

مدل سازی زبری سطح (RA) و نرخ برداشت براده برداری (MRR) در ماشین کاری تخلیه الکتریکی (EDM) با شبکه عصبی - فازی و بهینه سازی آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مهرداد معارف وند^{1*}

گروه ساخت و تولید، رشته مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

چکیده

فرایند EDM یکی از روش‌های پیشرفته براده برداری است که در آن ولتاژ پالسی و منقطع برقرار شده بین دو الکترود ابزار و قطعه کار (که هر دو در سیالی به نام دی الکتریک غوطه‌ورند) باعث ایجاد جرقه در نزدیک‌ترین نقطه در حفاصل بین آن‌ها گردیده و هر جرقه جزء کوچکی از ماده سطح قطعه کار را جدا می‌کند و در نهایت بعد از تعداد زیادی جرقه شکل مکمل پیشانی ابزار در روی قطعه کار حک می‌گردد. مدل سازی کلاسیک از نخستین قدم خطای بزرگی مرتکب می‌شود که فقط در سیستم‌های ساده (خطی یا نزدیک به خطی) قابل صرف نظر است و آن محاسبه‌ی شاخص‌های تمایل به مرکز و پراکندگی است که به این ترتیب اهمیت فردی تک تک داده‌ها از بین می‌رود و در نتیجه سیستم قادر به کشف پیچیدگی‌ها نخواهد بود؛ و برای اغلب مسئله‌های مهندسی با ویژگی‌های گوناگون و روابط غیرخطی قابل استفاده نمی‌باشد. در این تحقیق یک مدل شبکه انفیس بر مبنای داده‌های حاصل از مدل مقیاس آزمایشگاهی برای شبیه سازی ارائه گردیده است. برای این منظور از یک سیستم شبکه عصبی فازی استفاده شده که پارامترهای شبکه فازی توسط الگوریتم ژنتیک بهینه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: ماشین کاری تخلیه الکتریکی، شبکه عصبی - فازی، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک

مقدمه

ماشین کاری با روش تخلیه الکتریکی¹ یکی از روش‌های تولید مخصوص است که کاربرد وسیعی یافته است. این روش یک فرآیند ماشین کاری غیر سنتی یا مخصوص محسوب می‌گردد که امروزه در حال جایگزینی با بسیاری از فرآیندهای ماشین کاری سنتی همچون دریل کاری، تراشکاری، فرزکاری و ... می‌باشد. در این روش برای براده برداری هیچ‌گونه تماس مستقیمی بین قطعه کار و الکترود برقرار نمی‌شود و در نتیجه نیروی فیزیکی نخواهیم داشت. آهنگ جدا شدن فلز یا براده برداری به رسانایی الکتریکی قطعه کار بستگی دارد نه سختی آن. این روش برای ماشین کاری کلیه مواد هادی جریان به کار می‌رود با هر مقدار سختی که داشته باشند و از چهار بخش تشکیل می‌شود: 1- الکترود، 2- قطعه کار، 3- سیال دی‌الکتریک، 4- منبع تأمین جریان چنانچه بین دو الکترود (قطعه کار و الکترود) اختلاف پتانسیلی اعمال شود در اثر برخورد شدید الکترون‌ها به دی‌الکتریک بین دو الکترود مولکول‌های دی‌الکتریک یونیزه می‌شوند و کانالی از یون بین دو الکترود به وجود می‌آید که به آن کانال پلاسما گویند. (پلاسما حالت چهارم ماده است)؛ و در اثر برخورد شدید یون‌ها به قطعه کار باربرداری صورت می‌گیرد (1). با زدن جرقه از یک سو و پیشروی ابزار به سمت قطعه کار از سوی دیگر (به صورت ارتعاش رفت و برگشتی با فرکانس بالا) به مرور زمان شکل ابزار در قطعه کار براده برداری می‌شود. هر جرقه درجه حرارتی بین 8000 تا 12000 درجه سانتی‌گراد تولید می‌کند. اندازه چاله‌ای که هر جرقه از قطعه باربر می‌دارد به میزان انرژی جرقه بستگی دارد که مهم‌ترین عامل مؤثر منبع تأمین جریان است عمق چاله به وجود آمده از چندین میکرون تا 1 میلی‌متر متفاوت است (2).

فرایندهای ماشین کاری الکتریکی به دودسته تقسیم می‌شوند: 1- اولین آن‌ها ماشین‌های تخلیه الکتریکی هستند. در اینجا اثر خوردگی از یک توالی سریع از پالس‌های الکتریکی در از بین بردن فلز از روی قطعه کار بکار گرفته می‌شود. 2- فرایند دوم، فرایندهای الکتروشیمیایی و فرسایش با الکترولیت هستند. فرایند ماشین کاری تخلیه الکتریکی یا به عبارت دیگر ماشین کاری اسپارک بر روی اثر خوردگی جرقه الکتریکی بر روی هر دو الکترود پایه‌گذاری شده است. یاد داشتن این نکته که اگر هر دو قطعه کار و الکترود هم از یک جنس باشند، بیشترین سائیدگی در قطعه‌ای به وجود می‌آید که روی الکترود منفی بسته شده باشد، الزامی است؛ بنابراین برای به دست آوردن خوردگی ماکزیمم از قطعه کار، درحالی‌که الکترودمان سایش بسیار کمی داشته باشد، باید قطعه کار را به پایه منفی و الکترود یا ابزار را به پایه مثبت وصل کنیم (3).

فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی شش مرحله دارد: 1- الکترود به قطعه کار نزدیک شده. هر دو باردار می‌شوند (معمولاً قطعه کار مثبت و الکترود منفی)، 2- (چون سطح الکترود و قطعه کار هر دو در اشل میکرونی دارای پستی و بلندی می‌باشند بنابراین بین دونقطه که نزدیک‌ترین فاصله را نسبت به جاهای دیگر باهم دارند جرقه الکترونی شکل می‌گیرد. 3- N کانال پلاسما شکل می‌گیرد. 4- در اثر تمرکز بالای کانال پلاسما چاله‌ای از قطعه کار ذوب می‌شود. 5- فشار کانال پلاسما بسیار بالا است. با قطع شدن جرقه و در پی آن قطع شدن کانال پلاسما چون مذاب در آن دما و فشار نمی‌تواند دوام داشته باشد به یکباره با حالت انفجاری به اطراف پراکنده می‌شود. 6- دی‌الکتریک با شستشوی خود ذرات پراکنده شده را جمع‌آوری می‌کند (4).

فرایند براده برداری توسط جرقه

قطعه کار در حمامی از دی‌الکتریک غرق می‌شود؛ و این دی‌الکتریک پنج سانتیمتر بالاتر از سطح قطعه کار را می‌پوشاند، این کار از آتش گرفتن دی‌الکتریک در اثر جرقه‌ها جلوگیری می‌کند. الکترود و قطعه کار به دو سر یک منبع ولتاژ DC با ولتاژی بالاتر از 50، 60 ولت وصل شده‌اند. دی‌الکتریک در چرخه‌ای توسط پمپ می‌چرخد. فاصله هوایی برای جرقه‌زنی در حدود 25 تا 100 میکرومتر توسط سرو موتور ثابت نگاه‌داشته می‌شود. زمانی که منبع تغذیه روشن شد، پس از انتخاب مقادیر جریان‌ها،

¹ EDM

ولتاژها، فاصله مجاز *gap*، زمان‌های روشن/خاموش، زمان‌های شستشو و ... با استفاده از ورودی‌های مختلف (مکانیکی با سلکتورها یا به صورت عددی و با استفاده از یک سیستم میکروپروسسوری)، ولتاژ به دو سر الکتروود اعمال می‌شود، با اعمال ولتاژ در فاصله معینی از *gap* جرقه تولید می‌شود، سیال یونیزه شده و تخلیه الکتریکی صورت می‌گیرد، به علت حرکت سیال زیر محل فعال، سیال غیر یونیزه‌ای خواهیم داشت بنابراین باز سیال جداساز خوبی خواهد بود و سیکل ادامه می‌یابد... سیال انتخاب شده باید تا زمان وقوع شکست الکتریکی بعدی، نارسا باقی بماند. زمانی که به ولتاژ دلخواه رسیدیم سیال باید سریع بشکند (شکست الکتریکی) و پس از عمل تخلیه در زمان خاموشی پالس (*off time*) باز سریع غیر یونیزه شده به حالت اول برگردد. در این روش توالی تندی از جرقه‌ها به دست می‌آید (بین 500 تا 50000 جرقه در ثانیه)، هر جرقه‌ای، دمای محلی نقطه جرقه دیده را به حرارت بسیار بالائی در حدود 7000 تا 12000 می‌رساند این جرقه حرارت بالا باعث ذوب این نقطه از مکان جرقه دیده شده و ناحیه مذاب بسیار کوچکی را روی سطح قطعه کار به وجود می‌آورد، در زمان *Off time* دی‌الکتریک سرد به روی این نقطه با حرارت بسار بالا می‌رسد و اختلاف دمای چند هزار درجه‌ای موجب انفجار نقطه ذوب شده می‌شود (5). براده برداری اسپارک: روش ماشینکاری مدرنی است که نتایج بسیار مطلوب آن موجب گسترش هرروزه اسپارک در زمینه‌های مختلف صنعتی می‌شود. نامنظم‌ترین قالب‌ها به راحتی با آن شکل گرفته و آماده می‌شوند.

متأسفانه اکثر قسمت‌های مکانیزم اسپارک بسیار سریع اتفاق می‌افتد و از حیطة دید انسان خارج است. پدیده علمی براده برداری اسپارک ساده است. قطعه کار و ابزار در ناحیه کار بسیار به هم نزدیک می‌شوند درحالی‌که باهم هیچ برخوردی ندارند. ولتاژی بین ابزار و قطعه کار برقرار می‌شود. در ابتدا هیچ جریانی برقرار نمی‌شود چون دی‌الکتریک بین الکتروود و قطعه کار عایق است. اگر فاصله هوایی کاهش یابد، طبق رابطه $E=v/d$ شدت میدان الکتریکی به دلیل فاصله بسیار کم بین 25 تا 100 میکرومتر) بزرگ شده و پیوندهای کووالانسی واتمی دی‌الکتریک را شکسته و آن را یونیزه می‌کند؛ و باریکه‌ای از الکترون‌ها و یون‌های مثبت و منفی بین الکتروود و قطعه کار و به سمت قطب‌های مخالف جاری می‌شود و این یون‌ها تحت این میدان الکتریکی بسیار قوی شتاب گرفته و به الکتروود و قطعه کار برخورد می‌کنند و در برخورد انرژی جنبشی یون‌ها به گرما تبدیل شده و نقطه برخورد بسیار گرم شده و ذوب می‌شود و تبخیر می‌شود؛ و حفره بسیار ریزی مشابه دهانه آتش‌فشان در زیر کانال یونیزه به وجود می‌آید. اگر این پالس قطع نشود دهانه آتش‌فشانی بزرگ و بزرگ‌تر شده و گرمابه لایه‌های داخلی الکتروود و قطعه کار نفوذ می‌کند و سطح هر دو به شدت به هم می‌ریزد. بنابراین پالس باید لحظه‌ای خاموش شود *off time* و کانال دی یونیزه شده و برای پالس جریان بعدی آماده شود (6).

دی‌الکتریک: در ابتدای کشف اسپارک در روسیه از هوا به عنوان دی‌الکتریک استفاده شد. به زودی کشف شد که مشتقات نفت مزایای زیادی نسبت به هوادارند. استحکام آن‌ها زیاد است؛ و با استفاده از مشتقات نفت از گپ کوچک‌تری می‌توان استفاده کرد و کیفیت اسپارک کاری با آن بسیار مطلوب است. در این نوع مواد فرکانس کار اسپارک می‌تواند بیشتر گردد و ذرات برداشته شده به راحتی توسط آن جابجا می‌شوند.

وظایف دی‌الکتریک: 1- جداسازی: یکی از مهم‌ترین فواید دی‌الکتریک عایق سازی بین الکتروود و قطعه کار است. دی‌الکتریک باعث باریک شدن پهنای کانال جرقه نیز می‌شود که این به نوبه خود باعث بالا رفتن کیفیت سطح اسپارک می‌شود. 2- یونیزاسیون: سیال انتخاب شده باید تا زمان وقوع شکست الکتریکی غیر رسانا باقی بماند. زمانی که ولتاژ فاصله هوایی به ولتاژ یونیزاسیون رسید، سیال باید سریع بشکند (شکست الکتریکی) و پس از عمل تخلیه باز سریع غیر یونیزه گردد. 3- خنک‌سازی: دمای جرقه اسپارک در سطح الکتروود و قطعه کار مقداری بین $8000-12000^{\circ}C$ دارد این گرمای بالا قطعه کار را سریع ذوب می‌کند که دی‌الکتریک باید هر دو سطح را خنک سازد. اگر الکتروود خنک نگه داشته شود خوردگی آن نیز کاهش می‌یابد (7).

شرایط لازم دی‌الکتریک: به طور تئوریک همه مایعاتی که عایق باشند می‌توانند به عنوان دی‌الکتریک مورد استفاده قرار گیرند. یک دی‌الکتریک باید شرایط زیر را داشته باشد.

1- فرسایش: فرسایش زیاد قطعه کار داشته باشد درحالی که فرسایش الکتروود توسط یون‌های آن کم باشد. یون‌های مثبت آن بسیار سنگین‌تر از یون‌های منفی آن باشد. 2- تأثیر بر سلامتی: تحریک پوستی نداشته باشد، سمی نباشد، دود تولید نکند و بوی بد نداشته باشد. 3- نقطه اشتعال: دی‌الکتریک نباید زود بخار شده و مشتعل شود. مایعات با درجه اشتعال پائین تر، گازهای زیادی را تولید می‌کنند که این گازها سرعت ماشین‌کاری را پائین آورده و احتمال آتش‌گرفتنی را بالا می‌برد. 4- چگالی: مواد با چگالی بالا نرخ براده برداری بالائی دارند. چگالی مواد معمولاً در دمای 15 درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌شوند. دی‌الکتریک‌های مورد استفاده امروزی چگالی بین 0/750-0820 دارند. 5- چسبندگی یا ویسکوزیته: ویسکوزیته، فاکتور بسیار مهمی است. روغن با ویسکوزیته بسیار بالا برای ماشین‌کاری خوب است؛ و برای این نوع روغن چرخش مابین فاصله هوایی کوچک به‌سختی صورت می‌گیرد. برعکس، این روغن سنگین برای سطوح خشن مناسب است.

در انتخاب روغن مناسب به‌عنوان دی‌الکتریک نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

1- برای ماشین‌کاری کاربرد تنگستن استفاده از نفت سفید مناسب‌تر است. 2- برای ماشین‌کاری قطعات ریز با سطوح صاف (مثل صنعت ساعت‌سازی) نیز از نفت سفید استفاده شود. 3- برای ماشین‌کاری قطعات با اندازه‌های متوسط (که h35 یا آن‌هایی که صافی سطح خوبی را لازم دارند) از روغن با ویسکوزیته بین 6-12cts استفاده شود. 4- برای ماشین‌کاری قطعات بزرگ (با سطوح خشن یا ch36) از روغن با ویسکوزیته بین 12 تا 20cts استفاده گردد.

مهم‌ترین مزایای ماشین‌کاری با روش تخلیه الکتریکی: 1- ماشین‌کاری مدل‌های پیچیده که ساخت آن توسط ماشین‌ابزارهای معمولی دشوار است. 2- ماشین‌کاری مواد فوق‌العاده سخت با تلرانس بسیار بالا. 3- ماشین‌کاری قطعات بسیار کوچک که ماشین‌ابزارهای معمولی قادر به تراش آن نیستند و به علت فشار دستگاه به قطعه آسیب می‌کنند. 4- در فرایند ماشین‌کاری الکتریکی برخلاف ماشین‌کاری مکانیکی فلز ابزار می‌تواند از فلز قطعه کار نرم‌تر باشد و براده برداری نیز هیچ ارتباطی به‌سختی مکانیکی قطعه کار ندارد. هرچند که فلزات سخت کمی سخت‌تر از فلزات نرم براده برداری می‌شوند.

مهم‌ترین عیب ماشین‌کاری با روش تخلیه الکتریکی: 1- عدم توانایی در ماشین‌کاری مواد غیر رسانا هست. 2- سرعت پایین در براده برداری. 3- هزینه ساخت بالا و زمان زیادی که صرف ساختن الکتروودها و دستگاه می‌شود (8)

قابلیت ماشین‌کاری: قابلیت ماشین‌کاری تقریباً مهم‌ترین عامل در تعیین جنس الکتروود است. در بعضی از شرایط ماشین‌کاری مس بیش از 5 برابر از ماشین‌کاری گرافیت زمان می‌برد. چون مس تمایل به پوسته‌شدن، ماسیدگی و پارگی دارد و نیازمند مقداری کار دست برای برداشتن پلیسه‌ها می‌باشد. از آنجایی که مس تمایل به چسبندگی دارد، وقتی که ماشین‌کاری ریب‌های باریک و قسمت‌های ظریف مدنظر باشد مس انتخاب خوبی نیست. همچنین مس مقاومت خوبی در مقابل نیروهای ماشین‌کاری و حرارت حاصل از اصطکاک نداشته و در حمل‌ونقل نیز ضربه‌پذیر است. اما گرافیت همانطور که ذکر شد تا پنج برابر سریع‌تر ماشین‌کاری شده و نیازی به عملیات اضافی همچون پلیسه‌گیری ندارد. ضمن اینکه به خاطر داشتن جرم مخصوص بسیار پایین (1/6-1/8) سبک بوده و حمل‌ونقل آن راحت است.

خوردگی الکتروود: یکی از نگرانی‌های هر اپراتور اسپارک خوردگی الکتروود است، زیرا خوردگی بیش‌ازحد الکتروود منجر به ساخت الکتروود جایگزین می‌شود. با پارامترهای اسپارک مناسب میزان خوردگی گرافیت 1 درصد عمق براده برداری بوده در صورتی که این درصد برای مس بیشتر است. نقطه ذوب این دو ماده بازگوکننده میزان خوردگی آن‌ها در عملیات اسپارک است. نقطه ذوب مس 1100-1000 درجه می‌باشد که در رده فلزات درجه پایینی محسوب می‌شود. برای رسیدن به حداکثر سرعت براده برداری نیاز به افزایش آمپر بوده و الکتروود مسی به‌سادگی نمی‌تواند گرمای تولیدشده را تحمل کند. گرافیت گرچه نقطه ذوب ندارد اما در 3500 درجه تصعید می‌شود و با این نقطه مقاومت در برابر حرارت بالا می‌تواند با آمپر و سرعت بیشتری براده برداری نمود (9).

کیفیت سطح: اگرچه مس کیفیت سطح خوبی می‌دهد اما به‌تنهایی نمی‌تواند کاستی‌های عوامل تعیین‌کننده‌ای مانند زمان ماشین‌کاری را جبران کند. با گرافیت دانه‌ریز پرداخت سطح مشابه مس به سرعت بیشتر و خوردگی الکتروود کمتر می‌توان به دست آورد. صافی سطح Ra7 با الگوی اوربیتالی که نیازی به پولیش دستی ندارد به راحتی قابل حصول است.

معایب الکترودهای گرافیتی: 1- تنوع گرافیت جامد بسیار زیاد بوده و هر نوعی از آن را نمی‌توان در جهت ساخت الکتروده اسپارک استفاده نمود. 2- امکان تشخیص گرافیت مناسب جهت ساخت الکتروده بسیار مشکل بوده و در اغلب موارد فقط با ماشین کاری و اسپارک چند نمونه از آن می‌توان به کیفیت آن پی برد. 3- ماشین کاری بر روی گرافیت با توجه به شکنندگی جزئی آن در ابتدا کمی مشکل بوده، لیکن با رسیدن به سرعت دوران و پیشروی مناسب به سادگی کار با آن پی خواهید برد. هرچند که هر جنس جدیدی اعم از انواع فولاد، مس، آلومینیوم، برنج و ... نیز نیاز به تجربه و تعویض ابزار، پیشروی و سرعت دوران برای رسیدن به حالت ایده آل دارد(10).

اسپارک کاری دقیق و سریع: اگر بخواهیم روش‌های براده برداری را به دودسته مکانیکی و فیزیکی تقسیم کنیم می‌بایست فرزکاری، تراشکاری و سنگ‌زنی و غیره را جزو روش‌های مکانیکی دسته‌بندی کرده و براده برداری به روش الکتروشیمیایی (ECM) و اسپارک کاری (EDM) را در دسته فیزیکی جای داد که تفاوت مهم ماشین کاری تخلیه الکتریکی و ECM در سیال مورد استفاده در فرآیند است. در ECM سیال بکار رفته رسانای جریان (الکترولیت) بوده اما در EDM از سیال به عنوان عایق (دی الکتریک) استفاده می‌شود.

ماشین کاری تخلیه الکتریکی روشی است که در آن از فلزات با روش تخلیه الکتریکی می‌توان براده برداری کرد. اسپارک عمل موضعی است که با تناوب زمانی، براده‌ها را به صورت حجم‌های فلزی کوچک (آرد مانند) به تدریج از سطح قطعه کار جدا می‌سازد که به این عمل اصطلاحاً آروژن (erosion) به معنای فرسایش گفته می‌شود. موضوع دیگری که باید در مورد آن توضیح داده شود موتور خطی (liner motor) می‌باشد. موتورهای خطی اساساً مانند یک موتور معمولی دوار هستند که از یک طرف در طول بریده شده باشد و آن را به صورت مسطح (گسترده) درآوریم. این موتورها کاربردهای زیادی دارند مثلاً برای باز کردن درها، حرکت تسمه‌های نقاله، جرثقیل‌های سقفی، سیستم‌های قفل و ترمز و کلاچ‌ها؛ اما در اینجا بحث در مورد موتورهای خطی است که از سرعت بسیار بالای برخوردار هستند که در ماشین‌های اسپارک شرکت سادیک² استفاده شده‌اند که نسبت به همه موارد فوق از دقت و حساسیت فوق‌العاده‌ای باید برخوردار باشند. شرکت سادیک در اسپارک های مدل AM35L و Aφ35L از این موتورها بجای سیستم‌های هیدرولیکی و پیچی استفاده کرده است. در سال 1996 شرکت سادیک کار کردن بر روی موتورهای خطی، برای استفاده در اسپارک ها را آغاز کرد. این شرکت به مزایای موتورهای خطی در پارامترهایی نظیر سرعت و تنظیم پی برده بود. علاوه بر آن، به عقیده رئیس شرکت سادیک؛ آقای فورو کاوا³ این کار جدید یک ضد حمله است که هدف قرار داده است زمان اسپارک کاری روی قالب‌ها را که با مراکز ماشین کاری سرعت بالا⁴ کاهش می‌یافت. توضیح اینکه: قبل از اسپارک کاری با عملیات براده برداری توسط مراکز ماشین کاری سرعت بالا زمان اسپارک کاری روی قالب‌ها را کاهش می‌داده‌اند.

یافته ها

در سیستم استنتاج فازی مدل سازی آموزش یافته با شبکه عصبی، بعد از تعیین ورودی ها و خروجی ها باید تعداد تابع عضویت را برای هر یک از آنها با الگوریتم ژنتیک تعیین کنیم و سپس بمنظور عملکرد و دقت سیستم فازی در تعیین خروجی داده های ورودی را به دو دسته آموزش و تست تقسیم کرده و قانون گذاری شبکه فازی با تابع عضویت داده شده براساس داده های آموزش توسط شبکه عصبی انجام میگیرد (دستور ANFIS در متلب). پس از اتمام آموزش، شبکه فازی مستقل از شبکه عصبی به عنوان مدیر تصمیم گیری عمل میکند و بمنظور انالیز عملکرد شبکه فازی داده تست ورودی را به سیستم فازی اعمال کرده و خروجی سیستم فازی را با خروجی واقعی مقایسه میکنیم.

² SODICK

³ Furu Kava

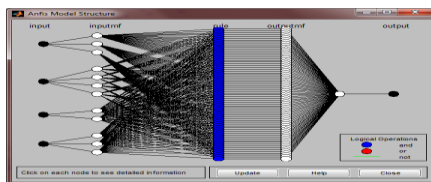
⁴ high speed machining center

اکنون با توجه به تعداد ویژگی کم داده ها و بررسی های انجام شده از روش گرید پارتیشن با دستور متلب Genfis1 فضای داده ورودی پارتیشن بندی گردیده شده است. با اعمال بهینه سازی ژنتیک بمنظور تعیین نوع و تعداد تابع عضویت برای هر مولفه فازی نتایج جدول زیر حاصل میشود.

نتایج سیستم فازی بهینه شده

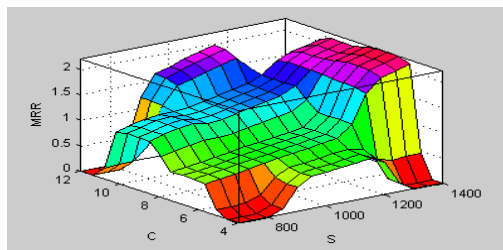
ANFIS-GA optimized Parameters		
تابع عضویت	تعداد تابع عضویت	پارامتر خروجی مدل
پی شکل	3 4 2 3	MRR
گوسی	2 2 2 3	R

اکنون که بهترین ساختار فازی شامل بهترین تابع عضویت و تعداد تابع عضویت بهینه بمنظور مدلسازی دو پارامتر میزان MRR و میزان همواری Ra براساس الگوریتم ژنتیک بدست آمده است. لازم است مدلسازی پارامترهای خروجی را با سیستم فازی بهینه شده صورت گیرد که در قسمت بعد به مبحث مدلسازی و دقت مدلسازی پارامترها می پردازیم. ساختار شبکه عصبی فازی با 4 ورودی و پارامتر خروجی MRR بهینه شده با ژنتیک بصورت زیر میگردد که توابع عضویت لایه ورودی و لایه خروجی بصورت بلوک دایره سفید رنگ و قوانین فازی بصورت دایره رنگی مابین دو لایه مشخص گردیده است و در قانونگذاری از عملگر منطقی اشتراک برای اعمال قوانین بین ورودی ها استفاده شده است.

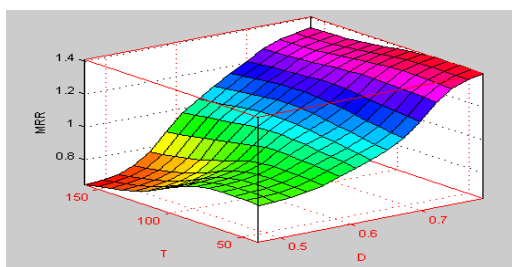


ساختار فازی تخمین میزان سنگسایی

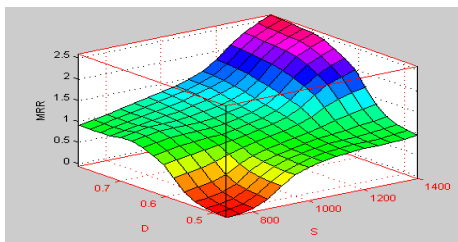
نحوه تاثیر گذاری پارامترهای ورودی بر میزان خروجی MRR در شبکه فازی آموزش دیده بخوبی مشخص میگردد برای مثال مطابق شکل زیر میتوان نتیجه گرفت که در جریانهای کم و سرعت خیلی کم یا سرعت خیلی زیاد میزان شاخص MRR کم میباشد و همچنین اگر جریان الکتریکی زیاد باشد و سرعت دوران خیلی کم یا خیلی زیاد باشد میزان شاخص سنگسایی MRR کم میباشد و بالاترین میزان سنگسایی در سرعتهای زیاد و جریان متوسط حاصل میشود در زمان سیکل ثابت اگر سرعت را افزایش دهیم میزان سنگسایی بصورت غیر خطی افزایش می یابد. و در سرعت های خیلی کم با افزایش میزان سیکل کاری، میزان سنگسایی تغییر زیادی نمیکند و به مقدار یک تمایل پیدا میکند و همچنین در سیکل کاری کم با افزایش سرعت دوران، میزان سنگسایی تغییر زیادی نمیکند و به مقدار یک تمایل پیدا میکند و اگر سرعت و میزان سیکل کاری را باهم افزایش دهیم، میزان سنگسایی بصورت غیرخطی افزایش و صعودی میگردد.



نمودار تاثیر سرعت و جریان در میزان سنگسایی

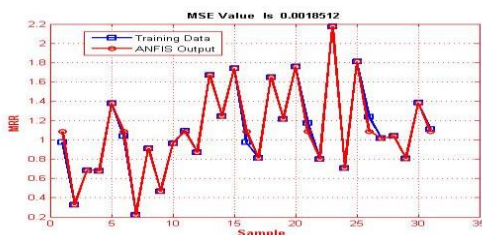


نمودار تاثیر سیکل کار و زمان در میزان سنگسایی



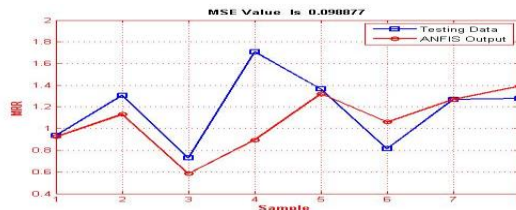
نمودار تاثیر سرعت و سیکل کاری در میزان سنگسایی

با این تفاسیر نتایج تخمین میزان سنگسایی MRR نمونه داده آموزش برای سیستم فازی آموزش دیده بصورت شکل زیر است که با شبکه فازی آموزش دیده بخوبی میزان MRR را براساس پارامترهای ورودی تخمین زده است و میزان شاخص میانگین مربعات خطا بین خروجی آموزش دیده و خروجی واقعی برابر یک هزارم شده است.



نمودار نتایج سیستم فازی برای تخمین داده آموزش میزان سنگسایی

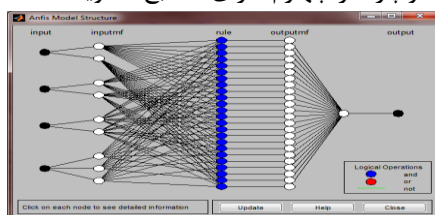
نتایج تخمین میزان سنگسایی MRR نمونه داده تست برای سیستم فازی آموزش دیده بصورت شکل زیر است که با شبکه فازی آموزش دیده، میزان MRR را براساس پارامترهای ورودی تخمین زده است و میزان شاخص میانگین خدافل مربعات خطا بین خروجی آموزش دیده و خروجی واقعی برابر نه صدم شده است.



نمودار نتایج سیستم فازی برای تخمین داده تست میزان سنگسایی

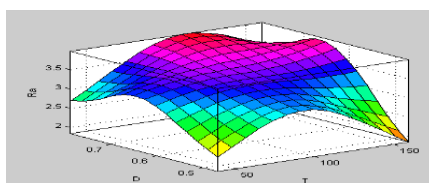
ساختار شبکه عصبی فازی با 4 ورودی و پارامتر خروجی میزان همواری سنگسایی بهینه شده با ژنتیک بصورت شکل زیر میگردد که توابع عضویت لایه ورودی و لایه خروجی بصورت بلوک دایره سفید رنگ و قوانین فازی بصورت دایره رنگی مابین

دو لایه مشخص گردیده است و در قانونگذاری از عملگر منطقی اشتراک برای اعمال قوانین بین ورودی ها استفاده شده است و 3 پارامتر ورودی اول دارای 2 تابع عضویت و پارامتر چهارم دارای 3 تابع عضویت است.

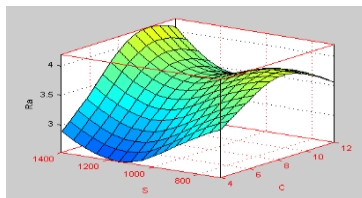


ساختار فازی تخمین میزان همواری سنگسایی

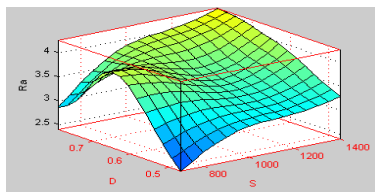
مشابه قسمت قبل، نحوه تاثیرگذاری پارامترهای ورودی بر میزان همواری سنگسایی خروجی Ra در شبکه فازی آموزش دیده بخوبی مشخص میگردد بطوریکه مطابق سه شکل زیر میتوان نتیجه گرفت که در زمان پالس خیلی کم و یا خیلی زیاد و میزان کار خیلی کم و یا خیلی زیاد میزان شاخص همواری سنگ کم میباشد و همچنین اگر زمان پالس دهی متوسط باشد یا میزان کار متوسط باشد میزان شاخص همواری سنگسایی زیاد میباشد و همچنین اگر جریان کم باشد در سرعتهای میانی میزان همواری کاهش شدید پیدا میکند و در سرعتهای بالا زمانی میزان همواری سنگسایی حداکثر میگردد که میزان سیکل کار بالا و در حدود $0/8$ باشد.



نمودار تاثیر زمان پالس و سیکل کار در میزان همواری سنگسایی

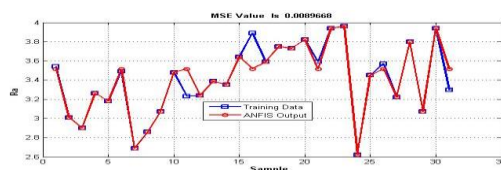


نمودار تاثیر جریان و سرعت در میزان همواری سنگسایی



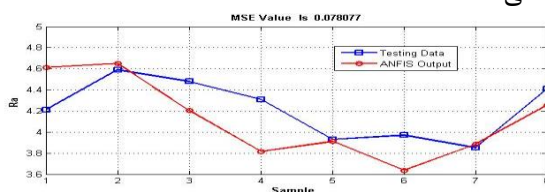
نمودار تاثیر سرعت و سیکل کار در میزان همواری سنگسایی

با این تفاسیر نتایج تخمین میزان همواری سطح سنگسایی Ra نمونه داده آموزش برای سیستم فازی آموزش دیده بصورت شکل زیر است که با شبکه فازی آموزش دیده بخوبی همواری سطح سنگسایی Ra را براساس پارامترهای ورودی تخمین زده است و میزان شاخص میانگین مربعات خطا بین خروجی آموزش دیده و خروجی واقعی برابر چند هزارم شده است.



نمودار نتایج سیستم فازی برای تخمین داده آموزش میزان همواری سنگسایبی

نتایج تخمین میزان همواری سنگسایبی Ra نمونه داده تست برای سیستم فازی آموزش دیده بصورت شکل زیر است که با شبکه فازی آموزش دیده، میزان همواری را براساس پارامترهای ورودی تخمین زده است و میزان شاخص میانگین حداقل مربعات خطا بین خروجی آموزش دیده و خروجی واقعی برابر هفت صدم شده است که بیانگر دقت صحت تخمین نتایج مدل فازی در مقایسه با داده های آزمایشگاهی است.



نمودار نتایج سیستم فازی برای تخمین داده تست میزان همواری سنگسایبی

نتیجه گیری و پیشنهادات

در چند دهه اخیر جهت ماشینکاری مواد سخت که ماشینکاری آنها توسط روشهای سنتی مشکل است، فرایند EDM به عنوان مناسبترین فرایند پیشنهاد و به کار گرفته شده است. در این پایان نامه الگوریتم عصبی فازی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی فرسایش نسبی ابزار در فرایند EDM معرفی شده است. در بسیاری از سیستمهای مهندسی از جمله سیستم سنگسایبی، بواسطه فقدان دانش دقیق و سازمند در رابطه با سیستم، که ناشی از رفتار شدیداً غیرخطی، درجه بالای نامعینی یا مشخصات متغیر با زمان آن است روشهای متداول مدلسازی قابل استفاده نیست. مدلسازی نروفازی، چارچوب انعطافپذیری است که در آن با ترکیب الگوهای مختلف می توان از یک طرف ارتباط شفاف با طراح برقرار نمود و از طرف دیگر، ابزاری برای کنترل و مدلسازی غیرخطی دقیق در اختیار داشت. ویژگی مبتنی بر قواعد بودن مدل های نروفازی، امکان تحلیل و تعبیر نتایج را فراهم میکند. روش های متداول ارزیابی عددی مدل می تواند با مهارت های فرد خبره (که اغلب شامل دانش مکاشفاتی و شهودی وی نیز می باشد) تکمیل گردد. براین اساس دو مدل عصبی فازی با ساختار مجزا برای مدلسازی دو پارامتر میزان سنگسایبی و میزان همواری سطح استفاده شده است و نتایج آزمایش های عددی جهت ارزیابی الگوریتم مذکور دقت بالای 90٪ را تأیید می نمایند و شبکه عصبی فازی بخوبی توانسته مدلسازی فرایند سنگسایبی را انجام دهد. حال با توجه به گفته های بالا، کارهای مختلفی در این عرصه برای بهبود نتایج مدلسازی می توان پیشنهاد داد. از جمله طراحی یک مدلساز با اصلاح نحوه ارتباط بین منطق فازی و شبکه عصبی که میتواند به روشهای زیر اشاره کرده:

1. Fuzzy Neural Network: منطق فازی برای بهبود کارایی شبکه و یا افزایش توان یادگیری شبکه عصبی مورد استفاده قرار می گیرد. در این شبکه ها افزودن قوانین فازی برای تغییر نرخ یادگیری و یا تغییر ورودی/ خروجی شبکه از حالت غیرفازی به فازی است. نمونه هایی از این دسته عبارتند از: FNN، FHSNN و GFNN.
2. Concurrent Neuro-Fuzzy Models: شبکه عصبی و سیستم فازی بر روی یک کار واحد با یکدیگر کار می کنند اما تأثیری بر روی یکدیگر ندارند. هیچکدام برای تعیین پارامتر دیگری به کار نمی روند. معمولاً در این مدل، شبکه عصبی برای پیش پردازش ورودی و یا خروجی سیستم فازی به کار می رود.
3. Cooperative Neuro_Fuzzy Models: شبکه عصبی برای تعیین پارامترهای سیستم فازی به کار می رود. این پارامترها شامل قوانین فازی، وزن قوانین و مجموعه های فازی است.

منابع

1. König W, Cronjager L, Spur G, Tonshoff H K, Vigneau M, Zdeblick W J. Machining of new materials. *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, 1990, 39(2): 673–681
2. Wang K, Gelgele H L, Wang Y, Yuan Q, Fang M. A hybrid intelligent method for modelling the EDM process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2003, 43(10): 995–999
3. Rao G K M, Janardhana G R, Rao D H, Rao M S. Development of hybrid model and optimization of surface roughness in electric discharge machining using artificial neural networks and genetic algorithm. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, 209 (3): 1512–1520
4. Tavoli M A, Zadeh N N, Khakhali A, Mehran M. Multi-objective optimization of abrasive flow machining processes using polynomial neural networks and genetic algorithms. *Machining Science and Technology*, 2006, 10(4): 491–510
5. Sharma V, Yadava V, Rao R. Yadava, R. Rao, and Optimization of quality characteristics during Nd: YAG laser cutting of nickel based superalloy sheet for straight and curved cut profiles. *Optics and Lasers in Engineering*, 2010, 48(9): 915–925
6. Yousef B F, Knopf G K, Bordatchev E V, Nikumb S K. Neural network modeling and analysis of the material removal process during laser machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, 22(1-2): 41–53
7. Yadav S K S, Yadava V. Multi-objective optimization of electrical discharge diamond cutoff grinding (EDDCG) using Taguchi method. *International Journal of Manufacturing Technology and Industrial Engineering*, 2010, 1: 193–198
8. Singh G K, Yadava V, Kumar R. Experimental study and parameter optimization of electro-discharge diamond face grinding. *International Journal of Abrasive Technology*, 2011, 4: 14–40
9. Agrawal S S, Yadava V. Artificial neural network modeling of electrical discharge diamond surface grinding (EDDSG), *Proc. 7th Int. Conf. Precis. Meso, Micro and Nano Eng. Pune. 2011*, 265–269
10. Joshi S N, Pande S S. Development of an intelligent process model for EDM. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, 45(3-4): 300–317