

گواهی شرکت در کنفرانس

بدین وسیله گواهی می‌شود

آقایان

مسعود آزادی مقدم، نقی فتحی خراسانی،

مرتضی کریمی علی آباد، فرهاد کلاهان

در

کنفرانس بین‌المللی

مهندسی صنایع و سیستم‌ها (ICISE 2015)

که در تاریخ ۲۵ و ۲۶ شهریور ۱۳۹۴ در دانشگاه فردوسی مشهد

برگزار گردید، ثبت نام نموده‌اند.



دکتر حمیده رضوی

دبیر کنفرانس

دکتر بابک رضایی

دبیر علمی کنفرانس



گواهی ارائه مقاله

بدین وسیله گواهی می‌شود مقاله زیر در

کنفرانس بین‌المللی

مهندسی صنایع و سیستم‌ها (ICISE 2015)

که در تاریخ ۲۵ و ۲۶ شهریور ۱۳۹۴ برگزار گردیده، ارائه شده است:

عنوان مقاله :

بهره‌گیری از رویکرد دترمینان بهینه و الگوریتم ژنتیک
در مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند ماشین‌کاری تخلیه
الکتریکی سوپر‌آلیاژ اینکونل ۷۱۸

نویسندگان :

مسعود آزادی مقدم، نقی فتحی خراسانی،
مرتضی کریمی علی‌آباد، فرهاد کلاهان

ضمن تشکر از نویسندگان مقاله، توفیق روزافزون ایشان را

در عرصه‌های علمی از خداوند منان خواستاریم.



دکتر حمیده رضوی

دبیر کنفرانس

دکتر بابک رضایی

دبیر علمی کنفرانس

بهره‌گیری از رویکرد دترمینان بهینه و الگوریتم ژنتیک در مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸

مسعود آزادی مقدم^۱، نقی فتحی خراسانی^۲، مرتضی کریمی علی‌آباد^۲، فرهاد کلاهان^۳

^۱ دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، (masoudazadi888@gmail.com)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی یکی از پرکاربردترین روش‌های ماشین‌کاری قطعات هادی جریان الکتریسیته است. در این روش بدلیل استفاده از انرژی حرارتی، سختی قطعه‌کار بر سرعت ماشین‌کاری تأثیری ندارد، بنابراین از این روش می‌توان در ساخت انواع قالب‌ها و ماشین‌کاری مواد سخت نظیر سوپرآلیاژها استفاده نمود. پارامترهای تنظیمی شامل ولتاژ گپ، شدت جریان، زمان روشنی پالس و فاکتور کار هستند. نرخ برداشت ماده و کیفیت سطح قطعات تولیدی از جمله خروجی‌های مهم در این فرآیند هستند. به‌منظور گردآوری داده‌های تجربی از طرح دترمینان بهینه در رویکرد طراحی آزمایش‌ها استفاده شده است. برای ایجاد ارتباط بین پارامترهای ورودی و خروجی فرآیند، توابع رگرسیونی مختلف مورد استفاده قرار گرفت. سپس به منظور ارزیابی و انتخاب مدل‌های اصلاح از آنالیزهای آماری و آزمایشات صحت‌گذاری استفاده شد. برای بهینه‌سازی توابع هدف انتخاب شده از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی و آزمایشات تجربی نشان داد که به کارگیری هم‌زمان روش مدل‌سازی مطرح شده و الگوریتم ژنتیک می‌تواند به ابزاری کارآمد برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند تخلیه الکتریکی تبدیل شود.

کلمات کلیدی

ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی، بهینه‌سازی، طرح دترمینان بهینه، سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸، الگوریتم ژنتیک.

Using D-optimal Approach and Genetic Algorithm in Modeling and Optimization of EDM Process on Inconel 718 Super Alloy

Masoud Azadi Moghaddam¹, Naghi Fathi Khorasani², Morteza Karimi Aliabad² and Farhad Kolahan³

¹Ph.D. Candidate, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

²M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

³ Associate Professor, of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

ABSTRACT

Electrical Discharge Machining (EDM) is one of the most extensively used material removal process. Its unique feature of using thermal energy to machine hard to machine electrically conductive materials is its distinctive advantage in the manufacturing of moulds and machining of hard materials such as super alloys. The input parameters are peak current (I), pulse on time (T_{on}), duty factor (η) and voltage (V). Material removal rate (MRR) and surface roughness (SR) are the most important performance characteristics of the EDM process. The experimental data are gathered using D-optimal approach L_{26} design matrix. In order to establish the relations between the input and the output parameters, various regression functions have been fitted on the evaluated data based on output characteristics. Then, statistical analyses and validation experiments have been carried out to select the best and most fitted models. Genetic algorithm (GA) has been used for optimizations of process parameters. The results indicate that the proposed modeling technique and genetic algorithm are quite efficient in modeling and optimization of EDM process parameters.

۱- مقدمه

امروزه در صنایع تولیدی معرفی آلیاژهای جدید و همچنین نیاز به تولید اشکال پیچیده، محدودیت‌های استفاده از روش‌های سنتی ماشین‌کاری را بیشتر کرده است. بنابراین استفاده از روش‌های ماشین‌کاری مخصوص همچون ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی روز به روز در حال گسترش است [۱]. فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی یک فرآیند پیشرفته ماشین‌کاری ترموالکتریکی است که در آن بر اثر جرقه‌های تولید شده تخلیه الکتریکی بین قطعه‌کار و ابزار عمل براده برداری صورت می‌گیرد. در این روش قطعه‌کار و ابزار در سیال دی الکتریک غوطه‌ور بوده و تخلیه الکتریکی باعث ذوب و تبخیر قسمت کوچکی از قطعه‌کار شده که بوسیله سیال دی الکتریک از محدوده ماشین‌کاری دور می‌شود. امکان ایجاد اشکال پیچیده و دقیق، امکان ماشین‌کاری قطعات نازک و شکننده به دلیل عدم تماس مکانیکی بین قطعه‌کار و عدم نیاز به حضور مداوم اپراتور حین براده‌برداری و عدم تاثیر سختی قطعه‌کار بر روی سرعت ماشین‌کاری، از جمله مزایای این روش است [۲]. بنابراین این روش گزینه مناسبی جهت تولید قطعات دقیق و پیچیده مانند قالب‌ها و همچنین ماشین‌کاری آلیاژهای سخت و مقاوم از جمله سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ است.

با این حال ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی روشی زمان‌بر بوده و نرخ براده‌برداری در آن بسیار پایین است. از طرفی دقت ابعادی و صافی سطح در قطعات تولیدی با این روش معولا از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین، نرخ براده‌برداری و صافی سطح قطعه‌کار از جمله مهم‌ترین مشخصه‌های خروجی در این روش است. این خروجی‌ها خود تحت تاثیر مقادیر پارامترهای تنظیمی فرآیند، از جمله ولتاژ، شدت جریان، زمان روشنی پالس و فاکتور روی کار، قرار دارند [۱].

در این رابطه، مطالعات گسترده‌ای در زمینه بررسی تاثیر متغیرهای ماشین‌کاری و تعیین مقادیر بهینه آن‌ها در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی انجام یافته است. صادقی و همکاران [۳]. به بررسی اثرات انواع مختلف الکتروود ابزار بر روی کیفیت ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی برای ترکیب بین فلزی آلومینیوم-تیتانیوم پرداخته‌اند. آن‌ها با بررسی سه جنس الکتروود آلومینیومی، گرافیتی و مسی به این نتیجه رسیده‌اند که تغییر جنس الکتروود ابزار تاثیر خاصی بر روی ترکیب شیمیایی سطح قطعه‌کار ندارد و تاثیر اصلی جنس ابزار در نرخ براده‌برداری، خوردگی ابزار و زبری سطح است. اولمن و همکاران [۴] با استفاده از تکنیک طراحی آزمایشات به بهینه‌سازی پارامترهای ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی آلیاژ پایه نیکل پرداخته‌اند. نتایج آزمایشات آن‌ها حاکی از این بود که شدت جریان و زمان روشنی پالس

تاثیر گذارترین فاکتورها هستند. وای.بی.جو و همکاران [۵] با تغییر انرژی‌های تخلیه در فرآیند وایرکات سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸، به توپوگرافی و بررسی کیفیت سطح قطعات تولید شده پرداخته‌اند. گوپالاکان و همکاران [۶] با استفاده از روش تاگوچی و تحلیل انحراف از معیار، تاثیر هر یک از پارامترهای ورودی ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (ولتاژ، جریان، زمان روشنی و خاموشی پالس) را بر روی نرخ برداشت براده، نرخ خوردگی ابزار و کیفیت سطح بررسی کرده‌اند. در این تحقیق با انجام آزمایشات صحت‌گذاری مشخص شد نتایج مدل با مقدار اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی دارد. شدت جریان و روشنی پالس بیشترین تاثیر را بر خروجی‌ها دارند، بدین ترتیب که با افزایش شدت جریان، نرخ برداشت براده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش شدت جریان و زمان روشنی پالس، کیفیت سطح افزایش می‌یابد. با استفاده از روش طراحی آزمایشات و آنالیز واریانس، آیستا و همکاران [۷] میزان تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (شدت جریان، ولتاژ و زمان روشنی پالس) را در ماشین‌کاری آلیاژ C1023 مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد که افزایش شدت جریان و زمان روشنی پالس موجب کاهش نرخ خوردگی ابزار می‌شود. همچنین کاهش شدت جریان و ولتاژ موجب کاهش نرخ برداشت براده می‌شود.

همان‌گونه که ذکر شد، یکی از کاربردهای ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی شکل‌دهی مواد سخت با قابلیت براده‌برداری پایین است. در این راستا، بررسی مولفین نشان می‌دهد که تاکنون در مورد چگونگی تاثیر پارامترهای تنظیمی در ماشین‌کاری سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ به روش تخلیه الکتریکی و تعیین مقادیر بهینه آن‌ها، با استفاده از رویکرد درمیان بهینه و الگوریتم ژنتیک تحقیقی صورت نگرفته است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، بررسی میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی بر روی نرخ براده‌برداری و کیفیت سطح و تعیین سطوح بهینه آن‌ها برای سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ می‌باشد.

آلیاژ اینکونل ۷۱۸، از خانواده سوپر آلیاژهای پایه نیکل با چگالی ۸/۱۹ گرم بر سانتیمتر مکعب، تنش کششی ۱۲۴۰ مگاپاسکال و سختی معادل ۴۳ راکول سی است. قابلیت‌های منحصر بفرد این آلیاژ از جمله حفظ خواص مکانیکی خود در دماهای بالا، باعث افزایش روزافزون کاربردهای این آلیاژ در صنایعی همچون نیروگاهی، نفت و گاز و هوا-فضا شده است. از طرفی به دلیل سختی و استحکام بالای این آلیاژ، ماشین‌کاری آن به روش‌های سنتی دارای محدودیت‌هایی است، بنابراین ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی می‌تواند به عنوان یک روش

کارآمد در شکل‌دهی قطعاتی از جنس این آلیاژ باشد.

کاهش هزینه و زمان آزمایشات از طرح دترمینان بهینه استفاده گردید که تعداد آزمایشات مورد نیاز را به ۲۶ آزمایش کاهش می‌دهد.

۳- انجام آزمایشات و اخذ نتایج

برای انجام آزمایشات، از دستگاه اسپارک مدل آدرخش H ۳۰۴ ساخت شرکت تهران اکرام استفاده شد (شکل ۱). در تمام آزمایشات از نفت سفید به عنوان سیال دی الکتریک استفاده گردید.

نمونه‌ها از جنس آلیاژ اینکونل ۷۱۸ به شکل استوانه با ضخامت ۴ و قطر ۵۰ میلیمتر توسط وایرکات برش خورده و دو سمت آن‌ها پرداخت و کدگذاری شدند. همچنین الکترودهای ابزار مورد نیاز از جنس مس با خلوص ۹۹٫۹٪ و قطر ۱۴ میلیمتر انتخاب شدند (شکل ۱).

برای افزایش دقت، ترتیب انجام آزمایشات به صورت اتفاقی صورت گرفت. همچنین برای کاهش اثر شرایط الکتروتود در مقدار زبری سطح، پس از هر آزمایش سطح الکتروتودها مجدداً پرداخت و ماشین‌کاری گردید. با این‌همه بعد از هر ۶ آزمایش الکتروتود تعویض گردید. زمان انجام هر آزمایش به طور متوسط ۵۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. در تمام آزمایشات، به جز پارامترهای تحت کنترل، سایر پارامترهای قابل تنظیم دستگاه مانند زمان خاموشی پالس، فشار پاشش دی-الکتریک و ... در مقادیر ثابتی تنظیم شده بودند.

۴- پارامترهای خروجی

یکی از مهم‌ترین معیارهای اندازه‌گیری کیفیت سطح، زبری سطح و به عبارت دیگر پروفیل و میزان پستی و بلندی‌های سطح می‌باشد. کیفیت سطح در فرآیندهای براده‌برداری، متأثر از پارامترهای ماشین‌کاری، نوع و پروفیل ابزار و سایر شرایط دستگاه می‌باشد [۵]. در اندازه‌گیری زبری سطح در این تحقیق، معیار متوسط ارتفاع پروفیل‌های سطح انتخاب شده است. بدین منظور بعد از انجام هر آزمایش میزان زبری سطح توسط دستگاه زبری‌سنج مدل سورترونیک با دقت ۰/۰۱ میکرومتر در جهات مختلف سه بار اندازه‌گیری شده و میانگین آنها به عنوان عدد زبری مربوطه ثبت شد (شکل ۱). نرخ برداشت ماده مقدار ماده برداشته شده از قطعه کار در واحد زمان است. نرخ برداشت ماده، معیاری از سرعت ماشین‌کاری است که افزایش آن موجب کاهش زمان انجام کار می‌شود. بدین منظور، از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، ساخت شرکت ژاپن استفاده گردید. نرخ برداشت ماده مطابق فرمول ۱ بر حسب میلی‌گرم بر دقیقه قابل محاسبه است [۲].

تحقیقات نشان می‌دهد که زمان روشنی پالس، زمان یا فاکتور روی کار، ولتاژ مدار باز و شدت جریان تخلیه موثرترین پارامترهای ماشین‌کاری در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی می‌باشند [۳-۷]. بنابراین در تحقیق حاضر نیز این پارامترها به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شده‌اند.

جدول (۱): پارامترهای ورودی و سطوح مختلف آن‌ها

پارامترها	علامت مشخصه	سطوح		
		۱	۲	۳
جریان	I	۱	۳	۵
زمان روشنی پالس	T _{on}	۳۵	۱۰۰	۲۰۰
فاکتور کار	η	۰/۴	۱	۱/۸
ولتاژ	V	۸۰	۲۰۰	—

در این تحقیق، برای به دست آوردن بازه (حدود بالا و پایین) مناسب تغییرات پارامترهای تنظیمی تعدادی آزمایش اولیه انجام گرفت. با توجه به آزمایشات انجام شده و ویژگی‌های دستگاه مورد استفاده، نهایتاً مقادیر گزارش شده در جدول ۱ به عنوان سطوح هر فاکتور در نظر گرفته شدند. ترکیب‌های مختلف این مقادیر براساس رویکرد طراحی آزمایشات در انجام تست‌های عملی مورد استفاده قرار گرفت.

۲- روش دترمینان بهینه^۱ در طراحی آزمایشات

طرح‌های مهم در طراحی آزمایشات را می‌توان در دو گروه اصلی طرح‌های عاملی کامل^۲ و طرح‌های عاملی کسری^۳ مورد بررسی قرار داد. طرح عاملی کسری، مانند طرح تاگوچی، فقط بخشی از مجموع ترکیب‌های ممکن برای آزمایشات را استفاده می‌کنند. بدین ترتیب با انجام تعداد محدودی آزمایش، اطلاعات وسیعی از فرآیند مورد بررسی و اثرات متقابل پارامترهای اصلی آن را می‌توان بدست آورد. روش دترمینان بهینه از جمله روش‌های کارآمد عاملی کسری است که امکان ارزیابی تاثیر پارامترهای فرآیند و تعیین سطوح بهینه آن‌ها را فراهم می‌کند [۸]. بنابراین در پژوهش حاضر از این روش برای طراحی آزمایشات عملی استفاده شده است.

همان‌طور که در قسمت قبل مطرح شد، در این تحقیق ۳ عامل سه سطحی و یک عامل دو سطحی وجود دارد. بدین ترتیب برای بررسی

کلیدی حالات ممکن به انجام ۵۴ (۳^۳×۲^۱) آزمایش احتیاج است. برای

مدل‌های بدست آمده ضریب همبستگی ۰.۹۲ را دارا هستند که این ضریب همبستگی بالا بیانگر برازش خوب مدل‌ها بر فرآیند است. در کنار تحلیل‌های آماری، مدل انتخابی به کمک آزمایشات تجربی نیز صحت‌گذاری گردید. برای این‌که بتوان به صحت مدل‌های ایجاد شده اطمینان پیدا کرد، یک سری آزمایشات گواه مطابق جدول ۲ انجام شده است.

جدول (۲): پارامترهای ورودی آزمایشات صحت‌گذاری

ردیف	ولتاژ (ولت)	فاکتور کار (ثانیه)	شدت جریان (آمپر)	زمان روشنی پالس (میکروثانیه)
۱	۵۵	۱	۱۸	۵۰
۲	۵۵	۰.۷	۲۴	۱۰۰
۳	۵۵	۱	۲۴	۱۵۰
۴	۵۵	۰.۷	۱۸	۱۵۰
۵	۵۵	۰.۷	۱۲	۵۰



شکل (۱): تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایشات

جدول (۳): درصد خطای تخمین نرخ برداشت ماده و زبری سطح

خروجی فرآیند	خطا (درصد)	
	خطی	مرتب‌ده دو لگاریتمی
نرخ برداشت ماده	۱۲/۷۱	۶/۸۳
زبری سطح	۱۰/۲۷	۲/۹۳

جدول ۳، میزان درصد خطای تخمین نرخ برداشت ماده و زبری سطح را برای سری جدید آزمایشات نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول ۳ می‌توان دید، مقدار خطای محاسبه شده برای نرخ برداشت ماده و برای زبری سطح کمتر از ۴ درصد می‌باشد، که این خود گواهی بر جواب صحیح آزمایشات است.

۶- الگوریتم ژنتیک

امروزه، الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یکی از روش‌های قدرتمند بهینه‌سازی، در حل مسائل بزرگ و پیچیده کاربرد فراوانی دارد. مهمترین خصوصیت الگوریتم ژنتیک این است که به‌طور همزمان مجموعه‌ای از

فضاهای جواب را بررسی می‌کند. همچنین در کاربرد الگوریتم ژنتیک نیازی به محاسبه شیب تابع و یا مشتق‌پذیر بودن آن نیست. این بدان دلیل است که الگوریتم فقط بر روی مقادیر تابع هدف (جواب‌ها) عمل می‌کند و هر کروموزوم بر اساس شایستگی آن در جمعیت ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شود. مهمترین محدودیت الگوریتم ژنتیک این است که، در مقایسه با سایر روش‌های بهینه‌سازی، محاسبات سنگین‌تری دارد.

$$MRR = \frac{\text{wear weight of workpiece}}{\text{time of machining}} \quad (1)$$

۵- مدل‌سازی و تحلیل نتایج

به‌منظور مدل‌سازی فرآیند بر روی آلیاژ اینکونل ۷۱۸، توابع مختلف رگرسیونی، شامل توابع خطی، لگاریتمی و توانی، بر داده‌های تجربی حاصل از آزمایشات، برازش داده شد. تهیه مدل‌های ریاضی و تجزیه و تحلیل واریانس در محیط نرم‌افزار آماری مینیتب انجام گردید. به‌منظور افزایش دقت مدل‌سازی و همچنین تعیین میزان تاثیر هر پارامتر، سطح اطمینان ۰.۹۵ در نظر گرفته شد. نتایج محاسباتی و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهند که مدل "مرتب‌ده دوم" بهترین انطباق را بر نرخ براده برداری و "مدل لگاریتمی" بهترین انطباق را بر زبری سطح دارند. [۵]. شکل نهایی مدل‌های رگرسیونی، ارتباط دهنده پارامترهای تنظیمی به دو خروجی نرخ برداشت ماده و زبری سطح، بصورت زیر است:

$$MRR = 0.008324 \times V^{0.0172653} \times I^{1.798} \times T^{0.880033} \times \eta^{0.943937} \quad (2)$$

$$Ra = 0.521697 + 2.22346 \times I - 0.281034 \times (I \times I) + 0.00846034 \times (I \times T) + 0.0000273 \times (V \times T) - 0.000054 \times (T \times T) \quad (3)$$

برانگیز نموده و بنابراین تعیین سطوح مناسب پارامترهای ماشین‌کاری آن دارای اهمیت خاصی است. در این راستا، چهار فاکتور ولتاژ مدار باز، شدت جریان، زمان روشنی پالس و فاکتور کار به عنوان پارامترهای ورودی انتخاب شدند. با توجه به شرایط دستگاه مورد استفاده و جنس قطعه کار، برای پارامتر ولتاژ دو سطح و برای سایر پارامترها سه سطح در نظر گرفته شد. نرخ برداشت ماده و زبری سطح به عنوان معیارهای سنجش کیفیت مد نظر قرار گرفتند. آزمایشات عملی بر اساس ماتریس بهینه انجام یافت. در مرحله بعد، با به کارگیری نتایج حاصل از آزمایشات عملی و براساس تحلیل‌های آماری، مدل‌های اصلاح انتخاب، و سطوح بهینه پارامترهای مزبور به منظور بیشینه کردن نرخ برداشت ماده و کمینه کردن زبری سطح با بکارگیری الگوریتم ژنتیک تعیین گردید. میزان خطای تخمین کمتر از ۷ درصد است که با توجه به وجود عدم قطعیت‌ها و پارامترهای غیرقابل کنترل در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی، این مقدار در حد قابل قبولی به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که از رویکرد ارائه شده می‌توان برای تحلیل و بهینه‌سازی سایر فرآیندهای تولیدی نیز استفاده نمود.

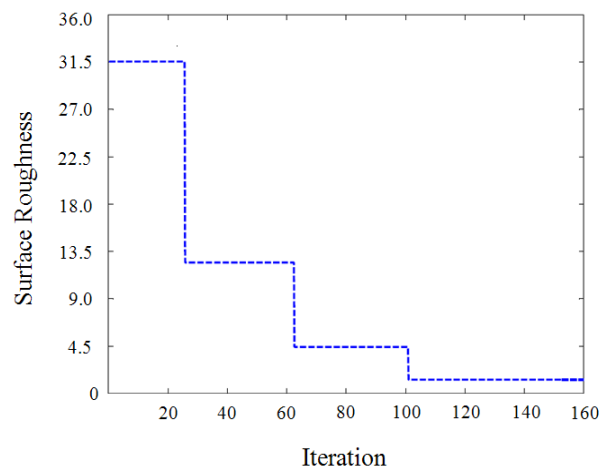
۸- منابع

- [1] Yih-fong Tzeng, F. Chen, , 2007. Multi-objective optimization of high-speed electrical discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach, *Materials and Design*, Vol. 28, pp. 1159–1168.
- [2] N. Bani Mostafa Arab, 2006. *Advanced Machining Process*, Tehran: Azadeh, pp. 151-167.
- [3] B. Jabbaripoor, M. H. Sadeghi, M. Shabgard, S. Fereidoonvand, 2011. Investigating the Effects of Tool Materials on the Properties of Electrical Discharge Machining of Ti-Al Intermetallic, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 135-146.
- [4] E. Uhlmann, D. C. Domingosb2013. Development and optimization of the die-sinking EDM-technology for machining the nickel-based alloy MAR-M247 for turbine components, *Procedia CIRP*, Vol. 6, pp.180 – 185.
- [5] S.Gopakalannan, T. Sinthelevan, 2012. Modeling and Optimization of EDM Process parameter on Machining of AL 7075-B4 MMC using RSM, *Procedia Engineering*, Vol. 38, pp. 685 – 690.

به‌منظور جلوگیری از اطاله مطلب، از پرداختن به جزئیات این الگوریتم خودداری می‌شود. توضیحات مبسوط در مورد الگوریتم ژنتیک و کاربردهای آن را می‌توان در ادبیات موضوع، از جمله [۹]، یافت. در این تحقیق تابع رگرسیون انتخاب شده به‌عنوان تابع هدف انتخاب شده و بهینه می‌شوند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی در جدول ۴، خلاصه شده است. شکل ۲، روند همگرایی به جواب بهینه را برای زبری سطح نشان می‌دهد.

جدول (۴): نتایج بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک

خروجی فرآیند	مقدار تخمین	مقدار آزمایش	خطا
نرخ برداشت ماده	۳۰/۳۹	۲۹/۱۲	۴/۲
مقدار پارامترهای تنظیمی	$T_{on}=200\mu s, I=5A, \eta=1.8 S, V=200V$		
زبری سطح	۱/۴۳	۱/۵۲	۶/۳
مقدار پارامترهای تنظیمی	$T_{on}=103\mu s, I=1A, \eta=0.7S, V=80 V$		



شکل (۲): نحوه همگرایی به جواب بهینه برای زبری سطح

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق، تاثیر پارامترهای تنظیمی و تعیین سطوح بهینه آن‌ها در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است. آلیاژ مزبور دارای کاربردهای مختلف در قطعات حساس صنایع نیروگاهی، دفاعی و نفت و گاز است. سختی و استحکام بالای این آلیاژ، شکل‌دهی آن را چالش

S.Gopalannan, T. Sinthelevan, 2012. Modeling and Optimization of EDM Process parameter on Machining of AL 7075-B4 MMC using RSM, Procedia Engineering, Vol. 38, pp. 685 – 690. [6]

Ayestaa,B. Izquierdob, J. A. Sáncheza,J.M. Ramosc,S. Plazaa, I. Pombod, 2013. Influence of EDM parameters on slot machining in C1023 aeronautical alloy, Procedia CIRP, Vol. 6 ,pp.129 – 134. [7]

D. Antoniou, Design of Analysis of Experiment, 5th edition, 2001. John wiley and sons, United States of America, pp. 230-235. [8]

G.K. Raa, G. Rangajanardhaa, D.H. Rao, M.S. Rao, 2009. Development of hybrid model and optimization of surface roughness in electric discharge machining using artificial neural networks and genetic algorithm, journal of Material Process and Technology, Vol. 209, pp.1512–1520. [9]

زیر نویس‌ها

- ¹ D-optimal Design
- ² Full Factorial Design
- ³ Fractional Design
- ⁴ Fitness Function

