



## بررسی و مطالعه اثر نوع و فشار گاز بر عملکرد فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک

فریدون رجبی نسب<sup>۱\*</sup>، محمد جعفر حداد<sup>۲</sup>، وحید عابدینی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گرایش ساخت و تولید، دانشگاه سمنان، سمنان

۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، گرایش ساخت و تولید، دانشگاه تهران، تهران

۳- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، گرایش ساخت و تولید، دانشگاه سمنان، سمنان

\* صندوق پستی ۳۵۱۳۱۹۱۱۱، Rajabinasab.f@semnan.ac.ir

### چکیده

کاربرد سیالات برشی در فرآیندهای ماشین‌کاری به علت مسائل اقتصادی و محیط زیست در حال حذف و یا کاهش می‌باشند. یکی از روش‌های ماشین‌کاری که نیاز به سیال دی‌الکتریک به میزان زیاد و با مشکلات اقتصادی و امنیتی و بخصوص محیط زیستی دارد، فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (Electrical Discharge Machining) است. بنابراین فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک امروزه مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش به بررسی نوع و فشار گاز در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک پرداخته شده است. سه نوع گاز (هوا فشرده، آرگون، CO<sub>2</sub>) و سه فشار گاز به عنوان پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بوده و تاثیر آن‌ها بر میزان نرخ براده‌برداری، سایش ابزار و زبری سطح قطعه کار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که هوای فشرده به خاطر ضریب دی‌الکتریک و مقاومت الکتریکی بالا در فشار گاز پایین، نرخ براده‌برداری بالاتر و سایش ابزار بیشتر داشته و با افزایش فشار گاز میزان نرخ براده‌برداری و سایش ابزار کاهش می‌یابد. همچنین از آن‌جا که پدیده‌ی آرک باعث افزایش زبری سطح قطعه کار می‌گردد، گاز آرگون به علت ایجاد این عامل دارای بالاترین میزان زبری سطح قطعه کار است.

کلید واژگان: ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی، نرخ براده‌برداری، نرخ سایش ابزار، زبری سطح قطعه کار

## Investigation and study the effect of the gas type and pressure on the performance of near dry electrical discharge machining

Fereydoon Rajabinasab<sup>1\*</sup>, Mohamad Jafar Hadad<sup>2</sup>, Vahid Abedini<sup>1</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

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

\* P.O.B. 3513119111, semnan, Iran, Rajabinasab.f@semnan.ac.ir

### ABSTRACT

The use of the cutting fluids in the machining processes were removed or reduced due to the environmental and economic problems. One of the machining processes that require the high levels of security and economic problems is electrical discharge machining process. So, nowadays the dry and near dry electrical discharge machining process has been considered. In this paper, the effect of the gas type and pressure has been studied in near dry electrical discharge machining. Three gases (compressed air, argon, Co<sub>2</sub>) and three gas pressures as the parameters are considered in this study and their effects on material removal rates, tool wear and workpiece surface roughness are investigated. The results showed that the compressed air has higher material removal rate and tool wear rate due to the higher dielectric coefficient and electrical resistance in the low gas pressure. By increasing gas pressure, tools wear and material removal rate are reduced. Also, the argon has the highest level of workpiece surface roughness because the arc phenomenon increases the surface roughness of the workpiece.

**Keywords:** Electrical Discharge Machining, Material Removal Rate, Tool Wear Rate, Surface Roughness.

خطر آتش‌سوزی بسیار است. همه این موارد باعث توسعه فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک با استفاده از مخلوط گاز و مایع شده است [۱]. کائو و همکاران به بررسی فرآیند برش کاری سیمی و سوراخ‌کاری تخلیه الکتریکی خشک، غوطه‌وری و نیمه خشک پرداختند. آن‌ها اظهار داشتند که در ماشین‌کاری خشک نرخ براده‌برداری بالا بوده و تیز بودن لبه برش در وایبرکات و رسوبات باقی‌مانده (لایه ریکست) در مقایسه با ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی غوطه‌وری کمتر است. در ماشین‌کاری نیمه خشک با انرژی تخلیه کم، درصد نرخ براده برداری بیشتر بوده و فاصله گپ کوچکتر است. با این حال مکان‌های حرارتی بالاتر در الکتروود ماشین‌کاری نیمه خشک

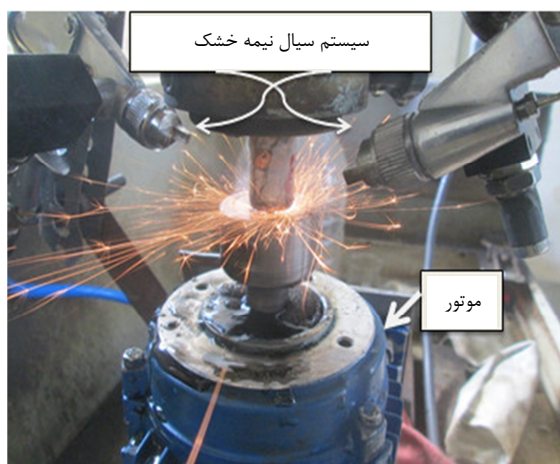
### ۱- مقدمه

امروزه تولید سبزی یک استراتژی منطقی برای رقابت بهتر در فضای کسب و کار است. تولید سازگار با محیط زیست روند جدید حتی در زمینه تولید قطعات فلزی است. محققان در حال توسعه راه‌های تولید بدون آلاینده و نیز تضمین الزامات فنی مانند نرخ براده‌برداری بالا، دقت در ابعاد، سایش ابزار کم و حداقل زبری سطح و غیره هستند. یکی از روش‌های تولید که دارای آلاینده‌ی زیاد می‌باشد فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی است. در این روش به دلیل استفاده از روغن‌های معدنی به عنوان دی‌الکتریک و تجزیه شیمیایی آن در درجه حرارت‌های بالا احتمال بروز گازهای سمی و حتی

Please cite this article using:

F. Rajabinasab, M.J. Hadad, V. Abedini, Investigation and study of the kind and the gas pressure effect on the performance of near dry electrical discharge machining, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 360-364, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:



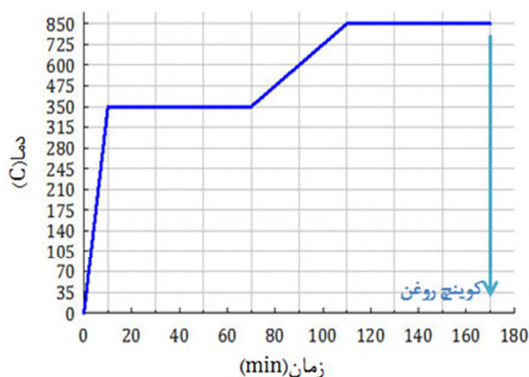
شکل ۱ نمایشی از سیستم پاشش سیال و موتور نصب شده بر روی میز

جدول ۱ آنالیز XRF ابزار مس مورد مطالعه

عنصر	Cu	Sb	Sn	Ca	S	Cl	Mg
درصد وزنی	۹۹/۴۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۴۷

جدول ۲ خواص فیزیکی مس، AISI4140

مس	AISI4140
وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	۸/۹۶
نقطه ذوب (°C)	۱۰۸۴
مقاومت الکتریکی (mΩm)	۱۵/۴۳
گرمای ویژه (KJ/ kg k)	۰/۳۹
رسانای الکتریکی (W/mk)	۴۰۱



شکل ۲ نمودار عملیات حرارت قطعه کار

نیمه خشک پرداخته شده است. سه نوع گاز (هوافشرده، آرگون، CO<sub>2</sub>) و سه فشار گاز به عنوان پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بوده. شدت جریان تخلیه الکتریکی، فشار گاز و زمان روشنی و خاموشی پالس به عنوان پارامترهای متغیر در نظر گرفته شده است که در جدول ۳ مشاهده می شود. جهت افزایش سرعت براده برداری زمان روشنی پالس بیشتر از زمان خاموشی پالس قرار گرفته. زمان روشنی و خاموشی پالس در هر شدت جریان تخلیه الکتریکی متفاوت می باشد، به خاطر شرایط و محدودیت سطح مقطع ابزار و شدت جریان تخلیه الکتریکی عبوری از آن که در کاتالگ دستگاه اسپارک پیشراشه جهت تنظیم زمان های روشنی و خاموشی پالس آمده است به منظور

وجود دارد که منجر به شکستن سیم در وایرکات و سایش الکتروود ابزار در سوراخ کاری تخلیه الکتریکی می شود [۲]. وگنر و همکاران به بررسی اثر اکسیداسیون گاز در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی خشک پرداخته و از هوا فشرده، دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) و اکسیژن به عنوان سیال دی الکتریک گاز استفاده کردند، آن ها اعلام کردند که نرخ براده برداری در اکسیژن بهتر بوده و فشار گاز مختلف باعث به وجود آمدن اکسیداسیون مختلف و در نتیجه تاثیر بر روند براده برداری می شود [۳]. کوزاک و همکاران به بررسی فرآیند تخلیه الکتریکی خشک پرداخته و از هوافشرده، آرگون، نیتروژن و هگزا فلوراید به عنوان گاز مورد مطالعه استفاده کرد. نتایج بدست آمده آن ها نشان می دهد که هوافشرده بیشترین نرخ براده برداری و کمترین زبری را دارد در مقابل آرگون پایین ترین نرخ براده برداری و بالاترین زبری سطح را دارد [۴].

در این پژوهش به بررسی نوع و فشار گاز در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک پرداخته شده است. سه نوع گاز (هوافشرده، آرگون، CO<sub>2</sub>) و سه فشار گاز به عنوان پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بوده و تاثیر آن ها بر میزان نرخ براده برداری، سایش ابزار ۲ و زبری سطح ۳ قطعه کار مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- شرایط تجربی آزمایش

### ۲-۱- تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش

جهت انجام تست ها از دستگاه اسپارک پیشراشه مدل ۵۱۱ با ژنراتور ایزوپالس استفاده شده است. به علت ثابت بودن کنگی دستگاه اسپارک و قادر نبودن چرخش ابزار، قطعه کار چرخانده شده است، به این منظور از یک موتور AC سه فاز و اینورتر جهت تامین دوران قطعه کار بر روی میز دستگاه اسپارک استفاده شده است. برای تامین مخلوط آب و گاز به عنوان سیال دی الکتریک به فاصله گپ در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک با توجه به عدم عبور سیال دی الکتریک از داخل ابزار به منظور بهبود عمل شست و شو و دور کردن براده ها از گپ ماشین کاری دو عدد پیستوله در دو طرف قطعه کار در حال چرخش قرار داده شده است. یک رگلاتور برای تنظیم فشار گاز و یک شیر کنترل برای تنظیم جریان سیال دی الکتریک نصب شده است. شکل ۱ نمایشی از سیستم پاشش سیال و موتور نصب شده بر روی میز را نشان می دهد.

### ۲-۲- قطعه کار و ابزار

قطعه کار مورد استفاده در این مطالعه فولاد استوانه ای از جنس AISI4140، (42CrM04) است که سطوح پیشانی آن سنگ زنی و پرداخت کاری شده و قطر ۲۵ میلی متر و ارتفاع ۲۰ میلی متر دارد که در صنعت به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. قطعه کار جهت سخت کاری، عملیات حرارتی شده و سختی ۵۰±۲ را کول دارد. شکل ۲ نمودار عملیات حرارتی قطعه کار نشان داده شده است. مس استوانه ای با قطر ۱۵±۰/۵ به عنوان ابزار مورد مطالعه بوده است. جداول ۱ و ۲ آنالیز XRF و خواص فیزیکی مس را نشان داده است.

### ۲-۳- شرح آزمایش

در این مطالعه به بررسی اثر نوع و فشار گاز بر عملکرد فرآیند تخلیه الکتریکی

1. Material Removal Rate (MRR)
2. Tool Wear Rate (TWR)
3. Surface Roughness (SR)

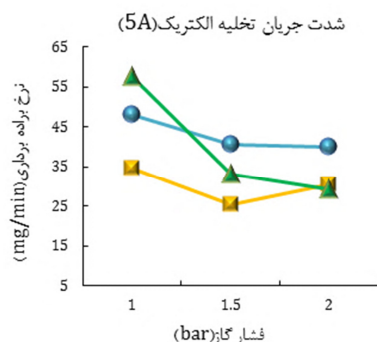
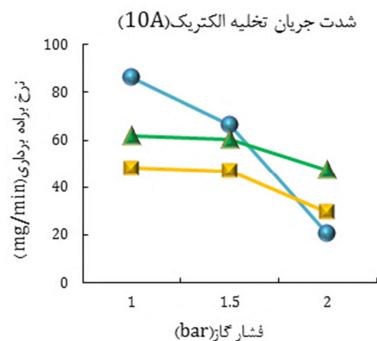
جدول ۵ خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی هوا، آرگون و CO2 در دمای اتاق [۶،۹]

CO2	آرگون	هوا	
۰/۸۸ [۶]	۰/۱۸ [۷]	۳ [۸]	مقاومت الکتریکی (MV/m)
۰/۰۱۴ [۹]	۰/۰۱۶ [۹]	۰/۰۲۶ [۹]	رسانای گرمایی (W/m-k)
۰/۸۴ [۹]	۰/۵۲ [۹]	۱/۰۴ [۹]	ظرفیت گرمایی (J/g-k)
۰/۰۱۴ [۹]	۰/۰۲۲ [۹]	۰/۰۱۹ [۹]	دینامیک ویسکوزیته (g/m-s)

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نرخ براده برداری

همان طوری که در شکل ۴ نشان داده شده، در شدت جریان تخلیه پایین گاز آرگون بخاطر ایجاد اتصال کوتاه و پدیده جرقه آرک، نرخ براده برداری پایین تری نسبت به سایر گازها در شرایط آزمایش دارد [۴]. در حالی که، هوا فشرده به خاطر ضریب دی الکتریک و مقاومت الکتریکی<sup>۴</sup> بالاتر، نرخ براده برداری بیشتری دارد. در شدت جریان تخلیه الکتریکی بالا، زمان رسیدن به شکست در هوا فشرده کم شده و کانال فرصت بسته شدن را ندارد که در نتیجه شرایط برای ایجاد اتصال کوتاه و پدیده جرقه آرک فراهم می شود. بنابراین در این حالت، نرخ براده برداری افت می نماید. همچنین به دلیل ویسکوزیته<sup>۵</sup> کمتری که هوا فشرده نسبت به گاز آرگون دارد، در فشار بالای گاز، تمرکز کانال خود را از دست داده که باعث افت نرخ براده برداری می شود. در حالی که گاز CO2 به خاطر توانایی بالا در کنترل کانال پلاسما<sup>۶</sup> در فشار های بالاتر نرخ براده برداری بیشتری نسبت به سایر گازها دارد [۳].



جلوگیری از پدیده آرک<sup>۱</sup> ناچار به گرفتن زمان روشنی و خاموشی پالس متفاوت در هر شدت جریان تخلیه الکتریکی بوده. ولتاژ گپ، سرعت دورانی قطعه کار، نرخ سیال دی الکتریک و قطب الکتروود به عنوان پارامترهای ثابت هستند، که در جدول ۴ نشان داده شده است. آب دیونیزه به عنوان سیال در ماشین کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک بوده، زمان انجام هر تست ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. برای اندازه گیری نرخ براده برداری و نرخ سایش ابزار از ترازوی ساتوریس<sup>۲</sup> با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده شده. وزن قطعه کار و ابزار قبل و بعد از انجام تست اندازه گیری شده. نرخ براده برداری (MRR) و نرخ سایش ابزار (TWR) با معادلات (۱) و (۲) بدست می آیند [۵]. شکل ۳ نمایی از انجام تست با گاز CO2 را نشان می دهد.

$$(1) \text{ نرخ براده برداری} = \frac{\text{مقدار ماده برداشته شده از قطعه}}{\text{زمان ماشین کاری (میلی گرم بر دقیقه)}}$$

$$(2) \text{ نرخ سایش ابزار} = \frac{\text{مقدار ماده برداشته شده از ابزار}}{\text{زمان ماشین کاری (میلی گرم بر دقیقه)}}$$

زبری سطح نمونه قطعه کار ماشین کاری شده با زبری سنج مدل ماهر مارسولف PS1<sup>۳</sup> اندازه گرفته شده است. در جدول ۵ خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی گازهای مورد مطالعه نمایش داده شده است.

جدول ۳ شرایط آزمایش

پارامترها	مقدار
شدت جریان تخلیه الکتریکی (A)	۵
زمان روشنی پالس (μs)	۱۰
زمان خاموشی پالس (μs)	۲۵
فشار گاز (bar)	۱/۵

جدول ۴ پارامترهای ثابت آزمایش

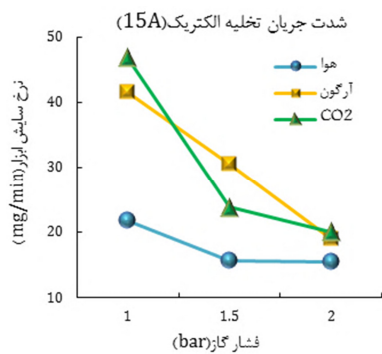
پارامترها	مقدار
سرعت دورانی قطعه کار (rpm)	۶۰۰
نرخ سیال دی الکتریک (ml/hr)	۱۲۰۰
ولتاژ گپ (V)	۳۰
قطب الکتروود	[+]



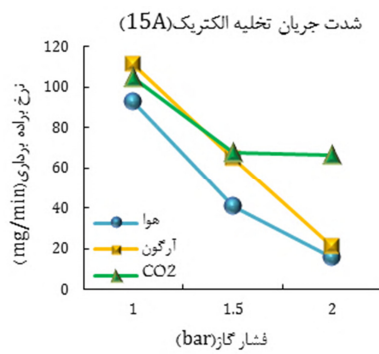
شکل ۳ نمایی از آزمایش CO2

4. Electrical Resistivity  
5. viscosity  
6. Plasma Channel

1. Arc  
2. Sartorius  
3. Mahr Marsurf PS1



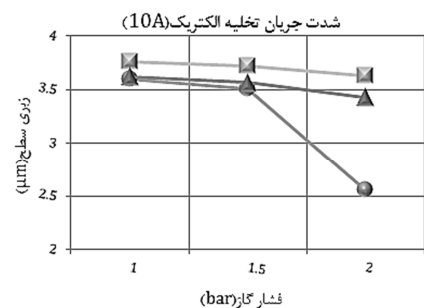
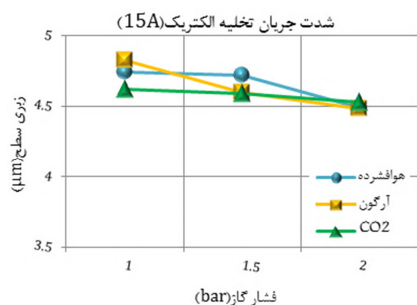
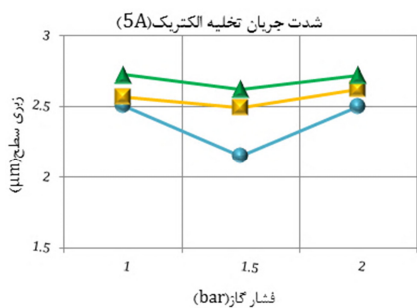
شکل ۵ نمودار بررسی نرخ سایش ابزار



شکل ۴ نمودار بررسی نرخ براده برداری

### ۳-۳- زبری سطح

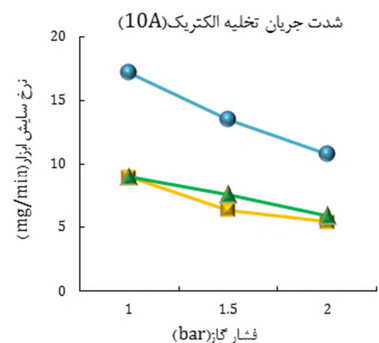
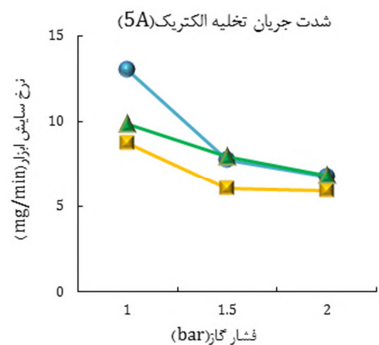
یکی از دلایلی که در زبری سطح قطعه کار در فرآیند تخلیه الکتریکی بسیار موثر می باشد، وجود پدیده ی آرک است. در حالتی که شرایط آزمایش، منجر به واکنش پدیده ی آرک شود نرخ براده برداری کاهش یافته و زبری سطح افزایش می یابد. در هوافشرده به دلیل کاهش پدیده آرک میزان زبری سطح نسبت به گاز آرگون و CO2 کمتر است. در شدت جریان تخلیه الکتریکی بالا، گاز CO2 به دلیل کنترل بهتر کانال پلاسما و کاهش پدیده آرک دارای کیفیت سطح بهتری نسبت به هوافشرده و گاز آرگون است. در شکل ۶ زبری سطح ماشین کاری شده با گاز و فشار مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۶ نمودار بررسی زبری سطح قطعه

### ۲-۲- نرخ سایش ابزار

در گاز آرگون به خاطر ایجاد اتصال کوتاه، زمان غیرماشین کاری افزایش یافته که باعث کاهش براده برداری و متقابل آن کاهش سایش ابزار می شود. هوافشرده با داشتن جرقه های طبیعی و سالم در عملیات براده برداری و افزایش نرخ براده برداری، نرخ سایش ابزار آن نیز افزایش یافته است. CO2 به خاطر کنترل بهتر کانال پلاسما سایش بیشتری از آرگون دارد. با افزایش شدت جریان تخلیه الکتریکی گاز آرگون و CO2 با توجه به این که نرخ براده برداری آن ها افزایش یافته اما هنوز هم در آن آرک وجود دارد که نرخ سایش ابزار به صورت چشم گیری نسبت به هوا فشرده افزایش یافته است. همچنین با افزایش شدت جریان و فشار گاز، گاز آرگون به علت دارا بودن ویسکوزیته بالاتر نسبت به هوا تمرکز کانال پلاسما بیشتری داشته که نرخ براده برداری آن نسبت به هوا بیشتر بوده و در نتیجه سایش ابزار بیشتر شده است. با افزایش فشار گاز در هر سه سطح از انرژی تخلیه و جنس ابزار، به دلیل از دست رفتن پایداری کانال پلاسما سایش ابزار کاهش یافته است. شکل ۵ نرخ سایش ابزار در نوع و فشار گاز مختلف را نمایش داده است.



## ۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به مطالعه نوع و فشار گاز در ماشین کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک با هدف بررسی میزان نرخ براده برداری، سایش ابزار و زبری سطح قطعه کار پرداخته شده است. بدین منظور از ۳ نوع گاز آرگون، هوافشرده و CO<sub>2</sub> و همچنین ۳ فشار گاز ۱، ۱/۵، ۲ به کار گرفته شده است. نتایج حاصله نشان می دهد که:

- ۱- نرخ براده برداری هوافشرده بالاتر از CO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> بالاتر از آرگون می باشد. همچنین با افزایش فشار گاز میزان نرخ براده برداری CO<sub>2</sub> بالاتر است.
- ۲- میزان نرخ سایش ابزار در حالت استفاده از گاز آرگون کمتر از CO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> کمتر از هوا می باشد. با افزایش فشار گاز نرخ سایش ابزار در هر سه سطح از شدت جریان تخلیه الکتریکی و جنس ابزار کاهش می یابد.
- ۳- در شدت تخلیه الکتریکی پایین به دلیل پدیده آرک کمتر هوافشرده زبری سطح بهتری نسبت به CO<sub>2</sub> و آرگون دارد. با افزایش شدت جریان تخلیه الکتریکی و فشار گاز به دلیل پایداری بهتر کانال پلاسما توسط CO<sub>2</sub> پدیده آرک کمتر شده و کیفیت سطح کاهش می یابد.

## ۵- مراجع

- [1] I. Besliu, H. P. Schulze, M. Coteata, D. Amarandei, Study on the dry electrical discharge machining, *International Journal Material Forming*, Vol. 3, pp. 1107-1110, 2010.
- [2] C. C. Kao, J. Tao, A. J. Shih, Near dry electrical discharge machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 47, pp. 2273-2281, 2007.
- [3] R. Roth, F. Kuster, K. Wegener, Influence of oxidizing gas on the stability of dry electrical discharge machining process, *Procedia CIRP*, Vol. 6, pp. 338-343, 2013.
- [4] G. Skrabalak, J. Kozak, M. Zyburka, Optimization of dry EDM milling process, *Procedia CIRP*, Vol. 6, pp. 332 - 337, 2013.
- [5] A. Gholipour, H. Baseri, M. Shakeri, Experimental investigation of near dry EDM process, *Madares Mechanical Engineering*, Vol. 99, No. 9, pp. 9-99, 9999, 2013. (In Persian)
- [6] A. K. Vijh, *IEEE Trans*, EI-12, 313, 1997.
- [7] K. P. Brand, *IEEE Trans*, EI-17, 451, 1982.
- [8] B. A. Vedensky, B. M. Vul, *Encyclopedia Dictionary in Physics*, *Soviet Encyclopedia Publishing House*, vol. 4, 1965.
- [9] C. L. Yaws, *Handbook of Transport Property Data: Viscosity, Thermal Conductivity, and Diffusion Coefficients of Liquids and Gases*, *Gulf Publishing Company*, 1995.