Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۳۸۲-۳۸۶

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

تحلیل آنالیز حساسیت نرخ براده‌برداری در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک

وحید طهماسبی[۱*]، مجید قریشی[۲]، معین طاهری[۳]

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران

۳- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک

* تهران، صندوق پستی ۱۹۹۹-۱۹۳۹۵، Vtahmasbi@Mail.kntu.ac.ir

چکیده

ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک یکی از جدیدترین فرآیندهای ماشین‌کاری می‌باشد که مطالعه برروی آن درحال گسترش است. از جمله مزایای این روش می‌توان به مواردی نظیر سازگاری با محیط زیست، پایین بودن هزینه‌های فرآیند، ساده شدن ابزار و تجهیزات، بهینه‌شدن پارامترهای ماشین‌کاری و ارزان بودن دی‌الکتریک اشاره‌کرد. باتوجه به کاربردهای روبه افزایش این نوع ماشین‌کاری و از آن‌جا که نرخ براده‌برداری ازجمله خروجی‌های مهم در این فرآیند بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است، همچنین اضافه شدن دو فاکتور فشارگاز و سرعت دورانی ابزار نسبت به ماشین‌کاری اسپارک معمول، بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر نرخ براده‌برداری این فرآیند در تحلیل چگونگی انجام و بهبود آن امری ضروری می‌باشد. لذا در این مقاله با استفاده از روش آنالیز حساسیت آماری سوبل که نسبت به سایر روش‌ها دارای مزیت استخراج مقدار کمی تأثیر پارامترهاست، به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف، شامل ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری، جریان تخلیه الکتریکی، زمان روشنی پالس، نسبت زمان روشنی به خاموشی پالس، فشار گاز دی‌الکتریک و سرعت دوران ابزار بر نرخ براده‌برداری پرداخته شده است. نتایج به‌دست آمده از تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که از بین پارامترهای ورودی، پارامتر ورودی جریان و پس از آن به ترتیب فشار گاز و سرعت دورانی ابزار، دارای بیشترین اثر بر نرخ براده‌برداری می‌باشند و پارامتر ولتاژ کم‌ترین تأثیر را بر نرخ براده‌برداری داشته و می‌توان آن‌را تحت‌عنوان پارامتر کم‌اثر در ساده‌سازی معادلات در نظر نگرفت.

کلید واژگان: آنالیز حساسیت، روش آماری سوبل، ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک، نرخ براده‌برداری

Sensitivity analysis of material removal rate in dry electro-discharge machining process

Vahid Tahmasbi[1*], Majid Ghoreishi[1], Moein Taheri[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Arak University, Arak, Iran

* P.O.B. 19395-1999, Tehran, Iran, Vtahmasbi@Mail.kntu.ac.ir

ABSTRACT

Dry electro discharge machining is one of the newest machining processes on which studies are remarkably expanding. Its advantages include being environment friendly, low process costs, simple tools and equipment, optimized machining parameters and cheap dielectric. Considering fast expansion of this machining process, its optimized performance is desirable. Considering the material removal rate and the addition of the gas pressure and electrode rotational speed comparing to the conventional spark machining makes the analysis of effective parameters on material removal rate necessary for improving the process performance. In this study, the effect of different parameters such as machining gap voltage, electro discharge current, pulse on-time, pulse on-time to pulse off time ratio, dielectric gas pressure and tool rotational speed on material removal rate were studied using Sobol statistical sensitivity analysis method. In comparison with the other methods, it possesses the advantage of determining the quantitative values of parameters' effect. Results from sensitivity analysis reveals that among input parameters, discharge current has the most influence on the material removal rate and the gas pressure and rotational speed of the electrode are significant parameters which control the material removal rate. Furthermore, it was observed that machining gap voltage has the lowest influence on the material removal rate which can be removed from the model for simplification.

Keywords: Dry EDM, Material Removal Rate, Sensitivity Analysis, Sobol Statistical Method.

۱- مقدمه

ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک به‌عنوان یکی از جدیدترین فرآیندهای نوین ماشین‌کاری می‌باشد که تحقیق و مطالعه بر روی آن به سرعت در حال گسترش و پیشرفت است. اساس کار ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی بر پایه‌ی اثرات حرارتی ناشی از تخلیه الکتریکی است [۱]. این نوع ماشین‌کاری از جمله فرآیندهای نوین ماشین‌کاری برای دستیابی به نرخ براده‌برداری بالا در ماشین‌کاری غیرسنتی و مخصوصاً در حالت خشن‌تراشی است. عمده تفاوت این فرآیند با فرآیند ماشین‌کاری معمول تخلیه الکتریکی، استفاده از دی‌الکتریک گازی به جای مایع و همچنین دوران ابزار می‌باشد [۳،۲].

سوراب و همکارانش به بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک به روش شبکه عصبی پرداختند [۴]. گویندان و همکارانش به بررسی پارامترهای مؤثر بر سوراخ‌کاری تخلیه الکتریکی خشک در نرخ براده‌برداری پرداختند که آزمایش‌های آن‌ها به روش تاگوچی طراحی و تحلیل شده است [۵]. قریشی و طهماسبی با در نظر گرفتن ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری، جریان، زمان روشنی و خاموشی پالس، فشار گاز دی‌الکتریک و سرعت دوران الکترود به عنوان متغیرهای ورودی مؤثر در فرآیند، بهینه‌سازی

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

V. Tahmasbi, M. Ghoreishi, M. Taheri, Sensitivity analysis of material removal rate in dry electro-discharge machining process, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 382-386, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

به روش سطح پاسخ برای بهبود ماشین‌کاری از نظر نرخ براده‌برداری را بررسی نموده‌اند [۶].

آنالیز حساسیت، عدم قطعیت در خروجی یک مدل را بررسی نموده و بیان می‌نماید که این عدم قطعیت در خروجی چگونه به عدم قطعیت در ورودی مرتبط می‌گردد [۷]. این روش برای شناسایی پارامترهای مؤثر و غیر مؤثر در مدل خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های آنالیز حساسیت در دو نوع محلی و عمومی طبقه‌بندی می‌شوند [۸]. روش ای فست توسط کوکیر و همکارانش [۹] ارائه شده و سالتلی و همکارانش [۱۰] این روش را بهبود داده‌اند.

تاکنون از روش‌های آماری آنالیز حساسیت جهت بررسی دقیق و کمی میزان تأثیرگذاری پارامترهای مختلف بر نرخ براده‌برداری در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک استفاده نشده است.

در این مقاله ابتدا به بررسی کلی فرآیند ماشین‌کاری تخلیه‌الکتریکی خشک پرداخته شده است و سپس روش‌های مختلف آنالیز حساسیت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پس از آن، روش آنالیز حساسیت آماری سوبل مورد بررسی قرار گرفته است و با استفاده از این روش به بررسی تاثیر پارامترهای ورودی مختلف بر روی پارامتر خروجی نرخ براده‌برداری پرداخته شده است.

نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت آماری نتایج نشان می‌دهد که از بین پارامترهای ورودی، پارامتر ورودی ولتاژ کم‌ترین تأثیر را بر پارامتر خروجی نرخ براده‌برداری داشته و می‌توان آن را تحت عنوان پارامتر کم اثر در ساده‌سازی معادلات در نظر گرفت. همچنین پارامتر ورودی جریان دارای بیشترین اثر بر پارامتر خروجی نرخ براده‌برداری بوده و حتماً باید به دقت اثرات تغییر این پارامتر در فرآیند مورد توجه قرار گیرد.

۲- شرح مسأله

در این بخش ابتدا مختصری به ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک پرداخته شده و سپس آنالیز حساسیت و روش‌های مختلف آن شامل روش گرافیکی، ریاضی و آماری به طور مختصر بررسی شده و سپس با توجه به نیاز به بررسی تأثیر متقابل بین ورودی‌های مختلف، روش آنالیز حساسیت آماری سوبل جهت تحلیل و بررسی اثر پارامترهای مختلف انتخاب گشته و به شرح مختصر آن پرداخته شده است.

۲-۱- ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک

ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی یکی از پرکاربردترین روش‌های ماشین‌کاری غیرسنتی می‌باشد که در سال‌های اخیر مطالعه و پژوهش پیرامون آن در حال گسترش است. نرخ براده‌برداری از جمله خروجی‌های بسیار مهم در طی فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از مرجع [۶] مدل نرخ براده‌برداری به‌صورت کد[1] شده برحسب متغیرهای ورودی ماشین‌کاری به‌صورت رابطه (۱) خواهد بود:

$$\begin{aligned} MRR = {} & 2.0459 + 0.109\,Vg + 1.0150 I_d + 0.121 T_{on} \\ & + 0.3275 D\% + 0.2675 P + 0.52 N + 0.1379 I^2 \\ & - 0.1421 T_{on}^2 + 0.15 V_g \times P + 0.1712 I_d \times D\% \\ & + 0.2256 I_d \times P + 0.365 I_d \times N \\ & - 0.1362 T_{on} \times D\% - 0.165 P \times N \end{aligned} \qquad (۱)$$

۲-۲- روش‌های آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت ابزاری جهت بررسی سیستم‌ها و تعیین تأثیر پارامترهای ورودی بر روی متغیرهای خروجی سیستم‌ها می‌باشد. آنالیز حساسیت را به چند طریق طبقه‌بندی می‌کنند. برحسب کاربرد که به نوع قطعی یا احتمالی است یا برحسب فرم مدل، که به روش‌های گرافیکی، ریاضی و آماری طبقه‌بندی می‌شود.

روش گرافیکی: در این روش تحلیل حساسیت، حساسیت را در فرم‌هایی به‌صورت نمودار و جدول یا سطوح نمایش می‌دهند. از روش گرافیکی عموماً برای نشان دادن تغییرات خروجی‌ها تحت تأثیر ورودی‌ها استفاده می‌شود.

روش ریاضی: در روش ریاضی، حساسیت را از روی تغییرات خروجی برحسب تغییرات ورودی به‌دست می‌آورند. این روش‌ها عموماً درگیر محاسباتی هستند که به بررسی خروجی به ازای مقدار کمی تغییر در ورودی می‌پردازد.

روش آماری: این تحلیل حساسیت به‌صورت توزیع احتمالی به شبیه‌سازی ورودی می‌پردازد، سپس تأثیر این ورودی را بر خروجی ارزیابی می‌کند. در این روش می‌توان اثر متقابل بین چندین ورودی را بر روی خروجی مشخص کرد.

روش سوبل یکی از روش‌های آنالیز حساسیت آماری و مستقل از مدل است که بر پایه‌ی تجزیه واریانس می‌باشد. از این روش می‌توان برای توابع و مدل‌های غیرخطی و غیریکنواخت استفاده کرد [۱۱].

در این روش برای مدل تعریف شده با تابع $Y=f(X)$، که Y خروجی مدل و $X(x_1,x_2,\dots,x_n)$ بردار پارامترهای ورودی می‌باشد، و واریانس خروجی مدل (V) به‌صورت مجموع واریانس‌های هر ترم تجزیه شده به‌صورت رابطه (۲) می‌باشد:

$$V(Y) = \sum_{i=1}^{n} V_i + \sum_{i\le j\le n}^{n} V_{ij} + \dots + V_{1,\dots,n} \qquad (۲)$$

که در آن، V_i تأثیر مرتبه‌ی اول برای هر فاکتور ورودی ($V_i = V[E(Y|x_i)]$) و $V_{ij} = V[E(Y|x_i,x_j)] - V_i - V_j$ تا $V_{1,\dots,n}$ برهم‌کنش بین n فاکتور را نشان می‌دهند.

شاخص‌های حساسیت به‌صورت نسبت واریانس هر مرتبه به واریانس کلی به دست می‌آیند ($S_i = \frac{V_i}{V}$ شاخص حساسیت مرتبه‌ی اول، $S_{ij} = \frac{V_{ij}}{V}$ شاخص حساسیت مرتبه‌ی دوم و ...).

شاخص حساسیت کلی یا همان تأثیر کلی هر پارامتر به صورت مجموع همه‌ی مرتبه‌های شاخص حساسیت برای آن پارامتر به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$S_{Ti} = S_i + \sum_{i\neq j} S_{ij} + \dots \qquad (۳)$$

معادلات و روابط روش سوبل در مرجع [۱۲] به طور کامل ارائه شده است.

۳- آنالیز حساسیت پارامترها

در این بخش به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک بر نرخ براده‌برداری در این نوع ماشین‌کاری پرداخته شده است.

شکل‌های ۱ تا ۶ پراکندگی نقاط نرخ براده‌برداری با تغییرات همزمان شش پارامتر ورودی را نشان می‌دهد. نقاط پراکنده موجود در این شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار سیملب[2] و به روش سوبل استخراج شده‌اند. در روش سوبل برخلاف روش‌های گرافیکی، که در آن‌ها تمامی ورودی‌ها به‌جز یک ورودی ثابت است، با استفاده از الگوریتمی خاص تمامی پارامترها به‌طور همزمان تغییر می‌نمایند که برای توضیحات بیشتر می‌توان به مرجع [۱۱] مراجعه

1. Coded unit
2. SimLab

www.SID.ir

Archive of SID

نمود.

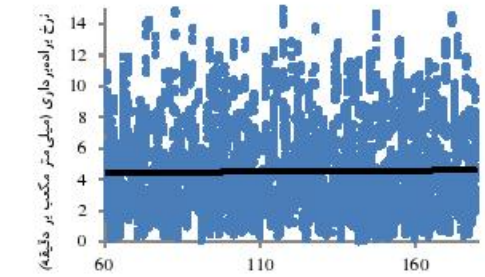
شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش میزان ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری، نرخ براده‌برداری به‌صورت نسبتاً خطی و با نرخ بسیار کم افزایش می‌یابد. بیان این نکته مهم است که به‌طورکلی همان‌گونه که در تحلیل نمودار مشخص است، تغییرات ولتاژ ممکن است در مشخصه‌های ماشین‌کاری اثر قابل توجهی نداشته باشد، زیرا ولتاژی که بر روی ماشین تنظیم می‌گردد، ولتاژ منبع قدرت بوده (ولتاژ مدار باز) و ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری که در آن اسپارک رخ می‌دهد معمولاً ۰/۲۰ تا ۰/۲۵ این ولتاژ است [۱].

شکل ۲ نیز بیانگر این امر است که با افزایش جریان، نرخ براده‌برداری افزایش خواهد یافت که این افزایش نرخ در جریان‌های پایین نسبت به جریان‌های بالا چشم‌گیرتر می‌باشد. با افزایش جریان، انرژی تخلیه شده در دهانه‌ی ماشین‌کاری بیشتر شده و چاله‌ی مذاب عمیق‌تر و بزرگ‌تری تولید می‌نماید که منجر به افزایش نرخ براده‌برداری می‌گردد [۱].

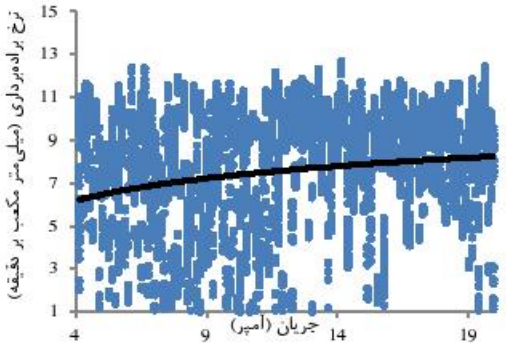
شکل ۳ اثر زمان روشنی پالس بر نرخ براده‌برداری را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان اثر روشنی پالس در بازه زمانی داده شده را ناچیز و قابل صرف‌نظر دانست. در ابتدا با افزایش زمان روشنی پالس نرخ براده برداری به دلیل انرژی بیشتر در دهانه افزایش می‌یابد و به یک حداکثری رسیده و پس از آن دیگر افزایش زمان روشنی اثر مناسبی نخواهد داشت. دلیل آن این است که با افزایش بیشتر زمان روشنی، قطر ستون کانال پلاسما افزایش می‌یابد و تمرکز انرژی بر روی سطح کاهش یافته و منجر به چاله‌های مذاب کوچکتر و با عمق کمتر می‌گردد. در نتیجه افزایش زمان روشنی پالس تا حد معینی مناسب می‌باشد [۱].

شکل ۴ نیز نشان دهنده‌ی افزایش نرخ براده‌برداری با افزایش درصد نسبت روشنی به خاموشی پالس می‌باشد. در مورد زمان خاموشی پالس توضیح این نکته ضروری است که در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی با کاهش زمان خاموشی پالس نرخ براده‌برداری افزایش می‌یابد ولی از طرف دیگر باید توجه داشت که کم کردن بیش از حد این زمان سبب می‌گردد تا زمان کافی به دی‌یونیزه شدن دی‌الکتریک داده نشود و شرایط پس از اسپارک اول برای اسپارک بعدی آماده نگردد و منجر به جرقه‌ی ناخواسته گردد که این هم به نوبه خود سبب ناپایداری فرآیند ماشین‌کاری می‌گردد [۱].

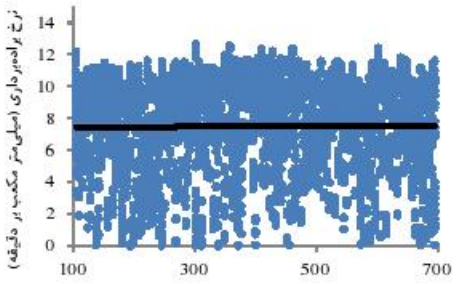
فشار ورودی گاز و سرعت دوران الکترود فاکتورهای ویژه‌ی ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک می‌باشند. شکل ۵ نمایش دهنده‌ی افزایش نسبی نرخ براده‌برداری با افزایش فشار گاز دی‌الکتریک می‌باشد، که این افزایش در فشارهای پایین‌تر بیشتر می‌باشد. افزایش فشار گاز ورودی باعث افزایش پایداری ستون پلاسما در دی‌الکتریک گازی می‌گردد و همچنین با توجه به شستشوی بهتر دهانه و خروج ذرات و اکسید شدن بهتر براده‌ها به افزایش نرخ براده برداری کمک می‌نماید.



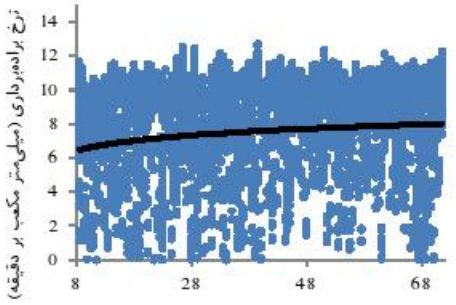
شکل ۱ اثر ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری بر نرخ براده‌برداری



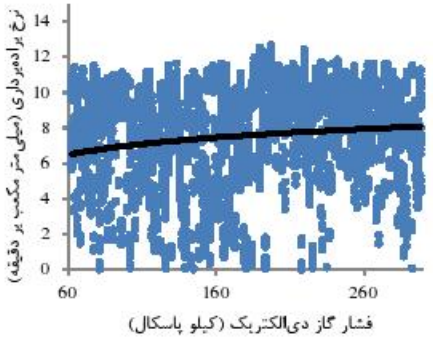
شکل ۲ اثر جریان بر نرخ براده‌برداری



شکل ۳ اثرزمان روشنی پالس بر نرخ براده‌برداری



شکل ۴ اثر نسبت زمان روشنی به خاموشی پالس بر نرخ براده‌برداری



شکل ۵ اثر فشار گاز دی‌الکتریک بر نرخ براده‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID

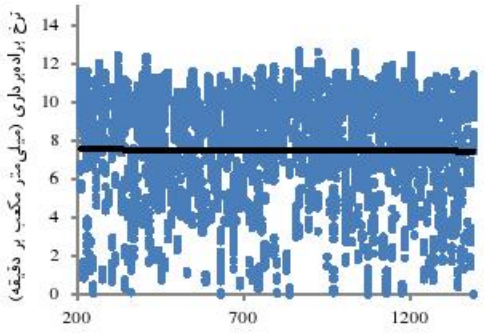
شکل ۶ نیز تأثیر جزئی سرعت دورانی الکترود بر نرخ براده‌برداری را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج موجود در شکل‌های ۱ تا ۶ مشخص می‌گردد که در بازه‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای ورودی در این مقاله (شامل ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری، جریان تخلیه الکتریکی، زمان روشنی و خاموشی پالس، نسبت زمان روشنی به خاموشی پالس، فشار گاز دی‌الکتریک و سرعت دوران ابزار) از بین ۶ پارامتر موجود، پارامتر جریان (شکل ۲) بیشترین تأثیر را بر نرخ براده‌برداری دارد، زیرا در بازه‌ی تغییرات مورد بررسی برای این پارامتر (بین ۴ تا ۲۰ آمپر) شیب کلی تغییرات منحنی گرافیکی این پارامتر از سایر پارامترها بیشتر می‌باشد.

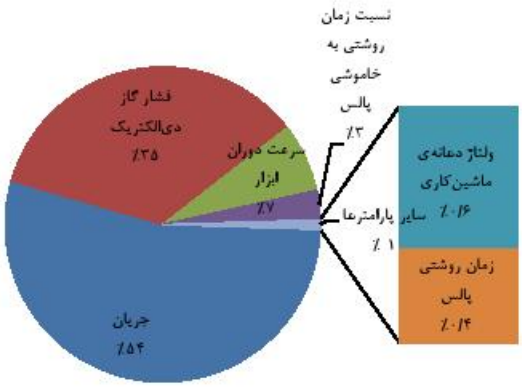
مقایسه‌ی کلی شکل‌های ۱ تا ۶ نیز نشان دهنده‌ی آن است که در بازه‌های مورد بررسی برای پارامترهای ورودی، بعد از پارامتر جریان، پارامتر فشار گاز دی‌الکتریک نیز که در بازه‌ی ۶۰ تا ۳۰۰ کیلو پاسکال متغیر است، تأثیر قابل توجهی بر نرخ براده‌برداری دارد.

همچنین نتایج به دست آمده بیانگر این امر است که پارامتر ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری در بازه‌ی مورد بررسی (بین ۶۰ تا ۱۸۰ ولت) دارای کم‌ترین تأثیر بر نرخ براده‌برداری می‌باشد، زیرا با توجه به شکل ۱ مشخص می‌گردد که نمودار گرافیکی تغییرات این پارامتر شیب بسیار کم و نزدیک به صفر داشته و این شیب نسبت به شیب نمودارهای سایر پارامترها بسیار جزئی و ناچیز است.

با توجه به شکل ۷ که نتایج آنالیز حساسیت پارامترها به روش سوبل را نشان می‌دهد نیز صحت نتایج به دست آمده تأیید می‌گردد. شکل ۷ نشان



شکل ۶ اثر سرعت دوران الکترود بر نرخ براده‌برداری



شکل ۷ درصد تأثیر پارامترهای مختلف بر نرخ براده‌برداری به روش سوبل

می‌دهد که از بین تمامی ۶ پارامتر ورودی، با توجه به درصدهای به دست آمده از روش آنالیز حساسیت آماری سوبل و با استفاده از نرم‌افزار سیملب که با الگوریتمی خاص پارامترهای ورودی را به طور همزمان تغییر داده و اثر آن را بر پارامتر خروجی بررسی می‌نماید [۱۱]، پارامتر جریان با ۵۴ درصد تأثیرگذاری، بیشترین اثر را بر روی نرخ براده‌برداری دارد. پس از پارامتر جریان نیز فشار گاز دی‌الکتریک با ۳۵ درصد تأثیرگذاری به عنوان دومین پارامتر اثرگذار بر روی نرخ براده‌برداری شناخته می‌شود.

پس از این دو پارامتر، پارامترهای ورودی شامل سرعت دوران ابزار و نسبت زمان روشنی به خاموشی پالس به ترتیب سومین و چهارمین پارامتر تأثیرگذار بر پارامتر خروجی نرخ براده‌برداری شناخته شده که تأثیر متوسطی دارند.

دو پارامتر ورودی ولتاژ دهانه‌ی ماشین‌کاری و زمان روشنی پالس نیز با کم‌تر از ۱ درصد اثرگذاری به عنوان پارامترهای کم اثر در نرخ براده‌برداری شناخته شده که می‌توان برای ساده‌سازی مسأله از تأثیر آن‌ها صرف نظر نمود.

روش آماری آنالیز حساسیت سوبل، نسبت به آنالیز واریانس این برتری را دارد که علاوه بر مشاهده‌ی تأثیر کیفی پارامترهای ورودی بر پارامتر خروجی، می‌توان تأثیر کمی و دقیق این پارامترها را به طور همزمان به دست آورده و پارامترهای مهم با تأثیرگذاری بالا و پارامترهای کم‌اثر را به طور دقیق شناسایی نمود.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله برای بررسی و تحلیل حساسیت نتایج به دست آمده از روش آماری سوبل استفاده شد که روشی دقیق بوده ولی به زمان بالای اجرا نیاز دارد. در روش سوبل برخلاف روش‌های گرافیکی، که در آن‌ها تمامی ورودی‌ها به جز یک ورودی ثابت است، با استفاده از الگوریتمی خاص تمامی پارامترها به طور همزمان تغییر می‌نمایند و در نتیجه اثرگذاری پارامترهای موثر در فرآیند به نحو دقیق‌تری بدست می‌آیند.

فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک از جمله فرآیندهای ماشین‌کاری برای دستیابی به نرخ براده‌برداری بالا در ماشین‌کاری غیرسنتی و به‌ویژه در حالت خشن تراشی می‌باشد. با انجام تحقیقات گسترده بر روی این فرآیند از جمله نوع گاز و ترکیب آن با مایع دی‌الکتریک در حیطه‌های مختلف ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک از جمله فرز و سیم برش و همچنین بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی این فرآیندها، می‌توان به‌طور قابل ملاحظه‌ای این فرآیندها را بهبود بخشید.

بررسی‌های صورت گرفته در این مقاله نشان می‌دهد که جریان و فشار گاز دی‌الکتریک به عنوان دو پارامتر مهم و تأثیرگذار در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک شناخته شده که تأثیر فراوانی بر نرخ براده‌برداری خواهند داشت، لذا با توجه به نوع فرآیند موردنظر، انتخاب دقیق جریان و فشار گاز دی‌الکتریک بسیار مهم و ضروری می‌باشد.

همچنین نتایج به‌دست آمده بیانگر این امر است که برای دستیابی به نرخ براده‌برداری بالا در این فرآیند، باید جریان، فشار گاز دی‌الکتریک و نسبت روشنی به خاموشی پالس را تا حد بهینه و در بازه‌های داده شده بیشتر نمود.

۵- مراجع

[1] M. Ghoreishi, *Electrical Discharge Machining*, Second Edittion, pp. 11-40, Tehran: KNT University OfTechnology, 2009. (In Persian)
[2] M. Kunieda, M. Yoshida, and N. Taniguchi, Electrical Discharge Machining in Gas, *CIRP Annals–Manufacturing Technology*, Vol 46,

www.SID.ir

Archive of SID

pp.143-146, 1997.

[3] NASA, Inert-Gas Electrical-Discharge Machining, *NASA Technical Brief No. NPO-15660*, Vol. 160, No. 9, pp.1-9, 1984.

[4] S. Sourabh, K. Saha, and S.K. Choudhury, Experimental investigation and empirical modeling of the dry electric discharge machining process, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 49, pp. 297-308, 2009.

[5] P. Govindan and S. S. Joshi, Experimental Characterization of Material Removal in Dry Electrical Discharge Drilling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 50, No. 5, pp. 431-443, 2010.

[6] M. Ghoreishi and V. Tahmasebi, Optimization of material removal rate in dry electro-discharge machining process, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 12, pp. 113-121, 2015. (In Persian)

[7] A. Saltelli and I. M. sobol, about the use of rank transformation in sensitivity analysis of model output, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 50, pp. 225-239, 1995.

[8] A. Saltelli, K. Chan, and E. Scott, sensitivity analysis Wiley series in probability and statistics, *Willey*, New York, 2000.

[9] R. Cukier, H. Levine, and K. Shuler, Nonlinear sensitivity analysis of multiparameter model systems, *Journal of computational physics*, Vol. 26, pp. 1-42, 1978.

[10] A. Saltelli, S. Tarantola, and K. S. Chan, A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output, *Technometrics*, Vol. 41, pp. 39-56, 1999.

[11] I. M.Sobol, Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models, *Math. Model. Comput. Exp*, Vol. 14, pp. 407-414, 1993.

[12] M. H. Korayem, Z. Rastegar, and M. Taheri, Sensitivity analysis of contact mechanics models in manipulation of biological cell, *Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 2, pp. 49-56, 2012.

www.SID.ir