

## پیش بینی صافی سطح قطعات تنگستن کاربایدی (WC-۱۰CO) در فرایند EDM با استفاده از الگوریتم فازی

محمد رضا شبگرد<sup>۱</sup>، گوهر رنجبری<sup>۲</sup>

### چکیده

با توجه به محدوده وسیع پارامترهای تنظیمی در فرایند EDM و مشکلات مربوط به اندازه گیری عملی پارامترهای خروجی لزوم پیش بینی آنها به ازای تمامی متغیرهای ورودی کاملاً ضروری می باشد. هدف این مقاله پیش بینی زبری سطح<sup>۱</sup> (Ra) قطعه کار تنگستن کاربایدی (WC-۱۰CO) بر اساس پارامترهای ورودی فرایند EDM (شدت جریان جرقه (I)، زمان روشنی پالس (Ti)) با استفاده از الگوریتم فازی می باشد. نتایج این تحقیق نشان می دهد، مدل فازی، انتخاب دقیق و آسان پارامترهای ورودی را میسر می سازد و به کاهش زبری سطح و هزینه های ماشینکاری کمک می کند. نتایج حاصل از ارزیابی، دقت بالای ۹۰٪ را برای مدل ارائه شده تایید می نماید.

**کلمات کلیدی:** ماشینکاری تخلیه الکتریکی - مدلسازی فازی - زبری سطح

### ۱- مقدمه

وجود دارد که بوسیله میکروتورکها قابل شناسایی است و با افزایش شدت جریان و مدت زمان روشنی پالس، عمق لایه آسیب دیده و طول و عرض میکرو ترکها افزایش می یابد. تزنگ و چن [۲] نیز یک مدل فازی بر مبنای روش تاگوچی برای مدلسازی و بهینه سازی ماشینکاری فولاد SKD11 در فرایند EDM ارائه نموده و به این نتیجه رسیده اند که مدت زمان روشنی پالس، شدت جریان و سیکل وظیفه بیشترین تاثیر را روی پارامترهای خروجی در این فرایند دارند. لین و همکاران [۳] برای کنترل دقت در برش قطعات تنگستن کاربایدی به روش وایرکات (Wire-EDM) از یک استراتژی کنترل بر مبنای منطق فازی استفاده کرده اند.

در چند دهه اخیر جهت ماشینکاری مواد سخت<sup>۲</sup> که ماشینکاری آنها توسط روشهای سنتی مشکل است، فرایند EDM به عنوان مناسب ترین فرایند پیشنهاد و به کار گرفته شده است. تنگستن کارباید (WC-۱۰CO) ماده ای بسیار سخت (HV ۱۸۰۰-۱۳۰۰) است که در صنایع قالب سازی و ساخت ابزارهای برشی و ابزارهای EDM در مقیاس میکرو و نانو بطور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. در زمینه کاربردهای EDM در صنعت تحقیقات زیادی انجام شده است. لی و لی [۱] سلامتی سطح قطعات تنگستن کاربایدی در فرایند EDM را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده اند که یک لایه آسیب دیده آشکار در سطح قطعات تنگستن کاربایدی ماشینکاری شده به روش EDM

۱- استادیار گروه مهندسی ساخت و تولید دانشگاه تبریز mrshabgard@yahoo.com

۲- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد هادیشهر granjbary@yahoo.com

ترکیبی US/EDM به علت شستشوی بهتر گپ بیشتر از EDM است. همچنین عبدالله و شبگرد [۶] جهت غلبه بر مشکلات فنی در ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-۱۰CO) ترکیب فرایند EDM و USM را به عنوان بهترین و مطلوب‌ترین گزینه از میان روش‌های متعدد براده برداری پیشنهاد داده‌اند. در این مقاله توسط الگوریتم فازی ارتباط بین پارامترهای ورودی (شدت جریان، زمان روشنی پالس و ارتعاش ابزار) و پارامتر خروجی (زبری سطح) در ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-۱۰CO) با ابزار مسی مدل‌سازی شده است و نتایج آزمایش‌های تجربی دقت بالای ۹۰٪ را تأیید می‌نمایند.

## ۲- مواد و روشها:

آزمایش‌ها توسط ماشین اسپارک مدل DECKEL-DE20 CENTER انجام شده و زبری سطح قطعات ماشینکاری شده توسط زبری سنج Mahr-pertormether M2 اندازه‌گیری شده است. جنس ابزار مس خالص فورج شده می‌باشد. دانسیته قطعه کار و ابزار مسی به ترتیب  $1400 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  و  $8933 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  می‌باشد. برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه کار و سایر شرایط آزمایش در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول (۲): متغیرهای فرایند و شرایط آزمایش

Open circuit voltage (V)	120
Gap average voltage (V)	40
Work piece shape (mm)	Ø10 dia. & 6.5 thickness Ø24
Tool diameter (mm)	Positive
Tool polarity	Kerosene 85%
Dielectric	transformeroil15%
Pulse-on times (µs)	1, 5, 10, 20 and 30
Pulse-off time (µs)	10
Pulse currents (Amp.)	11, 18, 25, 32 and 39
Type of flushing	Normal submerge

(فازی سازی)، انتخاب شکل صحیح توابع عضویت، تعریف قوانین هوشمند فازی و انتخاب روش فازی زدایی (تبدیل مقادیر فازی به مقادیر قطعی) مراحل اصلی ایجاد مدل فازی می‌باشند. در این مقاله از سیستم فازی ساز و غیر فازی ساز ممدانی<sup>۳</sup> استفاده شده است. در این روش بعد از اینکه سیستم فازی هرکدام از متغیرهای ورودی را به تابع عضویت

با استفاده از این کنترلر چند متغیره، خطای ماشینکاری گوشه‌ها در عملیات خشن کاری به کمتر از ۵۰٪ آن در ماشینکاری معمولی می‌رسد و زمان ماشینکاری ۱۰٪ افزایش می‌یابد. در این تحقیق از نرخ پیشروی، ضخامت قطعه کار و زاویه گوشه‌ها بعنوان پارامترهای ورودی و درصد کاهش نرخ پیشروی بعنوان پارامتر خروجی استفاده شده است. به منظور مدل‌سازی ارتباط بین پارامترهای ورودی و خروجی در فرایند EDM، ییلماز و همکاران [۴] یک مدل ساده فازی جهت انتخاب پارامترهای ماشینکاری فولاد ابزار AISI 4340 ارائه داده و بهترین سطوح پارامترهای ورودی را برای پرداخت کاری و خشن کاری بدست آورده‌اند.

همچنین تحقیقات زیادی در زمینه ترکیب فرایند EDM و USM انجام گرفته است. لین و همکاران [۵] تاثیر متغیرهای ورودی (نوع دی الکتریک، سایز ساینده، غلظت مواد ساینده در دی الکتریک، شدت جریان و زمان روشنی پالس) بر روی نرخ براده برداری، فرسایش نسبی ابزار، زبری سطح و ضخامت لایه منجمد شده recast را در ماشینکاری آلیاژ تیتانیوم (Ti-6AL-4V) بررسی کرده اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد نرخ براده برداری، صافی سطح و بازده ماشینکاری در فرایند

جدول (۱): مشخصات قطعه کار تنگستن کاربایدی (WC-۱۰CO)

Nominal composition (by weight)	90% wc- 10%co
Grain size	Fine
ISO range	K15-k30
Hardness ( HV )	1300- 1800
Density ( Kg/m <sup>3</sup> )	14600
Transverse strength(MPa)	3100
Compressive strength (MPa)	5170
Modulus of elasticity (GPa)	620

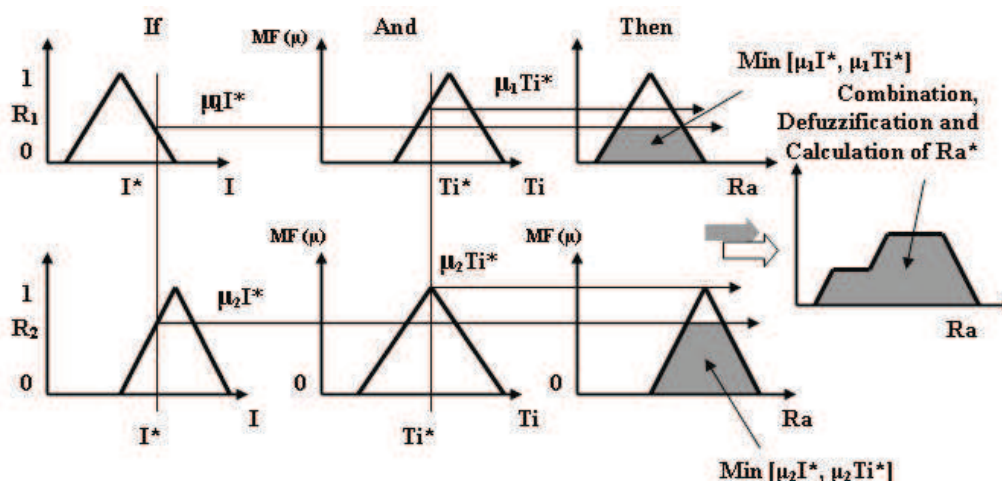
تعداد آزمایشهای بعمل آمده در فرایند EDM، ۲۵ عدد می‌باشد که بصورت فول فاکتوریل انجام شده است. همچنین تعداد ۱۰ عدد آزمایش جهت ارزیابی مدل در نظر گرفته شده است.

## ۳- مدل فازی

در این مقاله از مدل فازی جهت پیش بینی زبری سطح در فرایند EDM استفاده شده است. تشکیل توابع عضویت

باید به مقدار قطعی (غیر فازی) تبدیل گردد. این کار فازی زدایی (Defuzzification) نامیده می‌شود. در این مقاله از روش مرکز سطح جهت فازی زدایی استفاده شده است. در شکل ۱ تمامی مراحل مربوط به مدلسازی زبری سطح توسط روش ممدانی نشان داده شده است.

مربوطه نسبت داد و قوانین شرطی را بر روی آنها اعمال ساخت، عبارات شرطی چند گانه توسط عملگر AND به همدیگر مربوط شده و از بین توابع عضویت ورودی در هر کدام از قوانین، کمترین مقدار بر روی تابع عضویت خروجی اعمال می‌شود. سطح زیر این تابع بعنوان خروجی سیستم فازی

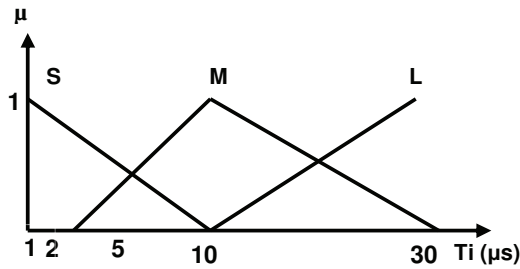


شکل (۱): مدلسازی زبری سطح به روش ممدانی و مرکز سطح

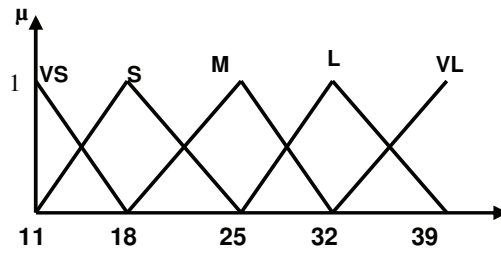
EDM و نمایش گرافیکی مدل فازی بدست آمده برای آزمایش ۱۴ در این فرایند، به ترتیب در جدول ۳ و شکل ۵ نشان داده شده است. در شکل ۵ مکان مثلثها مجموعه‌های فازی معین برای هر ورودی و خروجی را نشان می‌دهند. در این آزمایش مقدار جریان برابر ۲۵ آمپر است که به مجموعه فازی متوسط (M) تعلق دارد. مدت زمان روشنی پالس نیز برابر ۲۰ μs است که مطابق با مجموعه فازی متوسط (M) و بزرگ (L) می‌باشد. با اعمال قوانین فازی نوشته شده همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، زبری سطح به مجموعه (L) تعلق دارد. از ترکیب نواحی تاریک نشان داده شده در شکل ۵ مقدار زبری سطح برای قطعه کار مربوط به آزمایش ۱۴، ۲/۵۲ حاصل می‌شود که با نتیجه تجربی زبری سطح مربوط به قطعه کار فوق (۲/۵) با دقت ۹۹/۲٪ مطابقت دارد.

#### ۴- بحث و بررسی :

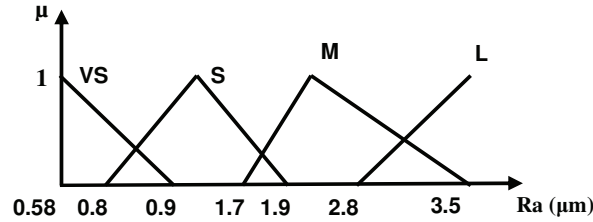
در شکل‌های ۲ تا ۵ توابع عضویت (μ) شدت جریان جرقه، زمان روشنی پالس و زبری سطح نشان داده شده است. مطابق شکل‌های مذکور، تعداد مجموعه‌های فازی برای پارامترهای شدت جریان، زمان روشنی پالس و زبری سطح در فرایند EDM بترتیب برابر با ۵، ۳، ۴ در نظر گرفته شده است. در این فرایند، به ترتیب VS، S، M، L و VL به معنای خیلی کوچک، کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ می‌باشد. در این تحقیق ۱۵ قانون برای تمامی آزمایشها نوشته شده است. روش استنتاج فازی مطابق شکل ۱ بدین ترتیب است که ابتدا دو متغیر ورودی فازی سازی شده و قوانین نوشته شده بر روی آنها اعمال می‌شود. سپس با استفاده از روش مرکز سطح، مقادیر قطعی توابع عضویت متغیر خروجی به دست می‌آیند. به عنوان نمونه قوانین فازی به کار رفته برای زبری سطح در فرایند



شکل (۳): توابع عضویت زمان روشنی پالس



شکل (۲): توابع عضویت شدت جریان

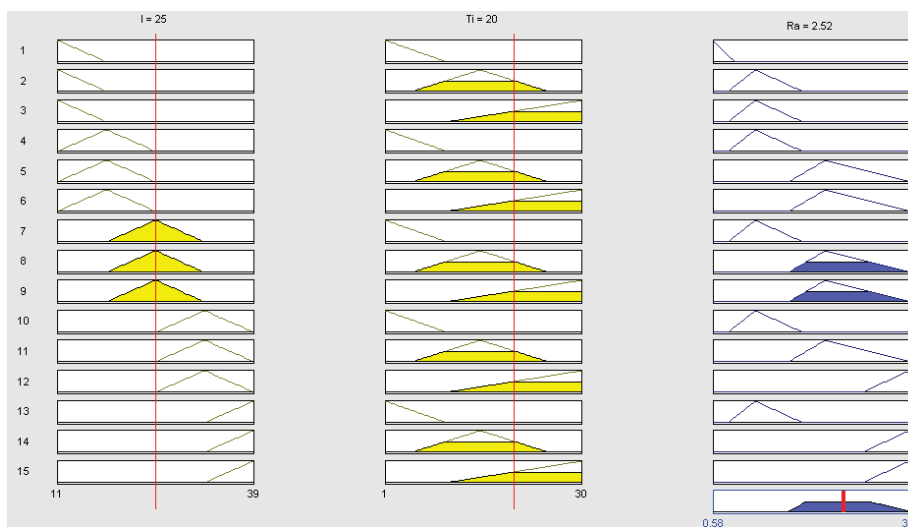


شکل (۴): توابع عضویت زبری سطح در فرایند EDM

جدول (۳): قوانین فازی زبری سطح در فرایند EDM

Ti I	S	M	L
VS	VS	S	S
S	S	M	M
M	S	M	M
L	S	M	L
VL	S	L	L

نتایج حاصل از مدل سازی در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابقت عالی نتایج حاصل از مدل با نتایج مربوط به تست‌های ارزیابی نشان می‌دهند که این مدل با دقت بالای ۹۰٪ ارتباط بین ورودی‌های فرایند (شدت جریان، زمان روشنی پالس) و خروجی فرایند (زبری سطح) را پیش بینی می‌نماید. شکل ۶ نیز سطوح فازی را در فرایند EDM نشان می‌دهند. این شکل به خوبی با نتایج تجربی سازگار است. به گونه‌ای که در تحلیل فرایندها می‌توان از این سطوح استفاده نمود.



شکل (۵): نمایش گرافیکی استنتاج فازی برای آزمایش ۱۴، جهت پیش بینی زبری سطح در فرایند EDM (I شدت جریان (A)، Ti زمان روشنی پالس (μs)، و Ra زبری سطح می‌باشد).

### ۵- نتیجه گیری:

در این مقاله یک سیستم هوشمند فازی جهت انتخاب زبری سطح در فرایند EDM معرفی شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها و مدل فازی نشان می‌دهند در ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-۱۰CO):  
در فرایند EDM، مقدار زبری سطح با افزایش زمان روشنی پالس افزایش می‌یابد.  
با استفاده از سطوح فازی به آسانی می‌توان روابط حاکم بر فرایندها را تحلیل نمود.

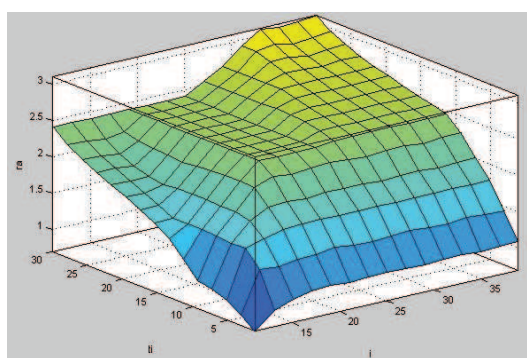
۳- مقایسه نتایج بدست آمده از مدل‌های مربوط به زبری سطح و نتایج تجربی مربوط به ارزیابی آنها، دقت بالای ۹۰٪ را تأیید می‌نماید.  
۴- روش مدل‌سازی فازی می‌تواند به عنوان یک روش اقتصادی و موفق جهت پیش بینی نتایج خروجی فرایند EDM بر اساس پارامترهای ورودی فرایند به کار گرفته شود و سبب بهینه سازی فرایند گردد.

### پی نوشت:

- 1- Surface roughness
- 2- Hard material
- 3- Mamdani

جدول (۴): قسمتی از نتایج مربوط به مدل فازی جهت پیش بینی زبری سطح

شماره آزمایش	ورودی [I (A) Ti(μs)]	نتایج تجربی زبری سطح Ra(μm)	نتایج خروجی مدل فازی Ra(μm)	دقت
۱۰	[۱۸ ۳۰]	۲/۶۸۵	۲/۴۸	٪۹۲/۳۶
۱۴	[۲۵ ۲۰]	۲/۵	۲/۵۲	٪۹۹/۲
۱۶	[۳۲ ۱]	۱/۳۲۹	۱/۳	٪۹۷/۸۱
۱۸	[۳۲ ۱۰]	۲/۴۲۵	۲/۵۲	٪۹۶/۰۸
۲۵	[۳۹ ۳۰]	۳/۴۲	۳/۲۸	٪۹۵/۹



شکل (۶): سطوح فازی زبری سطح در فرایند EDM

### مراجع:

- 1- Lee,S., Li,X., "study of the surface integrity of the machined workpiece in the EDM of tungsten carbide" "Journal of material processing Technology", No.139,pp.315-321,2003.
- 2- Tzeng,Y., Chen,F,"Multi-objective optimization of high-speed electrical discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach.", " Journal of Materials and design", No.28,pp.1159-1168,2007.

- 3- Lin.T., Chung, I., Huang. Sh., "Improvement of machining accuracy by fuzzy logic at corner parts for Wire-EDM", "Fuzzy sets and systems" No.122 ,pp. 499-511,2001.
- 4- Yilmaz.O., Eyercioglu,O., Gindy,N., "A user-friendly fuzzy- base system for the selection of electro discharge machining process parameters", "Journal of material processing Technology",No.172.pp.363-371,2006.
- 5- Lin.y.Ch., Yan.B.H ., Chang.Y.S." Machining characteristics of titanium alloy (Ti-6Al-4V) using a combination process of EDM with USM", " Journal of material processing Technology.",No. 104,pp.171-177, 2000.
- 6- Abdollah, A., shabgard,M.R,"effect of ultrasonic vibration of tool on Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide(WC-Co) ",Proc of 1<sup>st</sup> conf.TICME,Tehran,pp.1-16,2005