الگوریتم، پارامترهای مناسب ورودی فرآیند به منظور حداکثر سازی عرض پوشش زدایی طبق جدول ۴ تعیین شده است.



جدول ۴ - مقادیر بهینه پارامترها با استفاده از الگوریتم تبرید تدریجی

عرض پوشش زدایی (mm)	فاصله نازل تا قطعه کار (mm)	سرعت حرکت جت (mm/s)	فشار جت آب (MPa)
۵/۳۴	۸۰	۱۰۰	۲۰۵

۴- نتیجه گیری

هدف از این تحقیق ارائه و پیاده‌سازی روش یک کارآمد بمنظور مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند پوشش زدایی توسط واترجت می‌باشد. در این ارتباط از داده‌های تجربی و شبکه عصبی پس انتشار بمنظور مدل‌سازی مسئله پوشش زدایی رنگ اپکسی از ورق فولادی استفاده شده است. در مجموع از ۵۶ داده آزمایشی برای آموزش شبکه عصبی استفاده گردید. چندین شبکه عصبی با ساختارهای مختلف ایجاد و قابلیت پیش بینی آنها با ۱۰ عدد آزمایش جداگانه بررسی شد. بهترین معماری شبکه برای این فرآیند بصورت ۱-۶-۳ می‌باشد که با خطای متوسط حدود ۴/۴۴ درصد قادر به پیش بینی فرآیند می‌باشد. مدل ارائه شده می‌تواند بعنوان جایگزین فرآیند واقعی در بررسی اثر پارامترهای تنظیمی مورد استفاده قرار گرفته و نیاز به انجام آزمایشات متعدد و پرهزینه را مرتفع سازد. در ادامه تحقیق از الگوریتم تبرید تدریجی برای تعیین سطوح بهینه پارامترهای فرآیند استفاده شد. رویکرد پیشنهادی قادر است، مقادیر مناسب پارامترهای فرآیند را بنحوی تعیین نماید تا حداکثر عرض پوشش زدایی توسط فرآیند واترجت، ایجاد شود. نتایج محاسباتی در هر مرحله مبین عملکرد بسیار مطلوب رویکردهای پیشنهادی در مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند واترجت مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که از این رویکرد می‌توان در مورد سایر روش‌های تولید نیز استفاده نمود.

مراجع

- Jain N. K., Jain V.K., Deb K., "Optimization of process parameters of mechanical type advanced machining processes using genetic algorithms", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, pp. 900-919, 2007.
- بنی مصطفی عرب ن.، فتحی س.، فریور ب.، فرآیند های پیشرفته ماشینکاری، چاپ اول، انتشارات آزاده، (۱۳۸۳).
- بیغال ف.، روشهای ماشینکاری مدرن، چاپ سوم، انتشارات طراح، (۱۳۸۰).
- Hashish M., "A model for abrasive waterjet machining", Trans. ASME, J. Eng. Mater. Technol. Vol. 111, pp. 154-162, 1989.
- Wilkins R.J., Graham E.E., "An erosion model for waterjet cutting", Trans. ASME, J. Eng. Ind. Vol. 115, pp. 57-61, 1993.
- Leu M.C., Meng P., Geskinand E.S., Tismeneskiy L., "Mathematical modeling and experimental verification of stationary waterjet cleaning process", Trans. ASME, J. Mfg. Sci. Engng. Vol. 120, pp. 571-579, 1998.
- Babets K., Geskin E.S., Chaudhuri B., "Neural network model of waterjet depainting process", in: Proc. 10th American Waterjet Conference, Houston, Texas, 14-17 August, p. 4, 1999.
- Dao-ming G.A.O., Jie C.H.E.N., Jun-bo L.U., "Fuzzy prediction and experimental verification of road surface cleaning rate by pure waterjets", J. Zhejiang Univ. Sci. 6A (10) pp.1115-1121, 2005.
- Jegaraj J.J.R., Babu N.R., "A strategy for efficient and quality cutting of materials with abrasive waterjets considering the variation in orifice and focusing nozzle diameter, International Journal of Machine Tools & Manufacture", Vol. 45, pp. 1443-1450, 2005.
- Daoming G., Jie C., "ANFIS for high-pressure waterjet cleaning prediction", Surface & Coatings Technology, Vol. 201, pp. 1629-1634, 2006.
- Hang M. T., Demuth B., M Beals, Neural Network Design, PWS Publishing co., Boston, 1996.
- Laarhoven, P.J.M., and Aarts, E.H.L., "Simulated annealing: Theory and applications", Kluwer Academic Publishers, 1998.