Prediction of Operational Parameters in a CO_2 Laser for Laser Cutting Using ANFIS

V.R.Adineh [1], GH.Dehghan [2], C.Aghanajafi [3]
[1]*Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran*
[1,2] *Laser & optic institute, atomic energy organization of Iran,teheran,iran*
[3]*K.N.Toosi University of Technology,Tehran-Iran*
v.adineh@seiau.ir

Abstract
Changing the fast-axial-flow co_2 laser from laboratory scale to industrial one is the goal of this paper. There is a complicated relation between effective parameters of laser power and output power which there isn't any direct mathematical equation to availability. Also there is a special relation among necessary power of machining, machining rate and workpiece thickness which for some application such as laser cutting and laser welding, the analytic models were introduced. First of all, in this paper the operational parameters of co_2 laser modeled using adaptive neuro fuzzy interface system (ANFIS). In order to learning process a sieres of experimental data were gathered. After modeling of power with ANFIS and base on the analytic equations; by using a written program in MATLAB, the appropriate parameters which are effective to output power attentive to machining rate and workpiece thickness will be obtained.

Keywords: Fast-Axial-Flow Co_2 Laser, ANFIS, Laser Cutting

[1] - MSc in mechanical engineering
[2] - PhD in mechanical engineering
[3] - PhD in mechanical engineering

پيش بيني پارامترهاي كاربردی ليزر گاز كربنيک براي برشكاري ليزري به كمک سيستم فازی-عصبی تطبيقي

وحيد رضاآدينه[1]،غلامحسين دهقان[2]، سيروس آقانجفی[3]
[1]دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم و تحقيقات
[1و2] پژوهشكده ليزر و اپتيک،سازمان انرژي اتمي ايران
[3] دانشكده مكانيک،دانشگاه خواجه نصيرالدين طوسي
v.adineh@seiau.ir

چكيده

هدف از اين مقاله تبديل ليزر گاز كربنيک باجريان محوري سريع گاز از مقياس آزمايشگاهي به صنعتي است . بين پارامترهاي موثر بر توان ليزر و توان خروجي ارتباط پيچيده اي برقرار است كه رابطه ي رياضي مستقيمي براي آنها در دسترس نيست. از سوي ديگر ميان توان لازم جهت عمليات ماشينكاري، سرعت ماشينكاري و ضخامت قطعه كار نيز ارتباط خاصي برقرار است كه روابط تحليلي براي كاربردهايي نظير برشكاري و جوشكاري ليزري ارائه شده است. در اين مقاله ابتدا به كمک سيستم فازی-عصبی تطبيقی (ANFIS) پارامترهاي موثر بر توان خروجي مدلسازي شده اند. برای اين كار داده های آزمايشگاهی مناسبی تهيه شد تا در فرآيند يادگيری استفاده شود. پس از آموزش سيستم فازی-عصبی تطبيقی و مدلسازی توان، بر اساس روابط تحليلي موجود؛ با استفاده از برنامه اي كه به زبان مطلب نوشته شده است ؛ پارامترهاي مناسب موثر بر توان خروجي با توجه به سرعت ماشينكاري و ضخامت قطعه كار بدست مي آيند.

واژه‌هاي كليدي: ليزر صنعتي گازكربنيک با جريان محوري سريع گاز- سيستم فازی_عصبی تطبيقیANFIS-برشكاري با ليزر

۱- مقدمه

توسعه ليزرهاي گازكربنيک باجريان محوري سريع گاز(Fast axial flow CO_2 laser) با توان هايي درمحدوده ۲۰۰ تا۱۰۰۰ وات به دليل كاربردهاي آن درپردازش مواد به ويژه در صنعت بيشتر مورد توجه قرار گرفته است. سادگي طراحي،اقتصادي بودن ، كيفيت بالاي پرتو ،پايداري توان وعملكرد بادوام از عواملي هستند كه باعث افزايش روز افزون استفاده از اينگونه ليزرها شده است. [۱]

در ميان پارامترهايي نظير خواص پرتو ليزر براي ماشينكاري ، سيستمهاي انتقال پرتو ليزر و نازلهاي ماشينكاري ؛ به جرات مي توان گفت كه توان خروجي از ليزر مهمترين پارامتر در ماشينكاري ليزري به شمار مي رود . اين توان خروجي به پارامترهاي فيزيكي و اپتيكي متعددي نظير نسبت گازها، فشار سيستم، دماي محيط، جريان تخليه،تنظيم بودن آينه ها و ... وابسته است كه ميان اين پارامترها و توان خروجي رابطه اي پيچيده برقرار است و از لحاظ رياضي رابطه اي براي آنها موجود

---

[1] دانشجوی كارشناسی ارشد
[2] استاديار
[3] دانشيار

نیست . همچنین میان توان مورد نیاز ماشینکاري، سرعت ماشینکاري و ضخامت قطعه کار نیز ارتباط تنگاتنگي وجود دارد که جهت انجام صحیح یک فرآیند ماشینکاري لیزري مي بایست به آن توجه نمود. مثلا اگر توان ماشینکاري زیاد و سرعت ماشینکاري کم باشد (با توجه به ضخامت قطعه کار) ؛ آنگاه میزان حرارت وارد شده به قطعه کار، بیش از حد مورد نیاز بوده و منجر به تشکیل منطقه ي متاثر از حرارت (Heat affected zone) گسترده مي شود و افت کیفیت ماشینکاري را در بر خواهد داشت. از طرفي اگر توان ماشینکاري کم و سرعت ماشینکاري بالا باشد؛ میزان حرارت مورد نیاز جهت اجراي فرآیند تامین نمي شود و قطعه کار نیز آسیب مي بیند. گفتني است که طي سالیان اخیر تلاشهاي گسترده اي جهت مدل کردن روشهاي گوناگون ماشینکاري لیزري صورت گرفته است و مدلهاي تحلیلي متعددي نیز ارائه شده اند.

قطر پرتو متمر کز شده بر سطح قطعه‌کارو محل تمرکز آن، سیستم مناسب انتقال پرتو لیزر و نازلهاي ماشینکاري و توان بهینه ماشینکاري سنگ بناي اجراي صحیح یک فرآیند ماشینکاري لیزري به شمار مي روند. لیزر موجود در سازمان انرژي اتمي ایران از نوع لیزر هاي گاز کربنیک با جریان محوري سریع گاز است که به دست متخصصین ایراني طراحي و ساخته شده است [۲] و کوششهایي جهت تبدیل آن از لیزر در مقیاس آزمایشگاهي به لیزري در مقیاس صنعتي شده است [۳و۴و۵و۶]. مقاله ي پیش رو نیز ادامه ي تلاشهاي اخیر جهت نیل به این مهم مي باشد.

در این مقاله ابتدا به کمک سیستم فازی-عصبی تطبیقی پارامترهاي موثر بر توان خروجي مدلسازي شده اند. براي این کار آزمایشات زیادي انجام گرفت و الگوهاي آزمایشي متعددي تهیه شد. سپس سیستم های گوناگونی با تابع عضویت مختلف؛الگوریتمهاي یادگیری متفاوت و تعداد توابع عضویت متنوع امتحان شد تا سیستمی بهینه با کمترین خطا حاصل گردید. سپس با توجه به روابط تحلیلي موجود، توان مناسب براي مواد مختلف با توجه به سرعت ماشینکاري و ضخامت قطعه کار بدست آمد. در نهایت برنامه اي به زبان مطلب نوشته شده است که پارامترهاي مناسب براي دستیابي به این توان را محاسبه مي کند. به این ترتیب همانطور که در ماشینکاري سنتي یا پیشرفته بر روي ماشینهاي تراش، فرز، وایر کات و ... جدولي شامل مقادیر پارامترهاي مختلف براي شرایط ماشینکاري گوناگون از سوي شرکت سازنده ارائه مي شود، در این مقاله نیز جدول مشابهي (که در این مقاله بصورت خلاصه شده آورده شده است) شامل مقدار مناسب پارامترهاي موثر بر توان خروجي تحت شرایط ماشینکاري مختلف ارائه شده است.

۲- سیستم فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

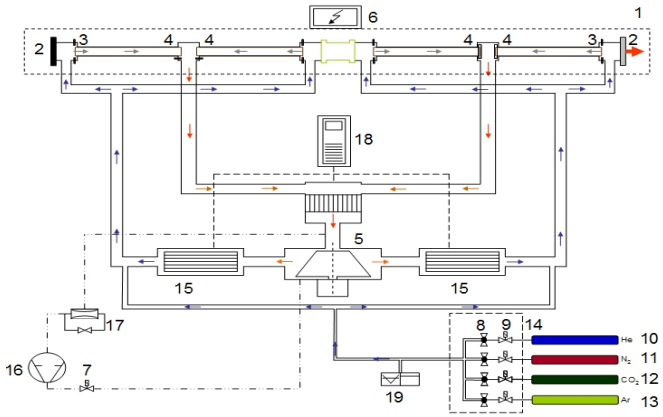
هدف اصلي آموزش از طریق داده، استخراج تعدادي قانون جهت پوشش داده هاي ورودي خروجي مي باشد .با توجه به اینکه داده هاي استفاده شده در آموزش، نامعلوم و مبهم مي باشند، نیاز به توسعه الگوریتم هایي براي آموزش از طریق این داده ها وجود دارد. از این رو دیدگاه فازي _ عصبي تطبیقی براي مدل سازي سیستم به صورت یك ایده عمومي در آمده است. مزیت اصلي این ایده نسبت به روش هاي معمول، عدم نیاز به توصیف ریاضي سیستم درحین مدل سازي است .علاوه براین در مقایسه با روش هاي فازي یا عصبي فواید هر دو روش را دارا مي باشد، به طوري که این ایده کم بودن حجم محاسبات و راحت بودن آموزش را که از مزایاي شبکه هاي عصبي است را به سیستم هاي فازي اضافه کرده و استنتاج قوي سیستم هاي فازي را به شبکه هاي عصبي مي افزاید. ایده مدل سازي فازي عصبي شامل دو قسمت شناسایي ساختار و شناسایي پارامتر مي باشد. مدل سازي فازي وروش هاي شبکه عصبي به طور معمول به ترتیب براي این دو بخش به کار مي روند. اما به طور کلي فرایند مدل سازي فازي عصبي، مدل سازي فازي و شبکه هاي عصبي را در افزایش سرعت همگرایي، افزایش دقت تخمین و دیگر مسائل بهبود مي بخشد. در ANFIS روش یادگیری بر مبنای روشهای Graidient Base است. در این تکنیك از اختلاف y شبیه‌سازي با y واقعي استفاده مي شود که بر اساس خطاهای بدست آمده تغییراتی در پارامترهاي فازي ایجاد می شود تا آنرا بهبود بخشد. این کار بصورت یک فرآیند تکراری آنقدر انجام می‌شود تا پارامترهاي سیستم فازي تنظیم گردد و خطا از مقدار موردنظر کمتر شود. [۷و۸و۹]

در این تحقیق از الگوریتمهای یادگیری ترکیبی (Hybrid) و پس انتشار پیشرو (Backpropagation) استفاده شده است.

۳- آزمایشها

شكل ۱ چيدمان آزمايش مربوط به ليزر گازكربنيك با جريان محوري سريع گاز را نشان مي دهدكه از اجزاي زير تشكيل شده است:

۱- محفظه ليزر (مشدد اپتيكي) ۲- منبع تغذيه ۳- سيستم خنك كننده ۴- سيستم خلاء و چرخش گاز ۵- سيستم تزريق گاز



1-Laser resonator 2-laser mirror 3-Anode 4-Cathode
5-Turbo Pump 6-Electrical Power Supply
7-Control Valve 8-Bulb Vacuum Valve
9-Needle Vacuum Valve 10-He Gas
11-N_2 Gas 12-CO_2 Gas 13-Ar Gas 14-Mixture Tank
15-Heat Exchanger 16-SOGEVAC Vacuum Pump
17-Metring Orifice Orifice and bypass valve
18-Water Chiller 19-Pressure Gage

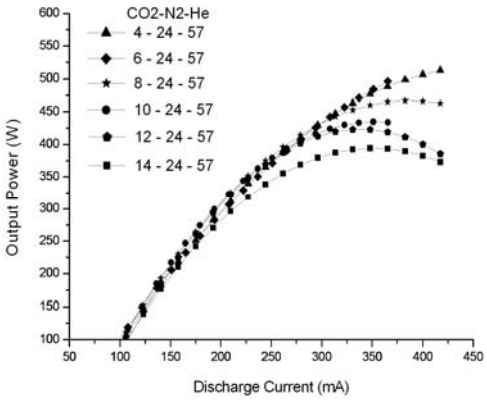
شكل۱: شماتيك دياگرام ليزر گاز كربنيك با جريان محوري سريع گاز

به منظور تهيه داده های آموزشی برای ANFIS ، با ثابت نگه داشتن ساير پارامترها در حالت بهينه؛ نسبت گازها (نسبت گاز CO_2 ، گاز He و N_2) و جريان تخليه را به عنوان پارامترهاي متغيرجهت مدلسازي برگزيديم. البته نسبت گازها (مخلـوط گازها) نيز پس از فرآيند مدلسازي و انتخاب مقدار بهينه (مقدار بهينه، مقداری از نسبت گازی است که به ازای آن توان بیشینه می شود) ثابت مي شوند و در کاربردهای صنعتی، تنها با جريان تخليه مقدار توان تنظيم مي شود.

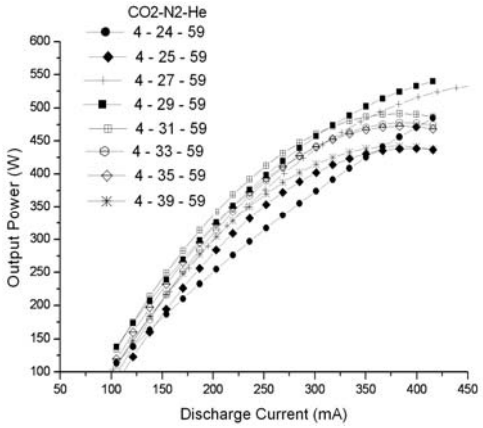
جهت مدلسازي صحيح در تهيه نمونه های آزمايش، نكات زير رعايت گرديد :

- از تمام فضاي مدل (چه جاهايي كه توان كم و يا جاهايي كه توان زياد بود) نمونه آزمايشی تهيه گرديد.
- براي پارامترهايي كه توان خروجي به آنها حساس تر بود ، نمونه های آزمايشي با فواصل كوچكتري تهيه گرديد.

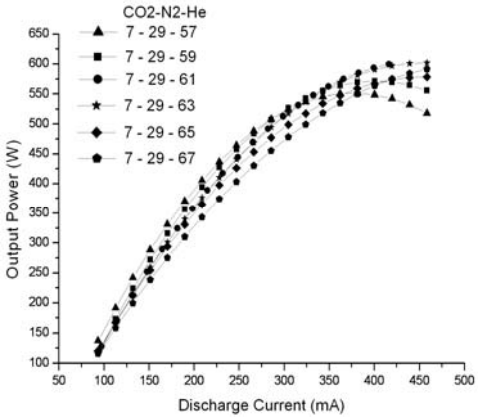
تعداد ۳۷۲ الگوي آزمايشي مختلف تهيه شد كه در نهايت پس از حذف خطا ها تعداد ۳۰۹ الگو جهت فرآيند مدلـسازي انتخاب گرديد . نمودارهاي ۱-۱ و۱-۲ و۱-۳ نتايج برخي از اين آزمايشها را تحت شرايط مختلف نشان مي دهند.



نمودار ۱-۱: تغييرات توان خروجي در مقابل تغيرات جريان و گاز CO_2



نمودار۲-۱: تغییرات توان خروجي در مقابل تغییرات جریان و گاز N_2

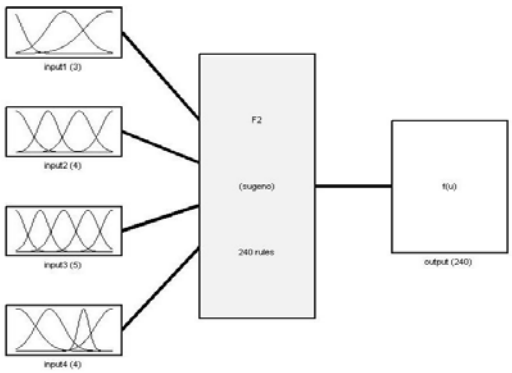


نمودار۳-۱: تغییرات توان خروجي در مقابل تغییرات جریان و گاز **He**

۴- مدلسازی

٤-۱ طراحي سیستم فازی-عصبی تطبیقی

یک سیستم فازی-عصبی تطبیقی با چهار ورودی (گاز CO_2 ، گاز He و N_2 و جریان تخلیه) و یک خروجی (توان خروجی) طراحی گردید. در این تحقیق از جعبه‌ابزار منطق فازی نرم افزار MATLAB، نسخة ۷/۴ استفاده شده است[۱۰]. برای آموزش ANFIS نیز از الگوریتمهای یادگیری ترکیبی (Hybrid) و پس انتشار پیشرو (Backpropagation) استفاده شده است. همچنین تابع عضویت های گوسي (gaussmf) و زنگی (gbellmf) با دو راهبرد تعداد توابع عضویت یکسان و متفاوت استفاده گردید. شکل ۲ یک سیستم فازی-عصبی تطبیقی با تعداد توابع عضویت غیر یکسان را نشان می دهد.



شکل ۲: سیستم **ANFIS** به کار گرفته شده باتعداد توابع عضویت غیر یکسان

براي ارزشگذاری هر سیستم فازی-عصبی تطبیقی، از سه معیار استفاده شده است: معیارهاي ضریب تعیین (Determining Coefficient) ، خطاي میانگین مطلق(Mean absolute error) و خطاي مربعات مجموع(sum squared error) که روابط آنها به صورت زیر است:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{T}[S_k - T_k]}{\sum_{k=1}^{T}[S_k - T_m]} \ , (T_m = \frac{\sum_{k=1}^{T} S_k}{T}) \quad (۱)$$

$$E_{MA} = \frac{1}{T}\sum_{k=1}^{T}|S_k - T_k| \quad (۲)$$

$$E_{SS} = \sum \sum_{k=1}^{T}(S_k - T_k)^2 \quad (۳)$$

که S_k خروجي ANFIS برای الگوي k/م، T_k مقدار واقعی و M تعداد الگوهاي آموزشي است. در روبط فوق R^2 ضریب تعیین، E_{MA} خطاي میانگین مطلق وE_{SS} خطاي مربعات مجموع است. اثبات شده است که چنانچه $R^2 \succ 0.8$ باشد، در اینصورت سیستم مدلساز مزبور قادر به پیش بینی مناسب مقادیر خروجی است. [۱۱]

همچنین به منظور افزایش دقت و سرعت فرآیند آموزش، ابتدا داده‌هاي ورودي به کمك رابطة (۸) به شکل هنجار (Normalise) درآمدند :

$$X_n = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (٤)$$

که X_n مقدار هنجار شده، X_i مقدار واقعي، X_{min} کمینة مقادیر واقعي و X_{max} بیشینة مقادیر واقعي است. داده های خروجی نیز با تقسیم هریک بر عدد هزار هنجار سازی شدند.

مقدار خطاي متوسط آموزش براي الگوریتمهای یادگیری ترکیبی و پس انتشار پیشرو همچنین تابع عضویت های گوسي و زنگی با دو راهبرد تعداد توابع عضویت یکسان و متفاوت بررسی شد.

٤-۲ نتایج سیستم فازی-عصبی تطبیقی

در جدول ۱پارامترهاي ورودي ANFIS و محدوده هاي کمینه و بیشینة آنها پیش از هنجارسازي نشان داده شده است. دو راهبرد براي بررسي تأثیر توابع عضویت بکار گرفته شد. در راهبرد تعداد توابع عضویت غیر یکسان، از این منطق که برای هر پارامتری که تابع خروجی نسبت به آن حساس تر است باید تعداد تابع عضویت بیشتر در نظر گرفت؛ استفاده شده است. در راهبرد تعداد توابع عضویت یکسان مقدار ۳ برای هر تابع عضویت استفاده شد و برای راهبرد دوم مقدار ٤ برای تابع عضویت ورودی اول (گاز CO_2)، مقدار ۵ برای تابع عضویت ورودی دوم (گاز He)، مقدار ٤ برای تابع عضویت ورودی سوم (گاز N_2) و مقدار ۳ برای تابع عضویت ورودی چهارم (جریان تخلیه) با توجه به حساسیت توان خروجی به آنها تعیین گردید. [۱۲]

در جدول ۲ مشاهده می شود که سیستم فازی-عصبی تطبیقی با الگوریتم یادگیری ترکیبی و تابع عضویت زنگی بهترین نتیجه را در بر داشت و بالاترین ضریب تبدیل را در میان سایر سیستمها به خود اختصاص داد (۰/۹۹۶۷). در جدول ۳ نیز مشاهده می شود که سیستم فازی-عصبی تطبیقی با الگوریتم یادگیری ترکیبی و تابع عضویت گوسی با ضریب تبدیل ۰/۹۹۷٦ بهترین نتیجه را در بر داشت. از نتایج هر دو جدول چنین بر می آید که اولا الگوریتم یادگیری ترکیبی همواره جوابهای بهتری ارائه می کند، دوما راهبرد تعداد توابع عضویت غیر یکسان نیز نتایج بهتری دارد.

بنابراین سیستم فازی-عصبی تطبیقی با الگوریتم یادگیری ترکیبی و تابع عضویت گوسی که در میان سایر سیستمها بهترین نتیجه را داشت به عنوان سیستم مدلساز برگزیده شد. نمودار ۲ ضریب تبدیل پیش بینی شده برای این سیستم را نشان می دهد.

جدول ۱: پارامترهاي ورودي **ANFIS** و محدوده هاي کمینه و بیشینهٔ آنها

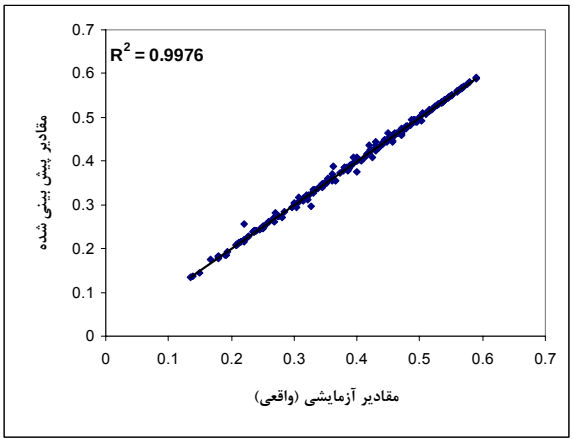
پارامتر	کمینه	بیشینه
گاز CO_2 (mbar)	٤	١٤
گاز N_2 (mbar)	٢٤	٣٩
گاز He (mbar)	٥٧	٦٧
جریان تخلیه (mA)	١١٦	٤٢٨

جدول ۲: مقادیر خطاي آموزش براي براي الگوریتمهای یادگیری ترکیبی و پس انتشار پیشرو با تعداد توابع عضویت یکسان

الگوریتم یادگیری	تابع عضویت	تعداد توابع عضویت	R^2	E_{SS}	E_{MA}	چرخه آموزش
ترکیبی	gaussmf	٣ ٣ ٣ ٣	٠/٩٩٦٠	٠/٠١١٧	٠/٠٠٤٨	٢٦
	gbellmf	٣ ٣ ٣ ٣	٠/٩٩٦٧	٠/٠٠٩٦	٠/٠٠٤٥	٢٤
پس انتشار خطا	gaussmf	٣ ٣ ٣ ٣	٠/٩٣٤٤	٠/١٩٧	٠/٠٢٦٢	١٠٠
	gbellmf	٣ ٣ ٣ ٣	٠/٩٤٦٤	٠/١٥٧٥	٠/٠٢١١	١١٠

جدول ۳: مقادیر خطاي آموزش براي براي الگوریتمهای یادگیری ترکیبی و پس انتشار پیشرو با تعداد توابع عضویت غیر یکسان

الگوریتم یادگیری	تابع عضویت	تعداد توابع عضویت	R^2	E_{SS}	E_{MA}	چرخه آموزش
ترکیبی	gaussmf	٤ ٥ ٤ ٣	٠/٩٩٧٦	٠/٠٠٧١	٠/٠٠٢٩	٣٠
	gbellmf	٤ ٥ ٤ ٣	٠/٩٩٦٩	٠/٠٠٩٠	٠/٠٠٣٢	٨
پس انتشار خطا	gaussmf	٤ ٥ ٤ ٣	٠/٩٢٦٧	٠/٢٣٤٥	٠/٠٢٦٢	١٠٠
	gbellmf	٤ ٥ ٤ ٣	٠/٩١٩٤	٠/٢٣٤٦	٠/٠٢٥٦	٩٠



نمودار ۲: ضریب تبدیل پیش بیني شده در مقابل مقادیر واقعي برای بهترین سیستم فازی-عصبی تطبیقی

۵- پیش بینی پارامترهای توان برای برشکاری لیزری به کمک سیستم فازی-عصبی تطبیقی

رايجترين استفاده از ليزر،كاربرد آن در برشكاري است به طوري كه به عنـوان مثـال ۸۰ در صـد از ليزرهـاي صـنعتي در كشور ژاپن به منظور برشكاري ليزري استفاده مي شوند. در برش با ليزر كه اساسا يک روش برشكاري حرارتي است، هدف بخار كردن ماده با سرعت هر چه بيشتر و ايجاد منطقه بسيار كوچک گرمادهی به منظور ايجاد حداقل تغيير شكل در قطعه كار مورد نظر است .اگر تابش باريكه ليزر طوری باشد كه دمای ماده به نقطه جوش خود برسد، آن گاه مقاديرقابـل تـوجهی از مـواد روی سطح ممكن است تبخير شود. آهنگ جا به جايی ماده را می توان بااستفاده از روش تعادل انرژی تخمين زد. يك جـسم جامـد نيمه نامحدود در نظرمی گيريم و شدت انتقال گرما را به داخل سطح H فرض می كنيم . فرض می كنيم كه به دليـل تبخيـر، سطح ماده با سرعت V_S به داخل ماده حركت می كند. حال مقدار كلی انرژی لازم برای تبديل m گرم از ماده از دمای اوليـه T به بخار را می توان به صورت زير نوشت : [۱۳و۱۴و۱۵]

$$E_v=m(C_S(T_m-T) + C_L(T_v-Tm)+ L_f + L_v) \quad (۵)$$

كه C_S ظرفيت گرمايی مخصوص جامد؛C_L ظرفيت گرمايی مخصوص مايع؛T_m دمای ذوب؛T_v دمای جوش؛L_f گرمای نهان ذوب؛L_v گرمای نهان تبخير است. معمولا $L_v \prec\prec L_f$ و $T \prec\prec T_v$ (اگر دما برحسب C باشد) و فرض مي كنـيم كـه مـی تـوان نوشت : [۱۵]

$$C = C_L \approx Cs$$

بنابراين جريان گرمايی كه لازم است تا سطح با سرعت V_s به سمت داخل ماده حركت كند، عبارتست از : [۱۵]

$$H = v_s\rho(CT_v + L_v) \quad (٦)$$

اگر قطر پرتومتمركز شده ليزر d باشد و ليزر با سرعت v_b حركت كند، آنگاه پرتوليزر مـسافتی برابـر قطـرش را در زمـان d/v_b طی خواهد كرد. در اين مدت زمان ، مواد به عمق dv_s/v_b از ماده كنده و جابه جا خواهند شـد. اگـر لازم باشـد عمـق z ايجاد شود، مي بايست : [۱۵]

$$v_b = \frac{dv_s}{z} \quad (۷)$$

با صرفنظر كردن از بازتاب سطح مي توانيم بنويسيم H=I و داريم : [۱۵]

$$v_s = \frac{I}{\rho(CTv + Lv)} \quad (۸)$$

كه I توان خروجي برحسب كيلو وات است . لذا با استفاده از رابطه ۷ و رابطه اخير خواهيم داشت :

$$I = \frac{\rho(CTv + Lv)zv_b}{d} \quad (۹)$$

اگرچه در رابطه فوق از اثر افزايش سرعت برش به دليل افزودن گاز اكسيژن صرفنظر شده است (كه با فرض عـدم بازتـاب سطحي اين مساله تا حدي تعديل مي يابد) ، ولي با دقت خوبي مي تواند با توجه به خواص ماده و خواص اپتيكي پرتو ، رابطـه بين توان مورد نياز ماشينكاري و سرعت ماشينكاري و ضخامت قطعه كار را مشخص كند.

با استفاده از رابطه ۱۳ و با فرض تمركز پرتو به ناحيه اي به قطر ۰/۱ ميليمتر [۵] جدول ۴ كه رابطه ميان پارامترها بـراي مواد مختلف را بيان مي كند، بدست مي آيد:

جدول ۴: رابطه بين توان مورد نياز ماشينكاري، سرعت ماشينكاري و ضخامت قطعه كار

پارامترها / جنس قطعه	ضخامت (mm)	سرعت برش (mm/s)	توان (W)
استيل ۴۱۰	۱/۵	۹	۶۰۰
استيل كربني	۱	۲۰	۴۸۳

آلیاژ تیتانیم	۵	۳۲	۳۳۲
سرامیک	۴/۵	۱۲	۲۲۴
پلي اتيلن	۲/۵	۱۶	۵۱۰

نظير جدول فوق، جداول مشابهي نيز در معتبر ترين هند بوک هاي پـردازش مـواد بـه کمـک ليـزر موجـود مـي باشـد . [۱۶و۱۷]

با توجه به جدول، برنامه اي به زبان مطلب نوشته شده است که با استفاده از سیستم فـازی-عـصبی تطبیقـی برگزیـده، پارامترهاي مناسب را براي توان هاي مورد نياز ماشينکاري بدست مي آورد. همانطور که پیش تر نیز اشاره شد، در کاربردهـاي صنعتي نسبت گاز بهينه (نسبتي که توان را بيشينه مي کند) در مخزن شامل مخلوط گازها تثبيت مي شود و سپس بـا اعمـال جريان تخليه ي مناسب، توان مناسب حاصل مي شود. برنامه نوشته شده شامل یک حلقه for است که فـضاي پـارامتر جريـان تخليه را با حساسيت ۰/۰۱ جستجو مي کند و مقادير ANFIS را در حاليکه پارامترهاي نسبت گـاز بهينـه هـستد، بـراي آنهـا محاسبه مي کند. ابتداي برنامه ، ثابت تعريف شده را برابر توان مورد نياز ماشينکاري در نظر مي گيريم، اگر مقدار محاسبه شده ANFIS براي پارامترهاي فرضي X1,X2,X3,X4 برابر مقدار ثابت(همان توان مورد نياز ماشينکاري) باشد ، مقـدار پارامترهـاي X1,X2,X3,X4 ذخيره شده و به عنوان پارامترهاي مورد نظر معرفي مي شوند و گرنه حلقه براي مقادير جديد X4 تکرار شـده و مقدار ANFIS به ازاي آنها محاسبه مي شود و اين کار تا رسيدن به جواب مطلوب ادامه مـي يابـد . توجـه شـود کـه مقـادير X1,X2,X3 به ترتيب برابر ۶۳ , ۲۹ , ۷ که در حالت هنجار سازي شده برابر ۰/۶ , ۰/۳۳۳۳ , ۰/۳ اسـت در نظـر گرفتـه شـده است. در واقع، اين مقاديري از مخلوط گازي است که به ازاي آنها توان بيشينه ۶۰۰ وات حاصل مي شـود. در جـدول ۵ نتـايج حاصل شده از اجراي برنامه فوق به ازاي توان هاي مورد نياز جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۵: مقادير پارامترهاي پيش بيني **ANFIS** براي توانهاي مورد نياز جدول ۴

پارامترها و مواد	ميزان گاز (mbar) CO_2	ميزان گاز (mbar) N_2	ميزان گاز (mbar) He	جريان تخليه (mA)
استيل ۴۱۰	۷	۲۹	۶۳	۴۲۸
استيل کربني	۷	۲۹	۲۹	۲۹۶
آلياژ تيتانيم	۷	۲۹	۲۹	۱۹۱
سراميک	۷	۲۹	۲۹	۱۳۸
پلي اتيلن	۷	۲۹	۲۹	۳۰۲

٦- نتيجه گيری

سيستم فازی-عصبی تطبيقي ANFIS به عنوان روشي مناسب براي نگاشت غيرخطي، توان خروجي را به کمـك چهـار پارامتر ورودي ميزان گاز CO_2، ميزان گاز N_2، ميزان گاز He و جريان تخليه پيش‌بيني مي‌کند. بهترين سيستم فـازی-عـصبی تطبيقي براي آموزش داده ها، با الگوريتم يادگيری ترکيبی و تابع عضويت گوسی و تعداد توابع عـضويت غيـر يکـسان ۳ ٤ ۵ ٤ بود. از نتايج اين تحقيق چنين برمي‌آيد که با توجه به تغييرات نسبتاً بالاي پارامترهاي ورودي و خطاهاي اندازه‌گيري، مي‌توان توان خروجي را با دقت مناسب در محدودة کاري پارامترها پيش‌بيني و اقدام به بهينه‌سازي کل پارامترهـا نمـود. همچنـين بـا توجه به لزوم انتخاب توان مناسب ماشينکاري براي کاربردهاي گوناگوني نظير برشکاري ليزري و تحت شـرايط مختلـف جـنس مواد، شرايط اپتيکي، سرعت ماشينکاري و ضخامت قطعه کار ؛ برنامه نوشته شده قادر است توان مورد نياز را به کمک سيـستم فازی-عصبی تطبيقي مزبور محاسبه نمايد و در برخورد با شرايط کاري پيچيده از فرآيند سعي و خطا جهت بدست آوردن توان مناسب جلوگيري کند. در در نهايت اينکه گامي ديگر جهت تبديل ليزر آزمايـشگاهي موجـود کـه بدسـت متخصـصين ايرانـي

طراحي و ساخته شده؛ برداشته شده است و سازندگان مـي تواننـد جـدول پارامترهـای ماشـينكاري را بـراي حـالات گونـاگون برشکاری لیزری، در اختیار کاربران قرار دهند.

تشكر و قدرداني

مولفين بر خود لازم مي دانند از همكاران پژوهشكده اپتيک و ليزر سازمان انرژي اتمي ايران ، آقايان سعيد امين نعيمـي، محسن منتظرالقائم، داوود اسماعيل پور، حسين سعيدي و خانم هديه پازكيان به خاطر همكاري در انجام آزمايشها كمال تشكر و قدرداني را داشته باشند.

مراجع

1- W. J. Witteman, "The CO_2 laser", Springer series in optical science, Volume **53**

۲- دهقان، غ.، امين نعيمي، س.، اسماعيل پور،د. ،"طراحي و ساخت ليزر گاز كربنيك با جريان محوري سريع گاز"،كنفرانس فيزيـك ايران، شهريور ۸۴، دانشگاه لرستان

3- Dehghan , Gh., Amin naeimi, S., Esmaeilpour, D., "Effect of anode number on the operating parameters of a fast-axial-flow CO_2 laser", Optical Engineering 45(10),104201, (October 2006)

۴- آدينه، و. ر.،دهقان غ.، حسني س.ح.، "اندازه گيري پارامترهاي اپتيكي موثر بـر تـوان ليـزر صـنعتي گـاز كربنيـک"، سـيزدهمين كنفرانس اپتيک و فتونيک ايران، صفحه ۷۳۹

۵- آدينه، و. ر.،دهقان غ.، حسني س.ح.، "طراحي و ساخت سيستم انتقال پرتو ليزر براي ليزر صنعتي گاز كربنيک (بـا نـازل مـافوق صوت)"، اولين مسابقه دانشجويي انجمن مهندسان مكانيک ايران، پانزدهمين كنفرانس بين المللي مهندسي مكانيک

6- Adineh, V. R. , Hassani, S. H., Dehghan , Gh., Shabestari, N. P., "Dimentional control of supersonic nozzle for beam delivery system using laser diffraction-type measurement", TICME2007

7- Lee-Shie-Jue, Ouyang-Chen-Sen, " A neuro-fuzzy system modeling with self-constructing rule generation and hybrid SVD-based learning", IEEE TRAN. ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 11, NO. 3, PP. 341-353, JUNE 2003.

8- Juang-Chia-Feng, Lin-Chin-Teng, "An on-line self-counstructing neural fuzzy inference network and its application", IEEE TRAN. ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 6, NO. 1, PP. 12-32, FEBRUARY 1998.

9- Li-Chunshien, Lee Chun-Yi, " Self-organizing neuro-fuzzy system for control of unknown plants", IEEE TRAN. ON FUZZY SYSTEMS,VOL. 11, NO. 1, PP. 462-477, FEBRUARY 2003.

10- Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, The MathWorks, Inc. 2007.

11- N,K, Kasabov. "Foundations of Neural Networks Fuzzy Systems and Knowledge Engineering". MIT Press, Cambridge, 1998.

۱۲- آدينه، و. ر.،دهقان غ.، آقانجفی، س، "بررسی حساسیت متغیرهای موثر بر توان لیزر گازکربنیک با جریان محوری سریع گـاز بـه کمک شبکه های عصبی مصنوعی"، مکاتبه شده با چهاردهمین کنفرانس اپتیک و فتونیک ایران

13- Steen, W. M., "Laser Material Processing", springer-verlag, 2003

14- Schuocker, D., "High Power Lasers in Production Engineering", Imperial College Press and World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1999

15- Wilson, J., Hawkes, J. F. B., "Lasers Principles and Applications", prentice hall, 1987

16- WEBB, C., JONES, J., "Handbook of Laser Technology and Applications-Volume III: Applications", IOP Publishing, 2004

17- Ready, J. F., Frason, D. F., "LIA HANDBOOK OF LASER MATERIALS PROCESSING", Laser Institue of America-Magnolia Publishing, 1st ed, 2001