ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):143-147.

# Comparison of Different Factors in Surface Roughness of Milling Process

ARTICLE INFO

***Authors***
Homayooni A.[1*],
Eghdami Z.[2]
Sotoude M.[2]

[1] Department of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran
[2] Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran

*** Correspondence**
Address: Department of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran
homayooni@arakut.ac.ir

**How to cite this article**
Homayooni A, Eghdami Z. Sotoude, M. Comparison of Different Factors in Surface Roughness of Milling Process. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):143-147.

ABSTRACT

Endmilling is a type of machining tool for chipping the surfaces of parts, which has received attention due to its wide application in industries such as molding. Therefore, today, the need of the industry to find the optimal parameters of the process is felt so that the quality of the desired surface can be achieved. In general, the selection of effective parameters in any milling process significantly affects the surface quality of a finished part. In this research, using E-fast statistical sensitivity analysis method, the simultaneous influence of input parameters including spindle speed, depth of cut, and feed rate on the output parameter of surface roughness for the samples has been investigated quantitatively. Machining experiments have been carried out under different cutting parameters as defined in steady state conditions for the milling tool. surface roughness and vibration rate of machining with non-linear quadratic forms; It has been modeled based on the cutoff parameters and its interactions through several regression analysis methods. The results of this research showed that the spindle speed time parameter is known as the most influential parameter on the surface roughness with 67% influence. It was also observed that the feed rate parameter with 30% effect of cutting depth with 3% are known as the second and third influencing parameters on surface roughness.

**Keywords** Endmilling, Sensitivity Analysis, Regression Equations, Surface Roughness

[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.25.5 ]
[ DOI: 10.22034/mme.23.10.143 ]

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته
مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۱۴۳-۱۴۷

# مقایسه‌ی فاکتورهای مختلف در زبری سطح فرآیند فرزکاری

مشخصات مقاله

**نویسنده‌ها**
احمد همایونی[1*]
زهراسادات اقدامی[2]
مائده ستوده [2]

[1] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران
[2] دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

*** نویسنده مسئول**
آدرس: دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران
homayooni@arakut.ac.ir

چکیده

فرز انگشتی نوعی ابزار ماشینکاری است برای براده برداری سطوح قطعه بوده که به دلیل کاربرد گسترده در صنایعی چون قالب سازی مورد توجه قرار گرفته است. ازاین‌رو امروزه، نیاز صنعت به یافتن پارامترهای بهینه فرآیند احساس می‌شود تا بتوان به کیفیت سطح مورد نظر دست یافت. به طور کلی، انتخاب پارامترهای اثرگذار در هر فرآیند فرزکاری به طور قابل توجهی بر کیفیت سطح یک قطعه تمام شده تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش با استفاده از روش آنالیز حساسیت آماری ای-فست به بررسی کمی میزان اثرگذاری همزمان پارامترهای ورودی شامل سرعت اسپیندل، عمق برش، و نرخ پیشروی بر روی پارامتر خروجی زبری سطح برای نمونه‌ها پرداخته‌شده است. آزمایش‌های ماشینکاری تحت پارامترهای مختلف برش همانطور که در شرایط پایدار برای ابزار فرز تعریف شده‌اند، انجام شده است. زبری سطح و میزان ارتعاش ماشین‌کاری با فرم‌های درجه دوم غیرخطی؛ به ترتیب بر اساس پارامترهای برش و برهمکنش‌های آن از طریق چندین روش تحلیل رگرسیون، مدل‌سازی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پارامتر زمان سرعت اسپیندل با ۶۷ درصد تأثیر به‌عنوان تأثیرگذارترین پارامتر بر روی زبری سطح شناخته‌شده است. همچنین مشاهده شد که پارامتر نرخ پیشروی با ۳۰ درصد تأثیر عمق برش با ۳ درصد به عنوان دومین و سومین پارامترهای اثرگذار بر زبری سطح شناخته شده‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** فرز کاری، انالیز حساسیت، معادلات رگرسیون، زبری سطح

## ۱- مقدمه

فرز انگشتی نوعی ابزار ماشینکاری است که برای براده برداری سطوح قطعه کار، توسط ابزار چند لبه در حال دوران، به نام تیغه فرزاستفاده می شود. فرز انگشتی از یک موتور کوچک و چند چرخ دنده درون خود بهره می برد تا شفت اصلی دستگاه را بچرخاند. این فرآیند به دلیل کاربرد وسیع در مصارف صنعتی از جمله قالب سازی ها کاربرد دارد به یکی از مهمترین و متداولترین روش هاي براده برداري تبديل و از ديرباز مطالعات زيادي بر روي آن انجام شده است. همچنین زبری سطح یکی از مولفه های بافت سطح که از پارامتر های مهم کیفیت سطح قطعات ماشین کاری شده می‌باشد؛ به صورت انحرافات یک سطح حقیقی در جهت بردار نرمال، از مقدار ایدئال آن تعریف می‌شود. مقدار این انحرافات سطح تاثیر به سزایی در تعیین نحوه واکنش اجسام واقعی با محیط اطراف دارد. سطوح زبر، زودتر ساییده می‌شوند و ضریب اصطکاک بیشتری نسبت به سطوح صاف دارند، همچنین زبری یکی از مولفه‌های مهم در تعیین عمر قطعات مکانیکی است، چرا که ناهمواری‌های سطح معمولاً محل ایجاد و شروع ترک و شکست قطعات می‌باشند[۱].

کواک و همکاران به بررسی تأثیر پارامترهای ماشینکاری بر روی زبری سطح در سنگ زنی پرداخته اند. این مقاله بر روی توسعه مدل‌های تجربی با استفاده از منطق فازی و تحلیل رگرسیون تمرکز دارد. سپس مقادیر زبری سطح پیش‌بینی‌شده توسط این مدل‌ها مقایسه می‌شوند. نتایج نشان داد که سیستم پیشنهادی می‌تواند دقت پروفایل محصول را در مقایسه با روش‌های مرسوم مانند تحلیل رگرسیون به طور قابل‌توجهی افزایش دهد.تکنیک مدل‌سازی منطق فازی می‌تواند به طور موثر برای پیش‌بینی زبری سطح در ماشین‌کاری خشک استفاده شود [۲].

فنگ و ونگ توسعه یک مدل تجربی برای پیش‌بینی زبری سطح در تراشکاری را مورد مطالعه قرار داده اند. پارامترهای کاری و استفاده از شبکه‌های عصبی محاسباتی در این مورد استفاده قرار گرفته است. سپس با مقایسه، مقادیر زبری سطح پیش‌بینی‌شده توسط این مدل‌ها، نتیجه گرفته اند که این مدل از پردازش رضایت‌بخشی برخوردار می باشند. همچنین روشی دقیق برای اعتبارسنجی مدل و مقایسه ان ارائه کرده¬اند [۳].

تاما در پژوهش خود اندازه گیری کیفی بحرانی و زبری سطح در قطعات مکانیکی را با توجه به پارامترهای تراشکاری در طول فرآیند تراشکاری مورد مطالعه قرار داده است. محققان مدل های مختلفی را برای پارامترهای تراش بهینه برای زبری سطح مورد نیاز پیش بینی و توسعه داده اند. این مطالعه بر مقایسه مدل‌های رگرسیون چندگانه با جمع‌آوری داده‌های مربوط به عمق برش‌ها، شعاع دماغه، نرخ تغذیه، زبری سطح، و سرعت برش در طول عملیات تراشکاری برای قطعه کار آلومینیوم ۶۰۶۱ تمرکز دارد. تحلیل های انجام شده رفتار پارامترهای تراشکاری و سطوح دقت بالای مدل ها را به سطوح پیش بینی شده نشان داده است [۴].

جاشی و پاتیل در مقاله خود به توصیف بافت سطوح سنگ زنی آزاد پرداخته و با استفاده از رویکرد دید ماشین و ارزیابی زبری سطح آنها با استفاده از مدل رگرسیون بر اساس پارامترهای بینایی ماشین ارائه کرده اند. مجموعه لغزش سنج های استاندارد از سطوح آسیاب دست آزاد برای توسعه مدل رگرسیون انتخاب شده است. تصاویر سطح در نرم افزار MATLAB به دست آمده و برای توصیف بافت با استفاده از ویژگی های ماتریس سطح خاکستری[1] پردازش می شوند و پس از تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی در نرم افزار SPSS برای تعریف جهت واریانس های منحصر به فرد در ویژگی های GLCM انجام می شود. که این مقاله رویکردی خودکار و بدون تماس برای اندازه‌گیری زبری سطح ارائه خواهد داد [۵].

بناردوس و وسنیاکوس روش‌ها و شیوه‌های مختلفی است که برای پیش‌بینی زبری سطح را مورد استفاده قرار داده اند. روش های حاصل به فرآیند تولید امکان می دهد تا مولدتر و رقابتی تر شود و در عین حال هرگونه پردازش مجدد قطعه کار ماشینکاری شده را برای براورده کردن مشخصات فنی کاهش دهد. همچنین بر اساس نظریه ماشین‌کاری، تحقیقات تجربی، آزمایش‌های طراحی‌شده و هوش مصنوعی[2] را طبقه‌بندی کرده است [۶].

فلهو و همکاران در پژوهش خود با توجه به کیفیت سطوح مورد نیاز الزامات ماشن¬کاری؛ یک روش مدل‌سازی بر اساس تعریف روابط بین مقادیر تئوری محاسبه‌شده و مقادیر زبری واقعی اندازه‌گیری‌شده سطوح ماشین‌کاری شده را معرفی کرده اند. آزمایش‌های برش برای تعیین داده‌های زبری واقعی که در آن تکامل زبری سطح با پارامترهای فن‌آوری متنوع مورد بررسی قرار گرفت، انجام شده است. در نهایت، روابط محاسبه‌شده که امکان پیش‌بینی زبری مورد انتظار سطوح ماشین‌کاری شده با شرایط داده شده توسط مقادیر نظری و واقعی را فراهم می‌کند، مورد بررسی قرار گرفته است [۷].

لی و همکاران یک الگوریتم شبیه‌سازی و روش برنامه‌نویسی را برای شبیه‌سازی سطح ماشین‌کاری شده با استفاده از سیگنال شتاب در فرز انگشتی با سرعت بالا پیشنهاد کرده اند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج اندازه‌گیری شده، نشان داده است که الگوریتم پیشنهادی نتایج شبیه‌سازی شده خوبی را ارائه کرده است [۸].

[1] grey level co-occurrence (GLCM)
[2] Artificial intelligence



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.25.5 ]
[ DOI: 10.22034/mme.23.10.143 ]

در این پژوهش برای نخستین بار با استفاده روش آنالیز حساسیت ای-فست به بررسی کمی و دقیق چگونگی تأثیر پارامترهای برش (سرعت محور، عمق برش، و نرخ پیش¬بری) و ارتعاش ماشین‌کاری بر زبری سطح در فرآیند فرز کاری انگشتی پرداخته‌شده است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی اثرگذارترین پارامتر ورودی بر زبری سطح نهایی نمونه‌ها می‌باشد.

## ۲- بیان اهداف و نوآوری

با توجه به کاربرد گسترده فرآیند ماشین کاری با فرز انگشتی وپارامترهای موثر بر زبری سطح قطعه خروجی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش‌های پیشین تاثیر پارامترهای برش بر زبری سطح مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این پژوهش برای نخستین بار از روش آنالیز حساسیت آماری ای-فست به‌منظور بررسی کمی و دقیق چگونگی تأثیر همزمان پارامترهای ورودی شامل سرعت اسپیندل، عمق برش، و نرخ پیشروی بر روی پارامتر خروجی زبری سطح برای نمونه‌ها پرداخته‌شده است. هدف اصلی این پژوهش شناخت موثرترین پارامتر ورودی ها به منظور کاهش زبری سطح و افزایش کیفیت سطح قطعه نهایی در فرآیند فرزکاری انگشتی می‌باشد.

## ۳-آنالیز حساسیت

استفاده از روش سطح، کابردی مفید و مناسب برای برای مدل‌سازی و تحلیل مسائلی است که در آن عوامل خروجی تحت تأثیر چندین پارامتر ورودی قرارخواهند داشن. این روش در اوایل دهه ۱۹۵۰ توسط باکس و ویلسون توسعه یافت، و هدف اصلی آن مدل‌سازی و بهینه‌سازی این پارامترهای خروجی است [۸].همچنین این روش می‌تواند روابط میان ورودی‌ها و خروجی‌های یک نمونه را مدل‌سازی کرده و این روابط را به‌صورت یک معادله کد شده ریاضی مرتبه دوم ارائه نماید. یافتن یک تقریب مناسب برای رابطه عملکردی واقعی بین متغیرهای مستقل (x) و متغیر پاسخ (y) قدم اول و ضروری در این روش است [۹].

فرم کلی معادله رگرسیون خطی مرتبه دوم با توجه به متغیرها به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد [۱۰].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (۱)$$

در معادله ۱ ثابت‌های $\beta$ پارامترهای ناشناخته یا ضرایب رگرسیون، همچنین$x_i$ و $x_j$ پارامترهای ورودی یا مستقل می‌باشند.

آنالیز حساسیت روشي است براي شناسايي پارامتر هايي كه بيشترين اثر را روي خروجي دارند. همچنين مي‌توان از آنالیز حساسيت براي شنايي اثر پارامترها در يك محدوده مشخص استفاده كرد. آنالیز حساسیت به چند روش بر اساس فرم مدل تقسیم مي‌شود كه عبارتند از: روش گرافيكي كه فرم آن به صورت جدول نمودار و يا جدول است، روش رياضي كه در آن تغييرات خروجي بر حسب تغييرات ورودي است و روش آماري كه تأثير ورودي را بر خروجي ارزيابی ميكند و در روش آماري ميتوان اثر متقابل بين چندين ورودي را بر روي خروجي مشخص كرد.

روش ای-فست از جمله روش های آنالیز حساسیت آماری و مستقل از مدل، بر پایه ی تجزیه واریانس م یباشد. از این روش میتوان برای توابع و

مدل های غیرخطی و غیریکنواخت استفاده کرد. کاربرد روش ای-فست در چند مرحله ارائه میشود .

مرحله اول: انتخاب مجموعه ای ازn فرکانس، که تعداد پارامترهای ورودیn مدل می باشد.

مرحله دوم: نسبت دادن به دلخواه یک فرکانس از مجموعه فرکانس ها برای هر پارامتر ورودی.

مرحله سوم: معرفی منحنی جستوجو، که فضای همه پارامترهای ورودی را

کاوش می کند.

مرحله چهارم: محاسبه اندیس های حساسیت مرتبه اول و مرتبه کلی به وسیله تحلیل فوریه برای خروجی [۱۱].

این روش با تعریف تابع انتقال، انتگرال‌های چندبعدی را به انتگرال‌های تک‌بعدی تبدیل کرده و موجب ساده‌سازی روند محاسبه شاخص‌های حساسیت مي شود.

$$x_i = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} arcsin(sin(\omega_i s + \phi_i)) \quad (۲)$$

$\omega_i$ (i=1,2,⋯,n) فرکانس مربوط به فاکتور $x_i$ و s متغیری است که در بازه‌ی π-تا π تغییر می‌کند و $\phi_i$ نقطه شروع منحنی را مشخص می‌کند. واریانس خروجی مدل با استفاده از آنالیز فوریه تقریب زده می‌شود:

$$V(Y) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f^2(s)ds - \left[\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f^2(s)ds\right]^2$$
$$\approx \sum_{j=-\infty}^{\infty}(A_j^2 + B_j^2) - (A_0^2 + B_0^2) \approx 2\sum_{j=1}^{N}(A_j^2 + B_j^2) \quad (۳)$$

G ها توابع انتقال، $A_j$ و $B_j$ ضرایب فوریه می‌باشند که در روابط ٤ و ٥ نشان داده شده است.

$$A_j = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(s)\cos(js)ds \quad (٤)$$

$$B_j = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(s)\sin(js)ds \quad (٥)$$

با محاسبه ضرایب فوریه برای فرکانس‌پایه$\omega_i$و هارمونیک‌های بالاتر آن $p\omega_i$ می‌توان واریانس جزئی مرتبه اول ورودی $x_i$ را به دست آورد.

$$V_i = \sum_{p\in Z^0}(A_{p\omega_i}^2 + B_{p\omega_i}^2) = 2\sum_{p=1}^{\infty}(A_{p\omega_i}^2 + B_{p\omega_i}^2) \quad (٦)$$

همچنین برای محاسبه شاخص حساسیت اصلی مانند روش سوبل از نسبت واریانس جزئی مرتبه اول به واریانس کلی

[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.25.5 ]
[ DOI: 10.22034/mme.23.10.143 ]

استفاده می‌کنیم. شاخص حساسیت کلی نیز از معادله‌ی ۷ به دست می‌آید [۱۲]:

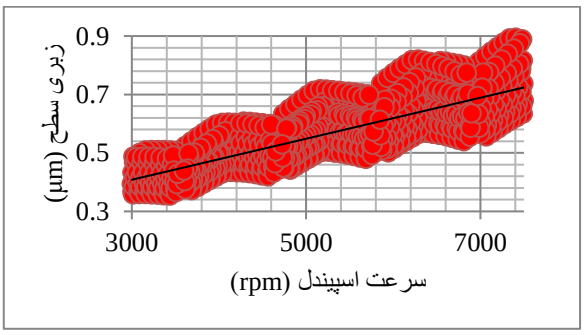
$$ST_i = 1 - \frac{V_{-i}}{V} \quad (۷)$$

واریانس $V_{-i}$ از تغییر همه پارامترها به‌جز تغییر پارامتر $x_i$ به دست می‌آید.

## ۴-تحلیل نتایج

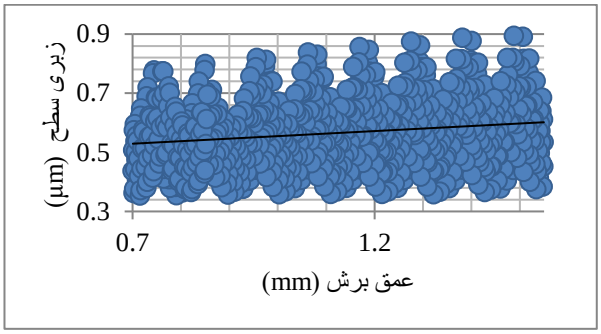
زبری سطح یکی از مولفه های بافت سطح که از پارامتر های مهم کیفیت سطح قطعات ماشین کاری شده می‌باشد؛ به صورت انحرافات یک سطح حقیقی در جهت بردار نرمال، از مقدار ایدئال آن تعریف می‌شود. مقدار این انحرافات سطح تاثیر به سزایی در تعیین نحوه واکنش اجسام واقعی با محیط اطراف دارد. سطوح زبر، زودتر ساییده می‌شوند و ضریب اصطکاک بیشتری نسبت به سطوح صاف دارند، همچنین زبری یکی از مولفه‌های مهم در تعیین عمر قطعات مکانیکی است، چرا که ناهمواری‌های سطح معمولاً محل ایجاد و شروع ترک و شکست قطعات می‌باشند. در بهینه سازی فرزکاری انگشتی زبری سطح باید به مینیمم میزان خود برسد از این رو پارامترهای موثر در کاهش زبری سطح باید مورد بررسی قرار گیرد. برای مثال عمق برش و نرخ پیشروی جزء پارامترهای تاثیر گذار زبری سطح در فرز انگشتی هستند. در ادامه پارامترهای سرعت اسپیندل، عمق برش، و نرخ پیشروی را بررسی می‌کنیم.

اولین پارامتری مورد بررسی، تأثیر سرعت اسپیندل ماشین فرز بر زبری سطح می‌باشد. از نتایج به‌دست‌آمده توسط نمودارهای آنالیز حساسیت، سرعت محور گردان بر زبری سطح در شکل ۲ بررسی‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت میله‌ی گردان ماشین تراش ، میزان زبری سطح افزایش می‌یابد زیرا افزایش سرعت محور گردان موجب کاهش برداده برداری دقیق شده و ارتعاش ایجاد شده موجب می‌شود که تیغه تراش روی قطعه کار به خوبی نشسته و زبری سطح ایجاد کند؛ بنابراین با ارتعاش تیغه تراش میزان زبری سطح افزایش می یابد. که نسبت افزایشی این دو به صورت مستقیم و خطی می‌باشد.



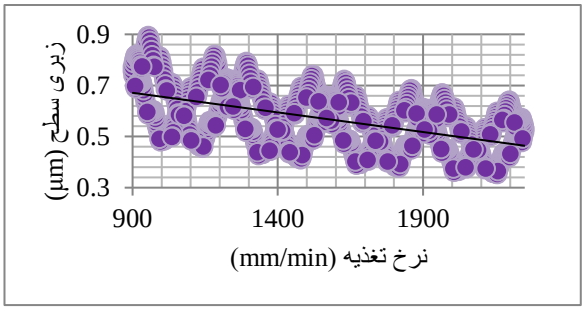

**شکل ۱)** تأثیر سرعت اسپیندل بر میزان زبری سطح

پارامتر تأثیرگذار بعدی عمق برش می‌باشد. شکل ۲ نشان‌دهنده نحوه تغییر زبری سطح با تغییر میزان عمق برش است. با توجه به شیب نمودار، مشاهده می‌شود که با افزایش عمق برش، زبری سطح نیز افزایش یافته؛ زیرا باعث کاهش دقت برش کاری شده و در صورت زیاد بودن عمق برش، تیغه تراش نمی‌تواند به خوبی کار خود را انجام دهد و بنابراین موجب افزایش میزان زبری سطح می شود.




**شکل ۲)** تأثیر عمق برش بر میزان زبری سطح

افزایش نرخ تغذیه نیز سبب کاهش میزان زبری سطح می‌شود ولی تاثیر آن نسبت به زمان خاموشی پالس کمتر است؛ که در شکل ۳ قابل‌مشاهده است. افزایش ولتاژ باعث افزایش شکاف تخلیه و کاهش شدت جرقه می شود، زیرا حداکثر انرژی توسط سیال دی‌الکتریک جذب می شود. این امر منجر به کاهش اندازه دهانه شکاف می شود که نیاز اولیه برای زبری سطح است.




**شکل ۳)** تأثیر نرخ تغذیه بر میزان زبری سطح

آخرین پارامتری که تأثیر آن بر میزان زبری سطح بررسی خواهد شد، نرخ تغذیه می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود افزایش نرخ تغذیه منجر به کاهش زبری سطح خواهد شد؛ زیرا افزایش نرخ تغذیه به این معنی است که یک تراش با سرعت بالایی با قطعه کار برخورد می کند و در نتیجه زبری سطح را کاهش می‌دهد.

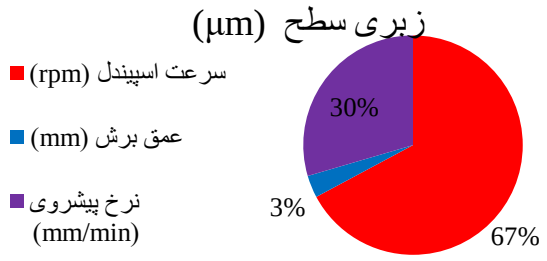
## ۵- مقایسه کمی اثر پارامترهای ورودی مختلف بر زبری سطح با استفاده از روش آنالیز حساسیت ای-فست

در این بخش به مقایسه کمی بین درصد تأثیر فاکتورهای مختلف ورودی بر زبری سطح در فرآیند فرزکاری انگشتی پرداخته‌شده است. این نتایج از آنالیز حساسیت ای-فست به‌دست‌آمده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود از میان سه پارامتر موردبررسی در این فرآیند، پارامتر سرعت اسپیندل با ۶۷ درصد تأثیر بر روی زبری سطح به‌عنوان تأثیرگذارترین پارامتر در فرآیند فرزکاری انگشتی شناخته شده است. همچنین در شکل ۴



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.25.5 ]
[ DOI: 10.22034/mme.23.10.143 ]

مشاهده می‌شود که پارامتر نرخ پیشروی و با ۳۰ درصد تاثیر به‌عنوان پارامتر اثرگذار بعدی بر زبری سطح شناخته شده است. پارامتر عمق برش نیز با ۳ درصد تاثیر به عنوان سومین پارامتر اثرگذار شناخته شده‌اند، همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف تاثیر آن با دو پارامتر دیگر بسیار زیاد است.




**شکل ۴)** مقایسه کمی پارامترهای ورودی بر زبری سطح

## ۶-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

آنالیز حساسیت چگونگی وابستگی خروجی یک مدل به پارامترهای ورودی آن را بررسی می‌کند. از نتایج آنالیز حساسیت می‌توان به‌منظور یافتن متغیرهای ورودی که تأثیر چندانی بر روی خروجی ندارند و حذف آنها از معادلات سیستم جهت ساده‌سازی معادلات و همچنین به منظور یافتن متغیرهای موثر و حساس برای دقت در انتخاب آن‌ها استفاده نمود. در این پژوهش با استفاده از روش آنالیز حساسیت آماری ای-فست که از سرعت بالایی نسبت به سایر روش‌های آماری آنالیز حساسیت برخوردار می‌باشد، به بررسی تأثیر ۳ پارامتر ورودی شامل، سرعت اسپیندل، عمق برش، و نرخ پیشروی بر روی زبری سطح در فرآیند فرزکاری انگشتی پرداخته‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که از بین این سه پارامتر موردبررسی، پارامتر سرعت اسپیندل با ۶۷ درصد تأثیر بر روی زبری سطح و شیب رشد زیاد به‌عنوان تأثیرگذارترین پارامتر شناخته‌شده است. همچنین مشاهده‌شده است که نرخ پیشروی با ۲۴ درصد و شیبی تقریبا ½ برابر سرعت اسپیندل اما خلاف جهت و بصورت کاهشی بر زبری سطح، اثرگذار بوده است. پارامتر عمق برش نیز با تاثیر ۳ درصدی به عنوان کمترین پارامتر اثر بخش بر زبری سطح شناخته شده است.

## ۷-مراجع

[1] Imani L, Rahmani Hanzaki A, Hamzeloo SR, Davoodi B. Modeling and optimization of cutting force and surface roughness in the milling process of Inconel 738 by Neural Network and Genetic Algorithm. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2019 Oct 23;6(5):25-38.

[2] Kovac P, Rodic D, Pucovsky V, Savkovic B, Gostimirovic M. Application of fuzzy logic and regression analysis for modeling surface roughness in face milliing. Journal of Intelligent manufacturing. 2013 Aug;24:755-62

[3] Feng CX, Wang XF. Surface roughness predictive modeling: neural networks versus regression. IIE Transactions. 2003 Jan 1;35(1):11-27.

[4] Thamma R. Comparison between multiple regression models to study effect of turning parameters on the surface roughness. InProceedings of the 2008 IAJC-IJME international conference 2008 (Vol. 133, No. 103, pp. 1-12).

[5] Joshi K, Patil B. Prediction of surface roughness by machine vision using principal components based regression analysis. Procedia Computer Science. 2020 Jan 1;167:382-91.

[6] Benardos PG, Vosniakos GC. Predicting surface roughness in machining: a review. International journal of machine tools and manufacture. 2003 Jun 1;43(8):833-44

[7] Felhő C, Karpuschewski B, Kundrák J. Surface roughness modelling in face milling. Procedia CIRP. 2015 Jan 1;31:136-41.

[8] Lee KY, Kang MC, Jeong YH, Lee DW, Kim JS. Simulation of surface roughness and profile in high-speed end milling. Journal of Materials Processing Technology. 2001 Jun 15;113(1-3):410-5.

[9] T.-H. Hou, C.-H. Su, and W.-L. J. P. t. Liu, "Parameters optimization of a nano-particle wet milling process using the Taguchi method, response surface method and genetic algorithm," vol. 173, no. 3, pp. 153-162, 2007.

[10] A. Nekahi, K. J. M. Dehghani, and Design, "Modeling the thermomechanical effects on baking behavior of low carbon steels using response surface methodology," vol. 31, no. 8, pp. 3845-3851, 2010.

[11] Cukier RI, Levine HB, Shuler KE. Nonlinear sensitivity analysis of multiparameter model systems. Journal of computational physics. 1978 Jan 1;26(1):1-42.

[12] T. Homma, A. J. R. E. Saltelli, and S. Safety, "Importance measures in global sensitivity analysis of nonlinear models," vol. 52, no. 1, pp. 1-17, 1996.

[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.25.5 ]
[ DOI: 10.22034/mme.23.10.143 ]