



بررسی تجربی فرآیند تراش کاری هیبریدی به کمک جت سیال پرفشار و بهینه سازی فرآیند با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی

سیداحسان میرمحمدصادقی^{۱*}، حسین امیرآبادی^۲

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

* بیرجند، صندوق پستی ۶۱۵/۹۷۱۷۵، emmsadeghi@birjand.ac.ir

چکیده

ماشین کاری هیبریدی به کمک جت سیال پرفشار یک روش موثر در بهبود شرایط ماشین کاری می باشد. امتیاز اصلی این روش تمرکز جت سیال برشی پرفشار در محل ماشین کاری و کاهش سطح تماس ابزار- براده می باشد. در این پژوهش به منظور اعمال جت سیال پرفشار از مجموعه ای از پمپ ها شامل پمپ و اترجت استفاده گردید. ابزارگیر ویژه ای نیز به همین منظور طراحی و ساخته شد. آزمایش ها به گونه ای طراحی گردید تا بررسی پارامترهای فرآیند شامل فشار جت سیال برشی، سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش امکان پذیر باشد. حین انجام آزمایش ها نیروهای ماشین کاری و زبری سطح اندازه گیری شد. نتایج وجود شرایط بهینه مربوط به مقدارهای کمینه نیرو و زبری سطح را در فرآیند ماشین کاری هیبریدی به کمک جت سیال پرفشار نشان می دهد. بنابراین نیاز به بهینه سازی پارامترهای فرآیند به منظور به کارگیری موثرتر این روش ماشین کاری هیبریدی وجود دارد. از شبکه عصبی با پیکربندی مناسب که توسط الگوریتم ژنتیک آموزش داده شده برای تعیین مدل پیشگوی فرآیند استفاده گردید. در نهایت الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه سازی پارامترهای فرآیند به کار گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که الگوریتم به کاررفته توانایی پیش بینی مقدارهای بهینه پارامترهای فرآیند با دقت مناسب را دارد.

کلید واژگان: ماشین کاری هیبریدی، جت سیال، شبکه عصبی، مدل پیشگو، الگوریتم ژنتیک

Experimental investigation of high pressure hybrid jet assisted turning and process optimization by genetic algorithm and neural network

Ehsan Mirmohammadsadeghi*, Hosein Amirabadi

Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

* P.O.B. 615/97175 Birjand, Iran, emmsadeghi@birjand.ac.ir

ABSTRACT

High pressure hybrid jet assisted machining is an efficient method to improve the machining conditions. The significant advantage of this method is concentration of high pressure fluid on machining zone and reduction in tool-chip interface. In this research, a collection of pumps and water jet pump was used in order to supply a high pressure jet. A specific tool holder was designed and manufactured. Experiments were designed to investigate the process parameters such as jet pressure, cutting speed, feed rate and depth of cut. During the experiments, the cutting forces and surface roughness were measured. Results showed the existence of the optimum conditions of the minimum cutting force and surface roughness in hybrid jet assisted machining. Thus, the optimization of process parameters is necessary in order to use hybrid machining more efficiently. A neural network with suitable topology was utilized which was trained by genetic algorithm to obtain the predictive model. Ultimately, genetic algorithm was applied to optimize process parameters. Results showed the ability of employed algorithm to predict the optimum parameters with considerable accuracy.

Keywords: Jet of Fluid, Genetic Algorithm, Hybrid Machining, Neural Network, Predictive Model

۱- مقدمه

بر روی ناحیه اعمالی دارند. این فرایندها به دو دسته "فرایندهای هیبریدی کمکی" و "فرایندهای هیبریدی ترکیبی" تقسیم می گردند. فرایندهای هیبریدی ترکیبی از ترکیب مستقیم دو فرآیند ساخت مانند ماشین کاری الکتروشیمیایی و ماشین کاری تخلیه الکتریکی بوجود می آیند. در فرایندهای هیبریدی کمکی براده برداری به همراه منابع انرژی کمکی مثل ارتعاش، لیزر و جت سیال پرفشار صورت می گیرد. اعمال جت سیال پرفشار یک روش بسیار مهم برای بهبود قابلیت ماشین کاری مواد می باشد. اساس کار این روش بر مبنای اعمال سیال پرفشار در محل ماشین کاری است. در ماشین کاری به کمک جت سیال پرفشار می توان بین سطح تماس براده و ابزار یک فشار هیدرولیکی مناسب ایجاد نموده که باعث

فرآیند ساخت یا تولید هیبریدی به معنی ترکیب فرایندها یا دستگاه ها به منظور تولید قطعات به روش موثرتر و با قابلیت تولید بهتر می باشد. روش های ماشین کاری هیبریدی براساس اثر متقابل و همزمان مکانیزم های فرآیند و یا منابع و ابزارهای انرژی عمل کرده و دارای تاثیر مهمی بر کارایی فرآیند می باشند. این فرایندها تاثیر زیادی بر روی مشخصات ساخت داشته که منجر به قابلیت ماشین کاری بالاتر، کاهش در نیروهای ماشین کاری و غیره می گردند. هم چنین به خاطر اثر ترکیبی، این فرایندها تاثیر مهم و در اغلب موارد تاثیر مثبتی بر روی کیفیت سطح قطعات ماشین کاری شده دارند [۱]. در این فرایندها دو یا چند منبع انرژی یا ابزار ترکیب شده و یک اثر مشترک

Please cite this article using:

E. Mirmohammadsadeghi, H. Amirabadi, Experimental investigation of high pressure hybrid jet assisted turning and process optimization by genetic algorithm and neural network, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 64-67, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

آزمایش به گونه‌ای طراحی گردید تا بررسی پارامترهای فرآیند شامل فشار جت سیال برشی، سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش امکان پذیر باشد. در طراحی کامل آزمایش‌ها ۳۲ آزمایش در نظر گرفته شد که در آن فشار سیال در چهار سطح ۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۸۰ بار، سرعت برشی در دو سطح ۳۶ و ۷۷ متر بر دقیقه، نرخ پیشروی در دو سطح ۰/۰۸ و ۰/۲۲ میلی‌متر بر دور و عمق برش نیز در دو سطح ۰/۵ و ۱ میلی‌متر تعیین گردید. آزمایش‌ها بر روی قطعات فولادی به قطر ۴۰ و طول ۲۵۰ میلی‌متر صورت گرفت. حین انجام هر مرحله از آزمایش‌ها نیروهای ماشین‌کاری و زبری سطح مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با داشتن سه مولفه اصلی نیروی ماشین‌کاری برآیند نیروی ماشین‌کاری محاسبه گردید. در نهایت مقادارهای بهینه برای نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح توسط ترکیب مدل پیشگوی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برحسب پارامترهای فرآیند (فشار جت سیال برشی، سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش) بدست آمد.

جدول ۱ پارامترهای تنظیمی فرآیند در هر آزمایش را به همراه نتایج مربوط به مقدارهای نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح نشان می‌دهد.

۳- بهینه‌سازی

با بررسی نتایج بدست آمده برای مقدارهای نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح مشخص می‌گردد که رابطه پیچیده‌ای بین پارامترهای فرآیند و مقدارهای نیرو و زبری سطح وجود دارد که تعیین آن به روش‌های معمول رگرسیونی با خطای بسیار زیادی همراه است. در این پژوهش از ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پارامترهای این فرآیند استفاده گردیده است. بدین منظور در نرم‌افزار متلب^۳ شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک به گونه‌ای کدنویسی گردیدند که ارتباط بین کدها برای آموزش شبکه عصبی و بهینه‌سازی فرآیند برقرار گردد.

۳-۱- شبکه عصبی

در این پژوهش به دلیل قابلیت شبکه عصبی در ارائه مدل پیشگو برای روابط بین پارامترهای ورودی و خروجی فرآیند در فرآیندهایی با پیچیدگی زیاد از شبکه عصبی برای دستیابی به مدل پیشگوی فرآیند استفاده شده است [۹، ۸]. به دلیل پیچیدگی‌های مدل مورد بررسی از یک شبکه عصبی با دو لایه مخفی استفاده گردید. به منظور تعیین پیکربندی مناسب (تعداد نرون‌ها و تابع انتقال) هر لایه از شبکه عصبی، ابتدا به روش سعی و خطا تابع انتقال مناسب برای هر کدام از لایه‌های مخفی و لایه خروجی شبکه عصبی انتخاب گردید.



شکل ۱ دستگاه دینامومتر، ابزارگیر طراحی شده و نمونه مورد استفاده حین انجام آزمایش

بلندکردن براده و در نتیجه کاهش سطح تماس بین ابزار و براده می‌گردد [۲]. تحقیقات صورت گرفته در مورد این فرآیند نشان می‌دهند که فشار سیال تاثیر مهمی بر شکل‌گیری براده (شکل براده، شکست براده)، عمر ابزار، سایش ابزار، ساختار متالورژیکی قطعه‌کار ناشی از تغییرات قابل توجه دما و روانکاری (کاهش طول تماس بین براده و سطح براده ابزار) دارد [۳].

شارمن و همکاران [۴] آزمایش تجربی با استفاده از سیستم‌های سیال خنک‌کننده پرفشار به منظور طولانی‌تر نمودن عمر ابزار صورت داده‌اند. کلوکه و همکاران [۵] تاثیر به کارگیری جت سیال پرفشار را بر کیفیت سطح قطعه‌کار و سایش ابزار مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها دریافته‌اند که با افزایش فشار جت سیال تا حد قابل ملاحظه‌ای سایش ابزار کاهش می‌یابد، این امر به دلیل کاهش سطح تماس بین ابزار و براده حین ماشین‌کاری با جت سیال می‌باشد. نتایج آن‌ها در مورد کیفیت سطح نشان می‌دهد که به کارگیری جت سیال پرفشار بهبود قابل ملاحظه‌ای در کیفیت سطح نسبت به ماشین‌کاری خشک به همراه داشته است ولی افزایش فشار جت سیال موجب افزایش زبری سطح می‌گردد.

برمینگهام و همکاران [۶] دو روش ماشین‌کاری به کمک جت سیال پرفشار و خنک‌کاری تبریدی را در ماشین‌کاری آلیاژ تیتانیوم مورد مقایسه قرار داده‌اند. آن‌ها عمر ابزار و چگونگی شکل‌گیری براده را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و دریافته‌اند که به کارگیری جت سیال پرفشار عمر ابزار افزایش یافته و براده‌های ریزتری شکل می‌گیرد.

واگنوریوس و سوربی [۷] تایید می‌کنند که هنگام اعمال جت سیال پرفشار می‌توان قابلیت تولید در ماشین‌کاری آلیاژها با مقاومت حرارتی بالا را افزایش داد. ازوگوو [۲] بهبود در عمر ابزار در ماشین‌کاری به کمک جت سیال پرفشار با ابزارهای کاربادی پوشش‌دار تا سرعت برشی ۵۰ متر بر دقیقه را گزارش نموده است. با بررسی تحقیقات صورت گرفته در زمینه ماشین‌کاری به کمک جت سیال پرفشار می‌توان دریافت که به دلیل وجود حالت‌های بهینه در این فرآیند نیاز به بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند وجود دارد. در این پژوهش با انجام آزمایش‌های تجربی بر روی پارامترهای فرآیند و اندازه‌گیری مقدارهای نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح، بهینه‌سازی فرآیند توسط شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش از روش ماشین‌کاری هیبریدی به کمک جت سیال پرفشار استفاده گردید. در این روش از جت سیال پر فشار به منظور اعمال متمرکز و موثر سیال برشی در محل ماشین‌کاری استفاده گردید. برای تامین جت سیال برشی پرفشار از یک پمپ واتر جت با قابلیت تامین فشار سیال تا ۲۵۰ بار استفاده گردید. هم‌چنین یک ابزارگیر مناسب جهت اعمال جت سیال در محل ماشین‌کاری طراحی و ساخته شد. دیگر دستگاه‌های مورد استفاده شامل دو پمپ کمکی، دستگاه تراش مدل TN50BR، دینامومتر مدل 9265B ساخت شرکت کیستلر^۱ سوییس و زبری‌سنج M300 ساخت شرکت ماهر^۲ آلمان می‌باشد. استاندارد مورد استفاده برای ابزارگیر DSSNR2525M12 و اینسرت مورد استفاده از جنس کارباید تنگستن گرید P10 با کد SNMM120412 می‌باشد. شکل ۱ نمایی از دستگاه دینامومتر، ابزارگیر طراحی شده و نمونه قطعه‌کار مورد استفاده را حین انجام آزمایش نشان می‌دهد. در تصویر چگونگی اعمال جت سیال پرفشار مشخص می‌باشد.

1. Kistler
2. Mahr

3. Matlab

جدول ۲ تعیین پیکربندی مناسب شبکه عصبی براساس کمترین درصد خطای

بدست آمده					
۴-۳-۳-۱	۴-۲-۴-۱	۴-۴-۲-۱	۴-۴-۳-۱	۴-۴-۵-۱	پیکربندی شبکه عصبی
۷/۸	۸/۳	۷/۲	۹/۳	۹/۲	درصد خطای زبری سطح
۹	۷/۱	۸/۷	۸	۸/۷	درصد خطای نیروی ماشین کاری

جدول ۳ خطاهای نهایی شبکه عصبی آموزش داده شده توسط الگوریتم ژنتیک

میانگین خطای میانگین خطای مینیمم مربعات تعداد نسل مدل شبکه	تست آموزش خطای آموزش الگوریتم عصبی	زبری سطح نیروی ماشین - کاری
۹/۷٪	۶/۴٪	۰/۰۰۶۳۷
۸/۷٪	۷/۲٪	۰/۰۰۹۰۵

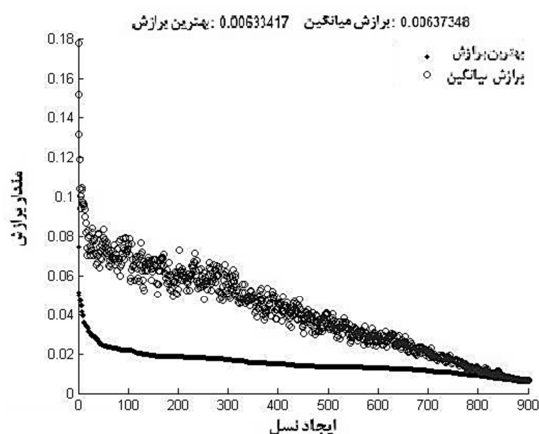
۲-۳- آموزش شبکه عصبی

به منظور تعیین مدل پیش‌بینی فرآیند با دقت قبول بایستی شبکه عصبی آموزش داده شود. یکی از روش‌های پیش فرض آموزش شبکه عصبی استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشد. این روش آموزش برای دستیابی به دقت قابل قبول برای مدل ارائه شده نیازمند داده‌های بسیار زیادی بوده که برای فرآیندهای ساخت مانند ماشین‌کاری هیبریدی نیاز به صرف هزینه بسیار زیاد می‌باشد. بنابراین در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک به منظور کاهش خطای آموزش شبکه عصبی استفاده گردید.

پس از آموزش شبکه عصبی مدل بدست آمده از شبکه عصبی توسط الگوریتم ژنتیک مورد بهینه‌سازی قرار گرفت و مقادیرهای بهینه بدست آمد. در جدول ۳ خطای شبکه عصبی آموزش داده شده توسط الگوریتم ژنتیک آورده شده است.

شکل‌های ۲ و ۳ نمودار همگرایی در فرآیند آموزش شبکه عصبی به کمک الگوریتم ژنتیک را به ترتیب برای داده‌های زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری نشان می‌دهد.

برای دو پارامتر زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری به ترتیب از تابع جهش^۲ گوسین^۳ و ادپت فیزیبل^۴ بر مبنای جنس تغییرات دو پارامتر استفاده شده است.



شکل ۲ نمودار همگرایی در فرآیند آموزش شبکه عصبی به کمک الگوریتم ژنتیک مربوط زبری سطح ماشین کاری

جدول ۱ پارامترهای فرآیند به همراه نتایج نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح

شماره آزمایش	سرعت برشی (m/min)	نرخ پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)	فشار سیال (bar)	زبری سطح (Ra(μm))	نیروی ماشین‌کاری (N)
۱	۳۶	۰/۰۸	۰/۵	۵	۳/۵۵	۱۱۵/۳
۲	۳۶	۰/۰۸	۰/۵	۵۰	۳/۱۴۸	۱۲۸
۳	۳۶	۰/۰۸	۰/۵	۱۰۰	۲/۲۲۹	۱۰۶/۸
۴	۳۶	۰/۰۸	۰/۵	۱۸۰	۰/۸۹۲	۱۳۰/۳
۵	۳۶	۰/۰۸	۱	۵	۴/۴۷۹	۱۹۰
۶	۳۶	۰/۰۸	۱	۵۰	۲/۴۸۳	۲۳۸/۵
۷	۳۶	۰/۰۸	۱	۱۰۰	۱/۱۳۵	۲۰۴/۴
۸	۳۶	۰/۰۸	۱	۱۸۰	۱/۹۷۵	۳۰۵
۹	۳۶	۰/۲۲	۰/۵	۵	۶/۲۸۴	۵۵۴/۵
۱۰	۳۶	۰/۲۲	۰/۵	۵۰	۳/۴۹۴	۳۳۶/۴
۱۱	۳۶	۰/۲۲	۰/۵	۱۰۰	۴/۲۲۵	۴۲۷/۹
۱۲	۳۶	۰/۲۲	۰/۵	۱۸۰	۶/۶۰۵	۳۱۱/۲
۱۳	۳۶	۰/۲۲	۱	۵	۶/۷۸۶	۶۰۰
۱۴	۳۶	۰/۲۲	۱	۵۰	۳/۶۲۱	۵۶۷/۸
۱۵	۳۶	۰/۲۲	۱	۱۰۰	۵/۲۱۸	۶۹۳/۲
۱۶	۳۶	۰/۲۲	۱	۱۸۰	۵/۳۵۳	۶۶۱/۹
۱۷	۷۷	۰/۰۸	۰/۵	۵	۱/۸۱۸	۱۶۷/۳
۱۸	۷۷	۰/۰۸	۰/۵	۵۰	۴/۳۹۶	۴۲
۱۹	۷۷	۰/۰۸	۰/۵	۱۰۰	۳/۴۴۹	۳۶/۷
۲۰	۷۷	۰/۰۸	۰/۵	۱۸۰	۱/۸۰۵	۱۴۹/۷
۲۱	۷۷	۰/۰۸	۱	۵	۳/۷۹۴	۲۶۹/۲
۲۲	۷۷	۰/۰۸	۱	۵۰	۴/۲۳۰	۱۹۸
۲۳	۷۷	۰/۰۸	۱	۱۰۰	۴/۴۵۷	۲۳۱/۱
۲۴	۷۷	۰/۰۸	۱	۱۸۰	۱/۹۵۹	۱۸۳/۵
۲۵	۷۷	۰/۲۲	۰/۵	۵	۲/۱۳۴	۶۰۰/۸
۲۶	۷۷	۰/۲۲	۰/۵	۵۰	۲/۵۲۱	۳۶۵/۳
۲۷	۷۷	۰/۲۲	۰/۵	۱۰۰	۳/۳۲۱	۳۳۸/۴
۲۸	۷۷	۰/۲۲	۰/۵	۱۸۰	۲/۶۱۹	۳۹۶/۷
۲۹	۷۷	۰/۲۲	۱	۵	۲/۱۴۷	۸۸۶
۳۰	۷۷	۰/۲۲	۱	۵۰	۲/۳۹۷	۲۶۷/۴
۳۱	۷۷	۰/۲۲	۱	۱۰۰	۲/۵۹۴	۳۴۷/۱
۳۲	۷۷	۰/۲۲	۱	۱۸۰	۳/۴۸۱	۸۳۴/۴

انتخاب تابع انتقال لوگ‌سیگموئید^۱ برای تمامی لایه‌های شبکه عصبی کمترین خطای آموزش و تست شبکه عصبی را در پی داشت. پس از تعیین توابع انتقال، تعداد نرون‌های هر لایه با هدف کاهش خطای آموزش و خطای تست شبکه عصبی تعیین گردید.

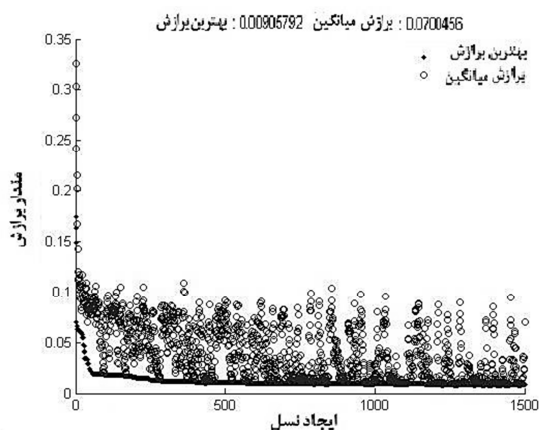
جدول ۲ چگونگی انتخاب پیکربندی مناسب شبکه عصبی مورد استفاده را براساس خطای آموزش و تست مربوط به داده‌های نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح نشان می‌دهد. در این جدول تنها تعدادی از سعی و خطاهای صورت گرفته نزدیک به پیکربندی بهینه شبکه عصبی آورده شده است. همان‌طور که از این جدول نیز مشخص است پیکربندی بهینه شبکه عصبی که بتواند هر دو پارامتر نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح را با کمترین خطا پیش‌بینی نماید پیکربندی ۴-۲-۴-۱ می‌باشد که در آن لایه میانی اول دارای ۲ نرون و لایه میانی دوم دارای ۴ نرون می‌باشد.

2. Mutation
3. Gaussian
4. Adaptfeasible

1. Logsig

network and optimization algorithms for optimizing surface roughness, tool life and cutting forces in turning operation, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 27, No. 5, pp. 1469-1477, 2013.

- [9] F. Jafarian, H. Amirabadi, M. Fattahi, Improving surface integrity in finish machining of Inconel 718 alloy using intelligent systems, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 71, pp. 817-827, 2014.



شکل ۳ نمودار همگرایی در فرآیند آموزش شبکه عصبی به کمک الگوریتم ژنتیک مربوط نیروی ماشین کاری

تعداد نسل‌های تعیین شده برای الگوریتم ژنتیک به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که تا زمانی که خطای آموزش و تست کاهش یابد تعداد نسل‌ها افزایش یابد. افزایش بیش از حد نسل‌ها موجب افزایش مقدار خطای تست به دلیل یادگیری بیش از حد شبکه عصبی می‌گردد.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی پارامترهای فرآیند ماشین کاری هیبریدی به کمک جت سیال پرفشار شامل فشار جت سیال پرفشار، سرعت برش، نرخ پیشروی و عمق برش و تاثیر آن‌ها بر پارامترهای نیروی ماشین کاری و زبری سطح و همچنین دست‌یابی به مدل پیشگوی شبکه عصبی برای فرآیند به طوری که با کمترین خطا بتوان رابطه‌ای میان پارامترهای ورودی و خروجی فرآیند به دست آورد و در نهایت بهینه‌سازی فرآیند را با ترکیب مدل شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک صورت داد. می‌توان گفت که الگوریتم ژنتیک هم توانسته به عنوان الگوریتم آموزش دهنده شبکه عصبی و هم به صورت الگوریتم بهینه‌ساز برای تعیین مقدارهای بهینه پارامترهای فرآیند پیچیده‌ای چون ماشین کاری هیبریدی به کمک جت سیال پرفشار به کار رود.

۵- مراجع

- [1] B. Lauwers, F. Klocke, A. Klink, A. E. Tekkaya, R. Neugebauer, D. McIntosh, Hybrid processes in manufacturing, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 1252, pp. 1-23, 2014.
- [2] E. Ezugwu, J. Bonney, Finish Machining of Nickel-Base Inconel 718 Alloy With Coated Carbide Tool Under Conventional and High-Pressure Coolant Supplies, *Tribology Transactions*, Vol. 48, pp. 76-81, 2005.
- [3] C. Sanz, E. Fuentes, O. Gonzalo, Turning Performance Optimisation of Aeronautical Materials By Using High Pressure Cooling Technology, *5th International Conference on High Speed Machining Metz*, Vol. 123, pp. 269-280, 2006.
- [4] ARC. Sharman, JI. Hughes, K. Ridgway, Surface integrity and tool life when turning Inconel 718 using ultra-high pressure and flood coolant systems, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 222, No. 6, pp. 653-664, 2008.
- [5] F. Klocke, L. Settineri, D. Lung a, P. C. Priarone, M. Arft, High performance cutting of gamma titanium aluminides: Influence of lubricoolant strategy on tool wear and surface integrity, *Wear*, Vol. 302, pp. 1136-1144, 2013.
- [6] M.J. Bermingham, S. Palanisamy, D. Kenta, M.S. Dargusch, A comparison of cryogenic and high pressure emulsion cooling technologies on tool life and chip morphology in Ti-6Al-4V cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 212, pp. 752-765, 2012.
- [7] Z. Vagnorius, K. Sorby, Effect of high-pressure cooling on life of SiAlON tools in machining of Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 54, pp. 83-92, 2011.
- [8] F. Jafarian, M. Taghipour, H. Amirabadi, Application of artificial neural