

پیش بینی زبری سطح در تراش کاری خشک به کمک شبکه های فازی - عصبی تطبیقی

رمضانعلی مهدوی نژاد^{۱*} و کامران تمیمی^۲

^۱ دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ساخت و تولید - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
 (تاریخ دریافت ۸۶/۲/۲۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۷/۱۱/۱۲، تاریخ تصویب ۸۷/۱۲/۱۸)

چکیده

پیش بینی زبری سطح یک پیش نیاز اساسی برای ایجاد یک مرکز ماشین کاری خودکار می باشد. بهینه سازی فرآیند ماشین کاری در این راستا از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله از رهیافت ترکیبی فازی - عصبی (سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی ANFIS) به منظور پیش بینی زبری سطح در تراش کاری خشک استفاده شده است. به طوری که داده های حاصل از آزمایش ها به منظور ایجاد قواعد فازی و ویرایش این قواعد به کمک شبکه های عصبی به کار گرفته شده است. برای این منظور پس از ایجاد مدل پیش بینی کننده از تعدادی داده های آزمایش برای آزمون کارایی مدل استفاده شده و نتایج به دست آمده از مدل پیش بینی کننده با زبری واقعی مقایسه گردیده اند. نتایج حاصل نشان می دهند که مدل ایجاد شده نسبت به سایر مدل های موجود در زمینه زبری سطح، کارایی بهتری دارد.

واژه های کلیدی: سیستم استنتاج فازی، عصبی تطبیقی ANFIS، زبری سطح، سیستم استنتاج فازی از نوع سوگنو، تابع عضویت، قواعد فازی

مقدمه

روش های محاسباتی نرم افزاری^۲ برای ایجاد چنین توانایی هایی به کار گرفته شده اند. محاسبات نرم افزاری یک عبارت کلی بوده که در بر گیرنده تعدادی روش شناسی (متدولوژی) است. تئوری مجموعه های فازی و شبکه های عصبی دو روش پرکاربرد در این حوزه می باشد. اخیراً در حوزه چگونگی استفاده از آنها در زمینه پیش بینی زبری سطح تحقیقات زیادی انجام می شود [۴-۲]. اما به طور کلی تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده را می توان در چهار گروه زیر طبقه بندی نمود:

- ۱- رهیافت مبتنی بر تئوری ماشین کاری [۷-۵]
- ۲- رهیافت مبتنی بر تحقیقات آزمایشگاهی [۹ و ۸]
- ۳- رهیافت مبتنی بر آزمایش های طراحی شده [۱۱ و ۱۰]
- ۴- رهیافت مبتنی بر هوش مصنوعی [۱۳ و ۱۲]

مطالعات مربوط به هوش مصنوعی را می توان به زیرمجموعه هایی از قبیل شبکه های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و منطق فازی و سیستم های خبره تقسیم نمود [۱۴]. در تحقیق حاضر از یک رهیافت ترکیبی که شامل شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی می باشد استفاده شده است.

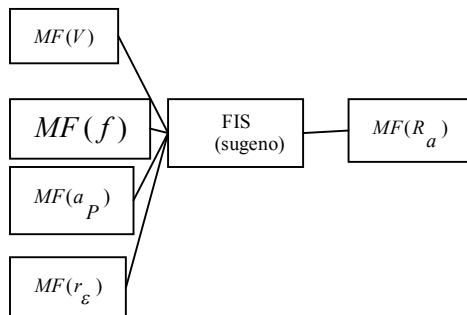
کامپیوترها نقش بسیار مهمی در پیشرفت بخش ساخت و تولید در صنعت در سه دهه اخیر داشته اند. در زمینه ماشین کاری، ماشین های کنترل عددی (CNC) در کارخانجات جایگاه وسیع و بسیار مهمی را به خود اختصاص داده اند. اکنون تلاش هایی در زمینه هوشمند کردن ماشین های ابزار در حال انجام است که هدف آنها ارائه ماشین های ابزار هوش مصنوعی^۱ می باشد. نقش این گونه سیستم ها به عنوان نسل آینده ماشین های ابزار توانایی کار بدون دخالت انسان و یا با کمترین دخالت کارگر ماهر خواهد بود. به منظور جایگزینی مغز کارگر ماهر با کامپیوتر در این نوع ماشین های ابزار، کامپیوترها باید دارای توانایی های زیر باشند [۱]:

- (۱) قابلیت یادگیری با استفاده از داده های اولیه و پردازش آنها توسط سیستم.
- (۲) دارا بودن قابلیت درک شرایط فرآیند به وسیله تفسیر داده های باز خوردی از حسگرها و سپس انجام عمل مناسب بر اساس تجربه حاصل از فرآیند یادگیری.
- (۳) قابلیت برقراری ارتباط با انسان به طوری که تصمیمات و عملیات آنها برای کاربر قابل مشاهده باشد.

می باشد. به منظور یافتن رهیافتی مناسب و تحقق این هدف محققین در حال انجام تحقیقات فراوانی هستند که می توان از آن جمله و در زمینه هوش مصنوعی به تحقیق انجام شده توسط Shutting Lei و همکارانش اشاره نمود [۱۷]. در این تحقیق از شبکه های فازی-عصبی تطبیقی برای مدل کردن فرآیند تراش و بالاخص پیش بینی زبری سطح در تراش کاری استفاده شده است؛ بدین صورت که سه عامل مؤثر بر فرآیند تشکیل زبری سطح یعنی سرعت برشی (V)، نرخ پیشروی (f) و عمق برش (a_p) به عنوان ورودی های شبکه در نظر گرفته شده اند. در تحقیق حاضر سعی شده است که شعاع نوک ابزار (r_e) که یکی از خواص ابزار برشی و از جمله عوامل مؤثر بر زبری سطح است به عنوان ورودی دیگر و به منظور افزایش کارایی سیستم به آن اضافه گردد.

ایجاد مدل اولیه

برای ایجاد مدل پیش بینی کننده (سیستم استنتاج فازی) از جعبه ابزار منطق فازی MATLAB^۵ استفاده شده است. سیستم استنتاج فازی اولیه (FIS) با توجه به درک از فرآیند ماشین کاری و چگونگی تأثیر عوامل ماشین کاری روی فرآیند ایجاد زبری سطح بنا می گردد. سه عامل ماشین کاری که سرعت برشی (V)، نرخ پیشروی (f) و عمق برشی (a_p) و یک مشخصه ابزار که همان شعاع نوک ابزار (r_e) می باشد به عنوان ورودی های سیستم استنتاج فازی و مقادیر زبری سطح پیش بینی شده به عنوان خروجی سیستم در نظر گرفته می شوند. در شکل (۱) نمودار کلی سیستم استنتاج فازی که از نوع سوگنو می باشد نشان داده شده است.



شکل ۱: نمودار کلی سیستم استنتاج فازی از نوع سوگنو.

در این مدل به ازای هر ورودی دو تابع عضویت^۶ در نظر گرفته شده که یکی نماینده مقادیر کم و دیگری نماینده

زبری سطح ایده آل و واقعی و عوامل مؤثر بر آن

زبری سطح ایده آل نمایش گر بهترین پرداخت ممکن است که با هندسه ابزار و پیش روی موجود می توان به آن دست یافت به شرطی که تشکیل لبه انباشته (BUE)^۲، خود تحریک^۴، بی دقتی در حرکات ماشین ابزار و ... محدود شوند [۱۵]. به عنوان مثال می توان پرداخت سطح ایده آل در تراش کاری با یک ابزار نوک تیز را با در نظر گرفتن هندسه ابزار و پیشروی به صورت زیر محاسبه کرد [۱۶]:

$$R_{\max} = \frac{f}{\cot k_{re} + \cot k'_{re}} \quad (1)$$

که در آن f, k'_{re}, k_{re} به ترتیب زوایای تنظیم اصلی و فرعی و نرخ پیشروی می باشد. برای ابزار با نوک گرد رابطه کاربردی تر زیر ارائه شده است [۱۶]:

$$R_a = \frac{0.0321 \cdot f^2}{r_e} \quad (2)$$

که در آن R_a زبری سطح (μm)، f نرخ پیشروی (mm/rev) و r_e شعاع نوک ابزار (mm) می باشد. اما هیچ کدام از روابط بالا پاسخ گوی شرایط واقعی نمی باشند. با توجه به این که در عمل دست یابی به شرایط ایده آل آسان نیست معمولاً زبری سطح واقعی نسبت به ایده آل مقدار بیشتری می باشد. به صورت کلی می توان پارامترهای مؤثر بر زبری سطح واقعی را به صورت زیر دسته بندی کرد:

- عوامل ماشین کاری: از قبیل پیشروی، سرعت برشی، زاویه ابزار، عمق برش، مایع خنک-کاری.
- فرآیند برش: ارتعاشات، نحوه شکل گیری براده، اصطکاک در ناحیه برش، تغییرت نیروی برش و غیره
- خواص قطعه کار: از قبیل سختی، طول، قطر.
- خواص ابزار برشی: از قبیل جنس، شکل، شعاع نوک.

پیش بینی زبری سطح به کمک سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی ANFIS

همان طور که گفته شد ماشین های ابزار نسل آینده ماشین هایی هوشمند خواهند بود که یکی از قابلیت های آنها، توانایی پیش بینی و تعیین مقادیر مناسب مشخصه های ماشین کاری برای رسیدن به پرداخت سطح مطلوب

زبری سنج ۵/۶ تنظیم شده و مقادیر زبری در شش نقطه اندازه گیری و میان گیری شده اند. نمایی از نحوه اندازه گیری زبری سطح در شکل (۳) مشاهده می شود.



شکل ۲: شمای کلی موقعیت ابزار و قطعه کار.



شکل ۳: نمایی از دستگاه زبری سنج و نحوه اندازه گیری زبری قطعه کار.

داده های لازم برای آموزش

برای ایجاد داده های لازم برای آموزش با توجه به جدول (۱) محدوده و سطوح متغیرهای ورودی انتخاب شده اند.

جدول ۱: محدوده و تعداد سطوح متغیرهای ورودی.

Input variables	Range	Number of layers
Cutting speed	28-125 m/min	3
Feed rate	0.37-0.2 mm/rev	2
Cutting depth	0.3-0.4 m/min	2
Tool nose radius	0.4-1.2 mm	2

که محدوده تعیین کننده محدوده کاری سیستم استنتاج فازی و تعداد سطوح تعیین کننده تعداد ترکیب های ممکن از حالات مختلف چهار عامل ورودی می باشد. سعی شده است محدوده کاری با توجه به امکانات دستگاه

مقادیر زیاد آن عامل ورودی می باشد. نوع تابع عضویت ورودی گوسی^۷ بوده که نمایش ریاضی آن عبارت است از:

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

که در آن c, σ دو مشخصه توابع عضویت هستند که در حین آموزش اصلاح می شوند.

در سیستم استنتاج فازی سوگنو به ازای هر قاعده یک تابع عضویت خروجی در نظر گرفته می شود که ثابت و یا خطی می باشد که ر این سیستم از توابع عضویت خروجی ثابت استفاده شده است.

قواعد فازی در این سیستم بر اساس این فرض اولیه ایجاد شده اند که با کاهش پیشروی و عمق برش و افزایش سرعت برشی و شعاع نوک ابزار پرداخت سطح بهتر می گردد [۱۸]. به عنوان مثال یک قاعده فازی به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

If (V is high) and (f is low) and

(a_p is low) and (r_e is high) then (R_a is L_1)

(۸)

چون چهار عامل ورودی و به ازای هر عامل دو تابع عضویت ورودی داریم لذا $2^4 = 16$ حالت وجود داشته و به ازای هر حالت یک قاعده و یک تابع عضویت خروجی خواهیم داشت.

ایجاد داده های آموزش

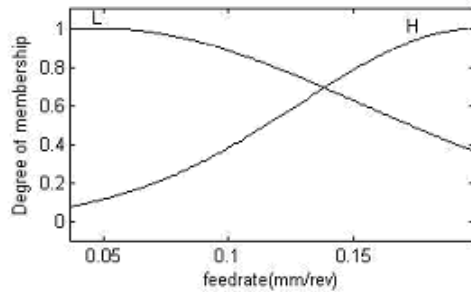
آموزش شبکه شامل دو قسمت آماده سازی می باشد یکی ایجاد داده های لازم برای آموزش و دیگری تعیین معیارهای (پارامترهای) آموزش شبکه .

شرایط آزمایش

برای انجام آزمایش ها از دستگاه تراش WEILER(TO7/LZ330) با حداکثر دور $2800 rpm$ و تیغچه های SNMG090208 SNMG090204 ، PSBNR2525M12E و ابزار گیر SNMG090212 استفاده شده است.

قطعه کارها از جنس فولاد با طول $75 mm$ و قطر های بین $19 mm$ و $23 mm$ می باشند. نمای کلی موقعیت ابزار و قطعه کار در شکل (۲) آمده است.

برای اندازه گیری زبری $CLA(R_a)$ از زبری سنج Perthometer M2 ساخت کمپانی Mahr آلمان استفاده شده است. محدوده اندازه گیری روی دستگاه



شکل ۴: توابع عضویت برای پیشروی.

آزمایش شبکه

به منظور سنجش قابلیت شبیه سازی فرآیند تشکیل زبری سطح مدل از تعدادی داده های آزمایش استفاده شده است. در جدول (۳) کلیه داده های آزمایش و مقادیر زبری سطح پیش بینی شده و واقعی و درصد خطای پیش بینی آورده شده است.

جدول ۳: زبری پیش بینی شده و واقعی داده های آزمایش.

No.	Cutting speed (m/min)	FeedRate (mm/rev)	Actual surface roughness (μm)	Model surface roughness (μm)	Error (%)
1	136.9	0.049	2.67	1.52	43
2	138.1	0.099	3	1.32	29
3	129.5	0.099	3.98	2.79	30
4	69.2	0.15	4.37	4.67	6.7
5	70.7	0.15	4.54	5.15	13.4
6	68.9	0.099	4.15	5.08	22.4
7	68.8	0.099	4.25	5.61	32
8	31.8	0.15	3.52	4.57	30
9	32.2	0.049	5.79	5.42	6.5
10	31.5	0.099	4.79	4.94	3.3
11	31.5	0.099	5.86	5.32	9
12	29.6	0.15	6.22	5.86	5.8
13	125.9	0.049	2.47	2.06	16.6
14	131.9	0.099	3.85	2.79	27.5
15	128.9	0.099	3.45	3.04	11.5
16	125.3	0.15	3.37	3.81	13
17	63.9	0.15	4.87	5.06	4
18	31.1	0.099	3.16	3.43	40
19	30.8	0.099	3.12	3.91	25
20	28.9	0.15	3.12	4.14	32.7
21	83	0.1	3.38	3.37	0.3
22	57.8	0.15	5.3	4.95	6.6
23	27.7	0.198	3.67	6.01	63.7
24	119.4	0.03	1.91	1.67	12.5

بحث

تأثیر سرعت برشی و نرخ پیشروی بر زبری سطح با

به گونه ای انتخاب گردیده که حوزه پرداخت کاری در تراش کاری پوشش داده شود.

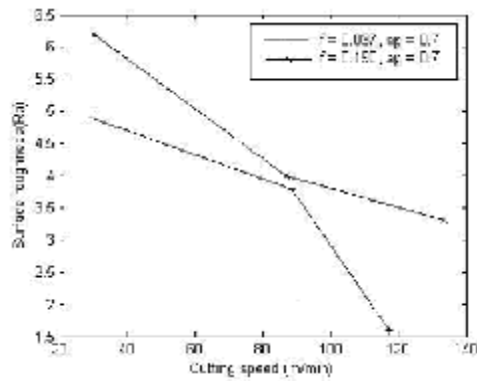
در جدول (۲) داده های تجربی ایجاد شده برای آموزش شبکه ارائه گردیده است.

جدول ۲: داده های تجربی برای آموزش شبکه.

No.	Cutting speed (m/min)	Feed rate (mm/rev)	Cutting depth (mm)	Tool nose radius (mm)	Surface roughness (μm)
1	28.9	0.037	0.3	0.4	4.45
2	58.4	0.037	0.3	0.4	3.5
3	127.1	0.037	0.3	0.4	1.11
4	29.3	0.037	0.7	0.4	4.93
5	88.5	0.037	0.7	0.4	3.8
6	117.5	0.037	0.7	0.4	1.62
7	29.4	0.198	0.3	0.4	5.71
8	65	0.198	0.3	0.4	4.3
9	132.5	0.198	0.3	0.4	2.5
10	30.2	0.198	0.7	0.4	6.2
11	87	0.198	0.7	0.4	4
12	133.7	0.198	0.7	0.4	3.3
13	30.4	0.037	0.3	1.2	3
14	50	0.037	0.3	1.2	3
15	121.7	0.037	0.3	1.2	1.1
16	28.7	0.037	0.7	1.2	3.8
17	71.5	0.037	0.7	1.2	3.3
18	121.1	0.037	0.7	1.2	2.5
19	28.8	0.198	0.3	1.2	6.5
20	45.6	0.198	0.3	1.2	4.1
21	122.9	0.198	0.3	1.2	3.4
22	28.7	0.198	0.7	1.2	4.5
23	62.3	0.198	0.7	1.2	4.3
24	122.3	0.198	0.7	1.2	4.4

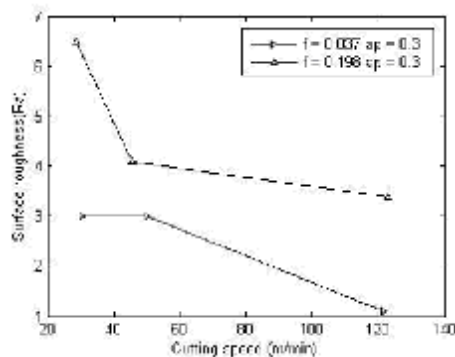
آموزش شبکه

در این آزمایش ها از روش پس بازخورد هیبریدی^۸ برای آموزش شبکه، و محدوده خطای ۰/۰۱ برای پایان دهی آموزش استفاده شده است. این محدوده بدین دلیل انتخاب گردیده است تا کمترین خطای ممکن همراه با انعطاف پذیری لازم شبکه را داشته باشیم. پس از پایان آموزش توابع عضویت ویرایش شده که نمونه ای از این توابع در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۶: تأثیر سرعت برشی و نرخ پیشروی بر زبری سطح ($a_p=0.7\text{mm}$ و $\Gamma_E=0.4\text{mm}$).

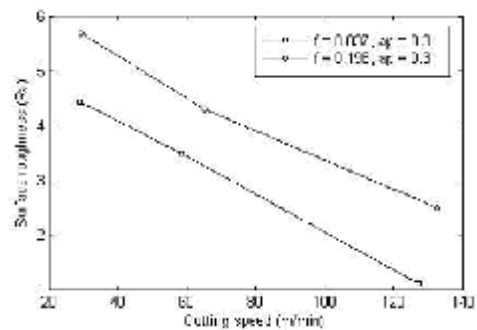
در شکل (۷) شعاع نوک ابزار معادل $1/2\text{ mm}$ می باشد. در این شکل نیز روند تغییرات قبلی مشاهده می شود. البته به ازای افزایش سرعت برشی تا حدود $V = 50\text{ m/min}$ و در پیشروی بالا نرخ کاهش زبری سطح زیاد است که می توان این روند را به ایجاد لبه انباشته در سرعت های برشی پایین نسبت داد. زیرا در سرعت های برشی پایین احتمال ایجاد لبه انباشته به علت بالا بودن نیروی اصطکاک موجود بین قلم و براده بیشتر می باشد.



شکل ۷: تأثیر سرعت برشی و پیشروی بر زبری سطح ($a_p=0.3\text{mm}$ و $\Gamma_E=1.2\text{mm}$).

در شکل (۸) نیز تغییرات قبلی به استثنای تقریباً ثابت ماندن زبری سطح در منحنی $f = 0.198\text{ mm/rev}$ و $a_p = 0.7\text{ mm}$ به ازای افزایش سرعت برشی قابل مشاهده می باشد. به نظر می رسد که به علت استفاده از ابزار با شعاع نوک زیاد تأثیر سرعت برشی بر نرخ کاهش زبری سطح تعدیل می شود. همان گونه که در شکل (۶) مشاهده می گردد با افزایش سرعت برشی کیفیت سطح بهبود قابل ملاحظه ای یافته؛ حال آن که در شکل (۸) کیفیت سطح در سرعت های برشی پایین نیز به علت

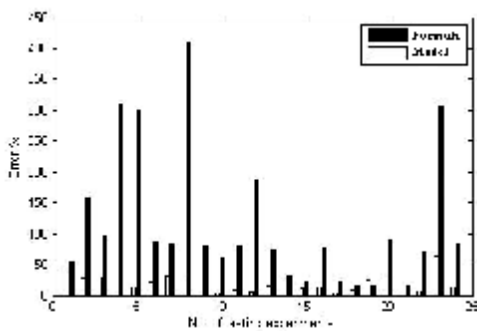
توجه به جدول (۲) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به منحنی تغییرات زبری سطح بر حسب سرعت برشی در شکل (۵) مشاهده می شود که با افزایش سرعت برشی کیفیت سطح بهتر شده و با افزایش نرخ پیشروی زبری سطح بیشتر می گردد. زیرا مقدار زبری سطح همان طور که در روابط (۱) و (۲) مشاهده می شود از نقطه نظر هندسی با پیشروی رابطه مستقیم دارد، یعنی اگر تراش کاری را یک عملیات پیچ تراشی در مقیاس میکروسکوپی در نظر بگیریم با افزایش نرخ پیشروی فواصل گام در این پیچ فرضی زیاد شده و در نتیجه، زبری سطح در مقیاس ماکروسکوپی افزایش می یابد.



شکل ۵: تأثیر سرعت برشی و نرخ پیشروی بر زبری سطح ($a_p=0.3\text{mm}$ و $\Gamma_E=0.4\text{mm}$).

در شکل (۶) همان اطلاعات موجود در شکل (۵) به ازای عمق 0.7 mm مشاهده می شود. به طور کلی در دو شکل (۵) و (۶) در سرعت های برشی پایین زبری سطح بیشتری مشاهده می شود. دلیل کاهش ناهمواری سطح در اثر ازدیاد سرعت برشی را می توان چنین توجیه نمود که با افزایش سرعت برشی تغییر شکل پلاستیکی براده آسان تر شده و اصطکاک بین سطوح آزاد و سطوح ماشین کاری شده کاهش می یابد. هم چنین با افزایش درجه حرارت ناشی از افزایش سرعت برشی و عدم حضور خنک کننده و با توجه به این که می دانیم عموماً کمیت هایی مانند حد تسلیم، استحکام کششی و برشی با افزایش درجه حرارت کاهش و تغییر طول نسبی (کرنش) افزایش می یابد (در این جا از تأثیر درجه حرارت هایی حدود نصف نقطه ذوب $(0.5T)$ گفتگو می شود) می توان سهولت در تغییر شکل پلاستیکی، در نتیجه تشکیل براده، هم چنین تبدیل براده منقطع به ممتد در سرعت های برشی بالا را توجیه نمود.

آن فرا آموزش اتفاق افتاده باشد نشان نداد. نتایج حاصل از پیش بینی زبری سطح در تراش کاری خشک به کمک شبکه های فازی-عصبی در مقایسه با مقادیر پیش بینی شده توسط روابط موجود در مورد زبری سطح کارآیی بهتری نشان می دهد. در شکل (۱۰)، نتایج به دست آمده از پیش بینی زبری سطح توسط مدل فازی-عصبی و رابطه (۲) بر ابزارهای با نوک گرد با زبری سطح واقعی مقایسه شده اند. همان طور که در شکل مشاهده می گردد اختلاف خطای رابطه و مدل بسیار زیاد می باشد. با توجه به تغییرات حداقل چند میکرونی زبری سطح به ازای تغییرات بالای سرعت برشی که در شکل های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) مشاهده می شوند، لزوم در نظر گرفتن سرعت برشی به عنوان عامل مؤثر بر زبری سطح مشهود می باشد. در این شرایط، رابطه زبری سطح فقط پیشروی و شعاع نوک ابزار را به عنوان عوامل مؤثر بر زبری سطح در نظر گرفته؛ حال آن که مدل سرعت برشی را نیز به عنوان ورودی سیستم منظور نموده، در نتیجه خطای مدل نسبت به رابطه کاهش می یابد.

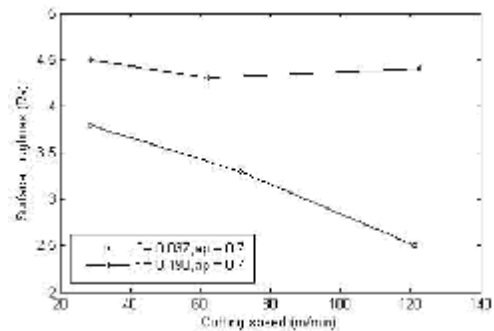


شکل ۱۰: مقایسه خطای مدل و رابطه در پیش بینی زبری سطح.

نتیجه گیری

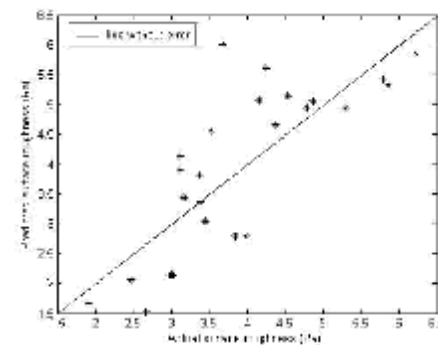
به منظور ایجاد مدلی که توانایی پیش بینی زبری سطح در ماشین کاری در عدم حضور خنک کننده را داشته باشد از مدلی فازی-عصبی استفاده شده است که با گرفتن سه مشخصه ماشین کاری سرعت برشی، پیشروی و عمق برش و یک مشخصه ابزار T_E بتواند مقداری از R_a را به دست دهد که با کمترین خطا به مقدار واقعی آزمایش نزدیک باشد. بدین منظور تعدادی داده های آزمایش برای ایجاد مدل استفاده شده است. پس از ایجاد مدل و آموزش آن به منظور آزمایش کارآیی مدل مقادیری از سه عامل ماشین کاری و یک مشخصه

استفاده از شعاع نوک ابزار به مراتب بهتر گزارش شده است. به طور کلی، با توجه به منحنی تغییرات زبری سطح بر حسب سرعت برشی مشاهده می شود که با افزایش سرعت برشی، کیفیت سطح بهبود قابل ملاحظه ای یافته است که این بهبود کیفیت سطح در سرعت های برشی بالا را می توان به عواملی چون کاهش احتمال ایجاد لبه انباشته، تسهیل در تغییر شکل پلاستیکی ناشی از افزایش سرعت برشی، کاهش ضریب اصطکاک بین سطح براده و قلم و تغییر در نحوه شکل گیری براده نسبت داد.



شکل ۸: تأثیر سرعت برشی و پیشروی در زبری سطح ($a_p=0.7mm$ و $a_p=1.2mm$)

به طوری که در سرعت های برشی بالا جریان براده تسهیل شده و در نتیجه تشکیل براده منقطع در سرعت های برشی پایین تبدیل به براده ممتد در سرعت های بالا می شود. در شکل (۹) زبری واقعی و زبری پیش بینی شده توسط مدل با هم مقایسه شده اند.



شکل ۹: مقایسه زبری پیش بینی شده با زبری واقعی به منظور آزمایش کارایی سیستم استنتاج فازی.

به منظور آزمایش مدل و یافتن نقطه ای که در آن فرا آموزش^۹ اتفاق افتاده تعدادی داده های تطبیق^۱ در نظر گرفته شد که خطای این داده ها نقطه ای را که در

- به طور کلی، با توجه به منحنی تغییرات زبری سطح بر حسب سرعت برشی مشاهده می شود که با افزایش سرعت برشی، کیفیت سطح بهبود قابل ملاحظه ای می یابد. بهبود کیفیت سطح در سرعت های برشی بالا را می توان به عواملی چون کاهش احتمالی ایجاد لبه انباشته، افزایش دمای ناحیه برش و در نتیجه سهولت جریان براده، کاهش ضریب اصطکاک بین سطح براده و قلم و نیز تغییر در نحوه شکل گیری براده نسبت داد، به طوری که در سرعت های برشی بالا جریان براده تسهیل شده و در نتیجه تشکیل براده منقطع در سرعت های برشی پایین تبدیل به براده ممتد در سرعت های بالا می گردد.
- خطای مدل ایجاد شده نسبت به خطای رابطه بسیار کمتر است.
- خروجی رابطه زبری سطح نسبت به تغییرات سرعت برشی واکنشی نداشته و حال آن که مدل کاملاً پاسخگوی این گونه تغییرات است. با توجه به تغییرات حداقل چند میکرونی زبری سطح به ازای تغییرات بالای سرعت برشی که در شکل های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) مشاهده می شوند، لزوم در نظر گرفتن سرعت برشی به عنوان عامل مؤثر بر زبری سطح مشهود می باشد. در این شرایط، رابطه زبری سطح (۲) فقط پیشروی و شعاع نوک ابزار را به عنوان عوامل مؤثر بر زبری سطح در نظر گرفته؛ حال آن که مدل سرعت برشی را نیز به عنوان ورودی سیستم در نظر می گیرد. در نتیجه خطای مدل نسبت به رابطه کاهش می یابد.

ابزار به مدل داده شده و خروجی مدل برای زبری سطح با مقادیر واقعی مقایسه گردید. پس از طراحی و انجام آزمایش ها علاوه بر مشاهده کارایی بسیار بهتر مدل نسبت به روابط تجربی موجود می توان نتایج حاصل را به صورت زیر خلاصه نمود:

- با افزایش درجه حرارت ناشی از افزایش سرعت برشی در عدم حضور خنک کننده کیفیت سطح ماشین کاری بهبود می یابد. زیرا عموماً کمیت هایی مانند حد تسلیم، استحکام کششی و برشی با افزایش درجه حرارت کاهش می یابد، حال آن که تغییر طول نسبی (کرنش) افزایش می یابد (در این جا از تاثیر درجه حرارت های حدود نصف نقطه ذوب ($T/2$) گفتگو می شود). لذا با توجه بدین مسئله می توان سهولت در تغییر شکل پلاستیکی، در نتیجه تشکیل براده و هم چنین تبدیل براده منقطع به ممتد در سرعت های برشی بالا را توجیه نمود.
- با توجه به منحنی تغییرات زبری سطح بر حسب سرعت برشی در شکل (۵) مشاهده می شود که با افزایش سرعت برشی کیفیت سطح بهتر شده و با افزایش نرخ پیشروی زبری سطح بیشتر می گردد. زیرا مقدار زبری سطح از نقطه نظر هندسی با پیشروی رابطه مستقیم دارد. یعنی اگر تراش کاری را یک عملیات پیچ تراشی در مقیاس میکروسکوپی در نظر بگیریم با افزایش پیشروی فواصل گام در این پیچ فرضی زیاد شده و در نتیجه زبری سطح در مقیاس ماکروسکوپی افزایش می یابد.

مراجع

- 1 - Abburi, N. R. and Dixit, U. S. (2005). "A knowledge-based system for the prediction of the surface roughness in turning process." *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 25, PP. 340.
- 2 - Tsai, Y. H., Chen, J. C. and Lou, S. J. (1999). "An in-process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 39, PP. 583-605.
- 3 - Lou, S. J. and Chen, J. C. (1997). "In-process surface recognition of a CNC milling machine using the fuzzy nets method." *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 33, PP. 401-404.
- 4 - Chen, J. C. and Savage, M. (2001). "Fuzzy-net-based multi level in-process surface roughness recognition system in milling operations." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 17, PP. 670-676.
- 5 - Chen, C. C. A., Liu, W. C. and Duffie, N. A. (1998). "A surface topography model for automated surface finishing." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 38, PP. 543-550.

- 6 - Kim, B. H. and Chu, C. N. (1999). "Texture prediction of milled surfaces using texture superposition method." *Computer Aided Design*, Vol. 31, PP. 485-494.
- 7- Lee, K. Y., Kang, M. C., Jeong, Y. H., Lee, D. W. and Kim, J. S. (2001). "Simulation of the surface roughness and profile in high speed end milling." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 113, PP. 410-415.
- 8 - Abuelatta, O. B. and Madl, J. (2001). "Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 118, PP. 269-277.
- 9 - Beggan, C., Woulfe, M., Young, P. and Byrne, G. (1999). "Using acoustic emission to surface quality." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 15, PP. 737-742.
- 10 - Choudhury, I. A. and EL-Baradie, M. A. (1997). "Surface roughness in the turning of high-strength steel by factorial design of experiments." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 67, PP. 55-61.
- 11 - Kopac, J. and Bahor, M. (1999). "Interaction of the technological history of a workpiece material and machining parameter on the desired quality of the surface roughness of a product." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 92-93, PP. 381-387.
- 12 - Li, X. P., Iynkaran, K. and Nee, A. Y. C. (). "A hybrid machining simulator based on predictive theory and neural network modeling." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 89-90, PP. 224-230.
- 13 - Suresh, P. V. S., Venkateswara, P. and Deshmukh, S. G. (2002). "A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, PP. 675-680.
- 14 - Baruados, P. G. and Vasniakos, G. C. (2002). "Predicting surface roughness in machining: a review." *Machine Tools and Manufacture*.
- 15 - Razfar, M. R. (2002). *Fundamental of machining and tool engineering*.
- 16 - Boothroyd, G. and Knight, W.A. (1998). *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. Marcel Decker, New York.
- 17 - Jiao, Y., Lei, Sh., Pei, I. J. and Lee, E. S. (2004). "Fuzzy adaptive networks in machining process modeling: Surface roughness prediction for turning operations." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, PP. 375-386.
- 18 - Thomas, M., Beauchamp, Y., Yousef, A. Y. and Masounave, J. (1996). "Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process." *Computer in Industrial Engineering*, Vol. 31, PP. 637- 644.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Artificially Intelligent Machine Tools
- 2 - Soft Computing-based Technique
- 3 - Built-up edge
- 4 - Chatter
- 5 - Fuzzy logic toolbox of MATLAB
- 6 - Membership function
- 7 - Gaussian MF
- 8 - Hybrid back propagation
- 9 - Over training
- 10 - Checking data