



## Investigating the influence of input parameters on surface roughness and roughing time in the honing plateau

Naser Shokrollahi<sup>1\*</sup>, Mohammad Reza Shabgard<sup>2</sup>, Kamal Jahani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD, Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

<sup>2,3</sup> Professor, Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

**Article Type:**

Original Research

**Received:** 08.05.2024

**Revised:** 10.09.2024

**Accepted:** 19.11.2024

**Keyword:**

Honing time  
surface roughness of honing  
honing plateau  
regression  
analysis of variance

**\*Corresponding Author:**

Naser Shokrollahi

**Email:**

[nshokrollahi@tabrizu.ac.ir](mailto:nshokrollahi@tabrizu.ac.ir)

In the present study, the impact of key honing process parameters, including tool contact pressure, abrasive grain size, reciprocating speed, and tangential speed of the tool, on surface roughness parameters according to the Abbott-Firestone curve and honing time in the rough honing of gray cast iron cylinders has been evaluated. A linear regression model was developed for analyzing these parameters, and the most significant factors influencing surface roughness and material removal time were identified using analysis of variance. The direct and interaction effects of these factors were also examined. The results showed that the shortest honing time is achieved when all process input parameters are set to their highest levels. Additionally, tool pressure, grain size, linear speed, and tangential speed were found to have the greatest influence on honing time, in that order. Grain size was identified as the most influential parameter on surface roughness, with an increase in grain size leading to a decrease in honing surface quality. Furthermore, increasing linear speed improved surface roughness when tool pressure was low, whereas at higher pressures, increasing linear speed resulted in a decline in surface quality.



---

**EXTENDED ABSTRACT**

---

**Introduction**

Honing is a process that ensures the minimum friction between the piston assembly by making grooves on the cylinder bore as oil retention and preventing engine from seizing. The topography of the surface that produced by honing process should also have such a condition that the rate of toxic emission kept in a minimum rate. The honing stones motion produces a helical form with a peculiar crosshatch angle defined by the axial and peripheral speed of honing head. If the surface roughness profile of the cylinder block bores has sharp peaks the pressure between piston assembly and cylinder bore will be high enough to break away the peaks. Therefore, the rate of the toxic emission will be increased. In addition, if the bearing surface between the cylinder bore and the piston assembly be too much, the friction losses will be high and as a result seizing of the engine will occur in shorter times.

In the present work, the surface roughness analysis of grey cast iron cylinder block bore which was subjected to the rough honing process was carried out using experimental techniques. The effects of process input variables on the surface roughness factors were studied. In addition, a linear regression model was presented.

**Methodology**

A vertical production Nagel (28-6864) honing machine was used, in which cylinder block bores stay stationary and the reciprocal and rotational motions were done by the honing head. A full factorial two-level by employing of four variables design was carried out. Contact pressure between honing stones and workpiece material  $P_r$  ( $N.cm^{-2}$ ), abrasive grain size  $G_s$  (FEPA), reciprocating speed of the honing tool  $V_l$  ( $m.min^{-1}$ ) and peripheral speed of the honing head  $V_t$  ( $m.min^{-1}$ ).

**Results and discussion**

Figure 1, displays the effects of honing process input variables on the roughness factors of the Abbott–Firestone curve  $R_k$ ,  $R_{vk}$  and  $R_{pk}$ . According to Fig. 6, abrasive grain size ( $G_s$ ) is most effective parameter on the surface roughness and with increasing it, the quality of the honing surface decreases. In addition, the minimum honing time can be achieved when all of the experiment parameters set at the upper values. In addition, the effect of  $P_r$ ,  $G_s$ ,  $V_l$  and  $V_t$  on the honing time is decreased, respectively.

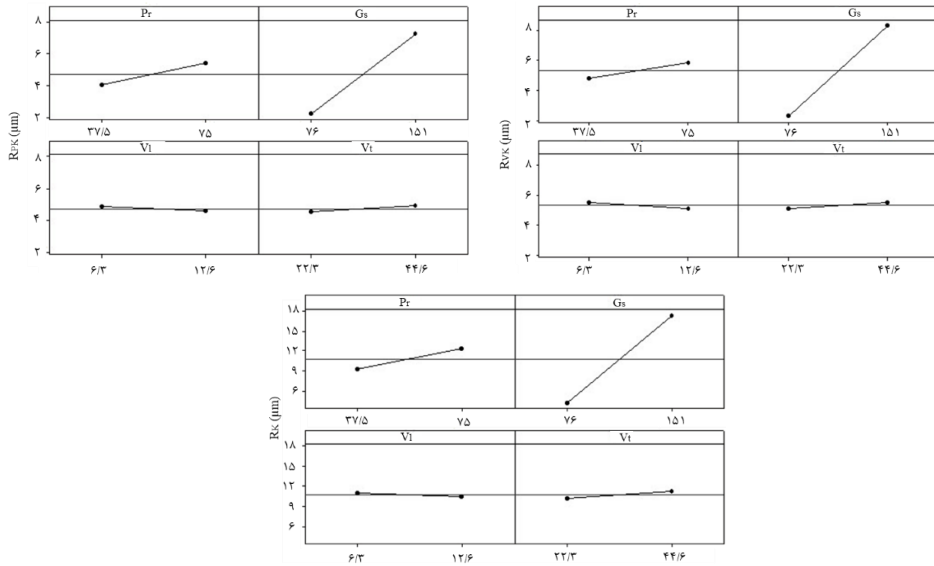


Figure 1. Influence of input variables on Surface roughness.

### Conclusion

In the present study, the effects of the honing process input parameters on surface roughness and honing time in rough honing of gray cast iron cylinder liners were investigated. The results show that to achieve the minimum honing time and maximum material removal rate, the process input parameters should be set at high levels. Tool pressure, abrasive grain size, linear speed, and tangential speed, respectively, have the greatest influence on honing time. Increasing the abrasive grain size and contact pressure significantly increases the surface roughness, although the effect of grain size on surface roughness is greater than that of contact pressure. Increasing the grain size and contact pressure reduces the honing time; however, at higher pressures, the effect of grain size on honing time decreases. Moreover, increasing the linear speed can improve surface quality at low pressures, but at high pressures, it reduces surface quality. ANOVA results also indicated that abrasive grain size and contact pressure have a major influence on surface roughness parameters, while the linear and rotational speeds of the tool have a smaller effect. Linear regression models were employed to predict the honing output parameters, and the influence of all process parameters was considered in the analysis.



## بررسی اثر پارامترهای ورودی بر زبری سطح و زمان خشن کاری در هونینگ پلاتو

ناصر شکرالهی<sup>\*۱</sup>، محمد رضا شبگرد<sup>۲</sup>، کمال جهانی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
۲ و ۳- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در پژوهش حاضر، تأثیر پارامترهای کلیدی فرایند هونینگ، شامل فشار تماس ابزار، اندازه دانه ساینده، سرعت رفت و برگشتی و سرعت مماسی ابزار، بر پارامترهای زبری سطح مطابق منحنی آبوت-فایرستون و زمان هونینگ کاری در هونینگ خشن سیلندرهای چدن خاکستری مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای تحلیل این پارامترها، مدل رگرسیون خطی تدوین شد و با استفاده از آنالیز واریانس، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زبری سطح و زمان براده‌برداری شناسایی و تأثیرات مستقیم و متقابل آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که کوتاه‌ترین زمان هونینگ در حالتی به دست می‌آید که تمامی پارامترهای ورودی فرایند در سطوح بالای خود تنظیم شوند. علاوه‌براین، فشار ابزار، اندازه دانه، سرعت خطی و سرعت مماسی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر زمان هونینگ دارند. اندازه دانه به عنوان مؤثرترین پارامتر بر زبری سطح شناخته شد که با افزایش آن، کیفیت سطح هونینگ کاهش یافت. افزون‌براین، افزایش سرعت خطی در شرایطی که فشار ابزار کم بود، باعث بهبود زبری سطح شد، اما در فشارهای بالا، افزایش سرعت خطی منجر به افت کیفیت سطح گردید.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

کلیدواژگان:

زمان هونینگ

زبری سطح هونینگ

هونینگ پلاتو

رگرسیون

آنالیز واریانس

\*نویسنده مسئول: ناصر شکرالهی

پست الکترونیکی:

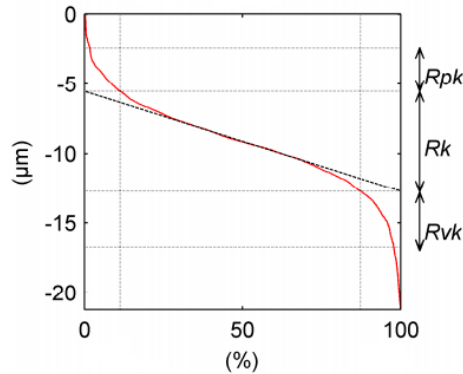
[nshokrollahi@tabrizu.ac.ir](mailto:nshokrollahi@tabrizu.ac.ir)



## مقدمه

زبری سطح داخلی سوراخ سیلندر موتورهای احتراق داخلی یکی از متغیرهای بحرانی است که تأثیر آن بر نرخ خروج گازهای آلاینده از جمله دی‌اکسید کربن، مونوکسید کربن، هیدروکربن و اکسید نیتروژن و میزان اتلاف انرژی اصطکاکی ناشی از تماس بین مجموعه پیستون و سطح داخلی سوراخ سیلندر را مشخص می‌کند [۱]. هونینگ یک فرایند است که با ایجاد شیارهایی بر روی دیواره داخلی سوراخ سیلندر، به منظور نگهداری روغن و کاهش حداقل اصطکاک بین مجموعه پیستون و سطح داخلی سوراخ سیلندر، و همچنین جلوگیری از گیرکردن موتور، انجام می‌شود [۲، ۳]. علاوه بر این، توپوگرافی سطحی که توسط فرآیند هونینگ ایجاد می‌شود، باید شرایطی را فراهم کند که نرخ خروج گازهای آلاینده از موتور به حداقل برسد [۴]. حرکات سنگ هونینگ منجر به ایجاد یک الگوی مارپیچی با زاویه‌های خاصی می‌شود که این زاویه توسط حرکات نسبی دورانی و حرکات رفت و برگشت کله‌گی هونینگ تعیین می‌شود [۵، ۶]. در صورتی که پروفیل زبری سطح سوراخ داخلی سیلندر دارای قله‌های تیز باشد، فشار فی مابین مجموعه پیستون و سطح سوراخ داخلی سیلندر در ابتدای عملکرد موتور به اندازه‌ای بالا خواهد بود که این قله‌ها به دلیل سطح اتکای پایین شکسته شده و در نتیجه میزان گازهای آلاینده بالا خواهد رفت. علاوه بر این، در صورتی که سطح تماس بین سوراخ داخلی سیلندر و مجموعه پیستون بالا باشد، اتلاف انرژی در اثر سطح تماس بالا زیاد بوده و در صورتی که عمق دره‌ها در پروفیل زبری سطح کم باشد، به این معنا خواهد بود که حداقل مقدار روغن در سطح نگه داشته شده و در نتیجه گیرپاچ کردن موتور در زمان‌های کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد [۷]. با توجه به عوامل مذکور، فرآیند هونینگ باید شرایط بهینه‌ای بین ارتفاع قله‌ها و عمق دره‌های پروفیل زبری را ایجاد کند. به منظور اینکه سازندگان بلوک سیلندر به کیفیت سطحی اتکا کنند، یک فرآیند هونینگ چند مرحله‌ای انجام می‌دهند که منجر به تولید توپوگرافی سطوح هونینگ شبه پلاتو (بسیار مسطح) می‌شود. در فرآیند هونینگ، شیارهای عمیق با استفاده از دانه‌های ساینده خشن‌تر و اعمال فشارهای بیشتر در طول فرآیند ایجاد می‌شوند، در حالیکه مرحله صاف کردن یا به دست آوردن سطح پلاتو با استفاده از دانه‌های ساینده ریزتر و فشارهای پایین‌تر در هنگام هونینگ، پلاتو را ایجاد می‌کند [۸، ۹]. سطوح سیلندرهای هونینگ پلاتو شده دارای سطوح هموار، که مقاوم به سایش در تقاطع با دره‌های عمیقی هستند که به عنوان نگه‌دارنده روغن و چاله‌هایی برای جمع‌آوری ذرات کوچک عمل می‌کنند، می‌باشند [۱۰]. فرآیند تراش پلاتو به طور قابل ملاحظه‌ای زمان اجرا را کاهش می‌دهد [۱۱، ۱۲]. پارامترهای زبری سطح  $R_a$  و  $R_z$  برای آنالیز کیفیت سطح مدل‌های بافت سطح تک-فرایندی استفاده می‌شود. با این حال، استفاده از این پارامترها در تجزیه و تحلیل بافت‌های سطحی تولید شده از چند فرایند کافی نمی‌باشند. بنابراین، بسیاری از سازندگان موتور از پارامترهای زبری سطح منحنی آبوت-فایرستون<sup>۱</sup> ( $R_{PK}$ ،  $R_{VK}$  و  $R_K$ ) به عنوان پاسخی برای نمایش شرایط هونینگ و همچنین برای کنترل ساده‌تر فرآیند هونینگ در تولید انبوه استفاده می‌کنند. این روش بافت سطحی را به سه ناحیه، یعنی قله، هسته و دره، تقسیم می‌کند. این تقسیم بر اساس ترسیم خطی با حداقل شیب که ۴۰ درصد منحنی زبری را پوشش می‌دهد، انجام می‌شود، به طوری که این خط نمایانگر پروفیل هسته می‌باشد [۱۳، ۱۴]. شکل ۱ پارامترهای مورد بحث در منحنی آبوت-فایرستون را بر اساس استاندارد ISO 13565-2 نشان می‌دهد. در این شکل، پارامتر  $R_{PK}$  به ارتفاع متوسط قله زبری نسبت به  $R_K$  اشاره دارد،  $R_{VK}$  نشان‌دهنده عمق متوسط دره زبری نسبت به  $R_K$  می‌باشد و  $R_K$  عمق متوسط هسته زبری را نمایش می‌دهد [۱۵].

<sup>۱</sup>Abbott-Fire Stone Curve



شکل ۱. پارامترهای زبری سطح منحنی آبوت-فایرستون  $R_{pk}$  و  $R_k$  و  $R_{vk}$

ساساکی و اوکامورا<sup>۱</sup> اثر پارامترهای ورودی هونینگ کاری را بر عملکرد ماشین کاری را مورد بررسی قرار دادند [۱۶]. آنها دریافتند که بیشترین عملکرد ماشینکاری در سرعت برشی ۴۰ متر بر دقیقه به دست می آید. علاوه بر این، آنها نشان دادند که زاویه هونینگ مناسب در ماشینکاری با سنگ های سنتی معمولاً بین ۴۰ تا ۵۰ درجه است [۱۶]. پانکاج و همکاران<sup>۲</sup> تاثیر فشار ابزار هونینگ و سرعت محیطی آن را بر روی کیفیت سطح سیلندرهای چدنی بررسی کردند. آنها نشان دادند که پارامترهای فشار و سرعت محیطی ابزار اثر قابل ملاحظه ای بر روی پارامترهای زبری سطح  $R_a$  و  $R_z$  دارند [۱۷]. ایرین و همکاران مدل هایی درباره کیفیت سطح و نرخ براده برداری در هونینگ خشن سیلندرهای هیدرولیک St-52 ارائه دادند. آنها مهم ترین متغیرها از نظر آماری برای مدل سازی زبری سطح را به ترتیب اندازه دانه، فشار تماسی، چگالی سنگ و سرعت محیطی ابزار معرفی کردند [۱۸]. ایرین و همکاران<sup>۳</sup> در تحقیق دیگر به بررسی تغییر پذیری زبری سطح پرداختند و نشان دادند که این پدیده ناشی از روش اتخاذ شده اندازه گیری زبری سطح می باشد. آنها دریافتند که با افزایش تعداد نقاط اندازه گیری، میزان تغییرات در مقادیر زبری سطح به دست آمده کاهش می یابد و اطمینان پذیری افزایش می یابد [۱۹]. بل و همکاران<sup>۴</sup> از سه اندازه مختلف دانه ساینده و فشارهای مختلف در هونینگ داخلی قطعات فولادی استفاده نمودند [۲۰]. نتایج به دست آمده از تحقیق آنها نشان داد که نرخ براده برداری به ترتیب به اندازه دانه، مقدار فشار و زمان هونینگ بستگی دارد. علاوه بر این، نرخ سایش سنگ هونینگ، بستگی به اندازه دانه و فشار تماس دارد. سانتوچی و همکاران<sup>۵</sup> رفتار سایشی سیلندرها با آزمون عملکردی طولانی مطالعه نمودند. آنها روشهای متفاوت هونینگ کاری را برای بهبود عملکرد موتور ارائه نمودند [۷].

پژوهش حاضر، اثر پارامترهای مختلف ورودی فرایندی اعم از فشار تماسی ابزار، اندازه دانه ساینده، سرعت حرکت رفت و برگشتی و سرعت حرکت دورانی ابزار هونینگ را بر روی پارامترهای زبری سطح ( $R_{vk}$ ,  $R_{pk}$ ,  $R_k$ ) و همچنین زمان براده برداری را در مرحله هونینگ خشن سیلندرهای با جنس چدن خاکستری مورد مطالعه قرار

<sup>۱</sup>Sasaki and Okamura

<sup>۲</sup>Pankaj et al

<sup>۳</sup>Irene et al

<sup>۴</sup>Bell et al

<sup>۵</sup>Santochi et al

داده است. همچنین با استفاده از پارامترهای ورودی و نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی، یک مدل رگرسیون خطی با سطح اطمینان ۹۵ درصد جهت برآورد نتایج نهایی ارائه شده است. اثر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی پارامترهای خروجی فرایند به صورت مستقل ارائه شده است. علاوه بر این، اثرات ترکیبی این تغییرات بر روی نتایج خروجی، مورد بحث قرار گرفته است.

## روش‌شناسی

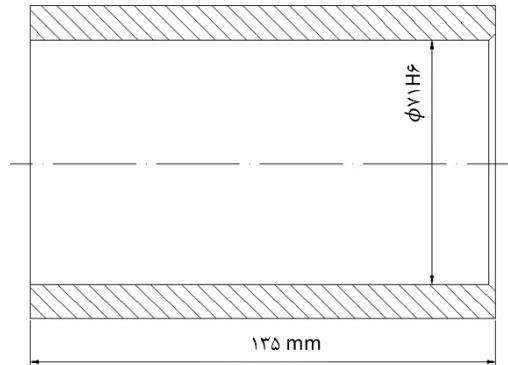
یک دستگاه هونینگ با نام تجاری ناگل<sup>۱</sup> جهت ماشینکاری نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در این دستگاه بلوک سیلندر در حین ماشینکاری ثابت و حرکت دورانی و رفت و برگشتی توسط کله‌گی هونینگ انجام می‌گیرد (شکل ۲-الف). کله‌گی هونینگ با سطح مقطع مشبک و ۸ عدد سنگ به ابعاد  $3 \times 5 \times 80$  میلی‌متر جهت مرحله هونینگ خشن پلاتو استفاده شده است (شکل ۲-ب). دستگاه هونینگ دارای سیستم گنج بادی در حین فرآیند می‌باشد و به محض رسیدن اندازه به مقدار مورد نظر، منجر به استپ فرایند می‌شود.



شکل ۲. الف) دستگاه هونینگ (ب) کله‌گی هونینگ با سطح مقطع مشبک

ابعاد و قطر سوراخ سیلندر در شکل ۳ نشان داده شده است. جنس سیلندرها به کار گرفته شده در پژوهش حاضر، مشابه جنس بلوک سیلندرها موتور خودرو، چدن خاکستری می‌باشد. آنالیز شیمیایی ماده مورد استفاده، در جدول ۱ نشان داده شده است. سوراخ‌های سیلندر قبل از ورود به مرحله هونینگ با استفاده از عملیات داخل تراشی پرداخت کاری شدند و زبری سطح آنها به عدد  $Ra \ 2/5 \ \mu m$  رسانده شد.

<sup>۱</sup>Nagel



شکل ۳. ابعاد سوراخ سیلندر نهایی

جدول ۱. آنالیز شیمیایی ماده چدن خاکستری سیلندر

Sn	Cu	Cr	S	P	Mn	Si	C
0.07%	0.13%	0.2%	0.05%	0.05%	0.7%	1.5%	3.3%

جهت اندازه گیری زبری سطح، از یک زبری سنج با نام تجاری میتوتو<sup>۱</sup> و با پروب نوک الماسی به شعاع  $\mu\text{m}$  ۲ و نیروی اندازه گیری  $0.75 \text{ mN}$  و سرعت اندازه گیری  $0.25 \text{ mm/s}$  استفاده شد. طول نمونه برداری معادل  $2.5 \text{ mm}$  و طول برآورد کلی معادل  $12.5 \text{ mm}$  انتخاب گردید. به دلیل اجتناب از اثرات ناشی از افزایش و کاهش شتاب خطی ابزار بر روی نتایج نهایی، نقاط اندازه گیری در فاصله  $5.0 \text{ mm}$  از سطح بالایی سوراخ داخلی سیلندر انجام شد. علاوه بر این، فرایند اندازه گیری در ۴ نقطه با اختلاف زاویه  $90^\circ$  درجه جهت افزایش اعتماد پذیری اندازه گیری صورت گرفت.

طراحی آزمایش ها بر اساس یک آزمایش عاملی کامل با چهار متغیر و دو سطح متفاوت و چهار بار تکرار انجام گرفت (جدول ۲). متغیرهای آزمایش عبارتند از: فشار تماسی بین سنگ های هونینگ و ماده قطعه کار ( $P_r$ )، اندازه دانه های ساینده سنگ هونینگ ( $G_s$ )، سرعت حرکت رفت و برگشتی ابزار هونینگ ( $V_l$ ) و سرعت حرکت مماسی یا محیطی ابزار هونینگ ( $V_t$ ). اندازه دانه ساینده  $75$  و  $151$ ، با توجه به گزارش ایرنه و همکاران<sup>۲</sup>، برای فرایند هونینگ کاری خشن انتخاب گردید [۱۸]. علاوه بر این، با استفاده از مراجع [۲۱؛ ۲۲]،  $75 \text{ kg.cm}^{-2}$  بیشینه مقدار برای فشار تماسی ابزار جهت دستیابی به بیشترین نرخ براده برداری انتخاب گردید و نصف این عدد،  $37.5$ ، برای مقدار کمینه فشار ابزار تعیین شد. پاسخ ها یا نتایج پژوهش نیز، عبارت است از: پارامترهای زبری سطح ( $R_{vk}$ ،  $R_{pk}$ ،  $R_k$ ) و زمان هونینگ.

جدول ۲. آزمایش عاملی کامل با چهار متغیر و دو سطح

No	$P_r$	$G_s$	$V_l$	$V_t$	$\alpha$
----	-------	-------	-------	-------	----------

<sup>۱</sup>Mitutoyo<sup>۲</sup>Irene et al

1	37.5	76	6.3	22.3	31.55
2	37.5	76	6.3	44.6	16.08
3	37.5	76	12.6	22.3	58.9
4	37.5	76	12.6	44.6	31.55
5	37.5	151	6.3	22.3	31.55
6	37.5	151	6.3	44.6	16.08
7	37.5	151	12.6	22.3	58.9
8	37.5	151	12.6	44.6	31.55
9	75	76	6.3	22.3	31.55
10	75	76	6.3	44.6	16.08
11	75	76	12.6	22.3	58.9
12	75	76	12.6	44.6	31.55
13	75	151	6.3	22.3	31.55
14	75	151	6.3	44.6	16.08
15	75	151	12.6	22.3	58.9
16	75	151	12.6	44.6	31.55

زاویه هاشور شیارهای هونینگ به وسیله حرکات دورانی و خطی ابزار هونینگ تعیین می‌گردد و مقدار آن با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{v_l}{v_t} \quad (1)$$

در این رابطه  $v_l$  سرعت حرکت رفت و برگشتی ابزار هونینگ،  $v_t$  سرعت حرکت مماسی یا محیطی ابزار هونینگ و  $\alpha$  زاویه هاشور می‌باشد. ترکیب سرعت‌های خطی و محیطی ابزار در این آزمایش به گونه‌ای انتخاب شده است که زاویه هاشور سه مقدار  $۱۶/۰۸$ ،  $۳۱/۵۵$  و  $۵۸/۹$  درجه را به دست می‌آورد.

### یافته‌ها

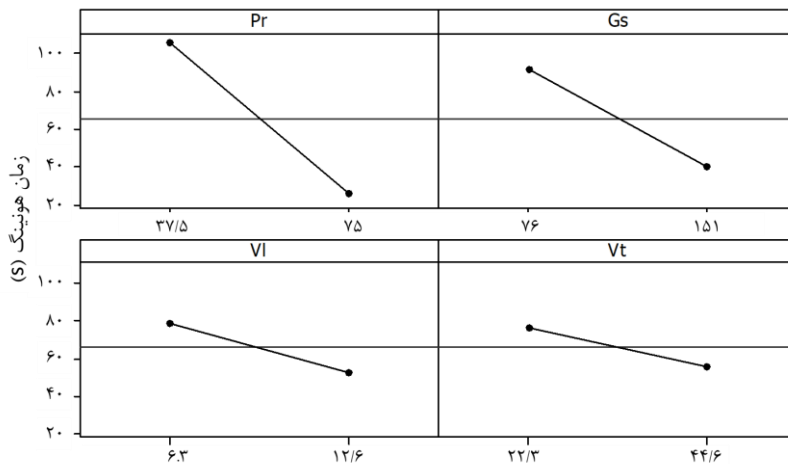
جدول ۳ مقادیر میانگین، برای زمان هونینگ و پارامترهای زبری سطح منحنی آبوت-فایرستون  $R_{PK}$ ،  $R_{VK}$  و  $R_K$  نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج به دست آمده از آزمایشات تجربی

No	زمان هونینگ (t)	$R_k$ ( $\mu m$ )	$R_{vk}$ ( $\mu m$ )	$R_{pk}$ ( $\mu m$ )
1	200	3.56	1.85	2.07
2	150	4.11	2.13	1.98
3	170	3.61	2.09	1.94
4	122	4.4	3.23	2.33
5	86	17.21	8.51	5.87
6	60	15.42	8.85	8.09

7	33	9.62	5.82	4.12
8	26	15.8	6	6.16
9	21	3.93	1.83	2.38
10	37	5.54	3.06	2.33
11	18	4.35	1.87	2.26
12	14	4.39	2.34	2.31
13	51	17.93	8.57	8.18
14	27	20.21	9.23	8
15	28	21.53	10.38	9.52
16	10	20.04	9.253	8.17

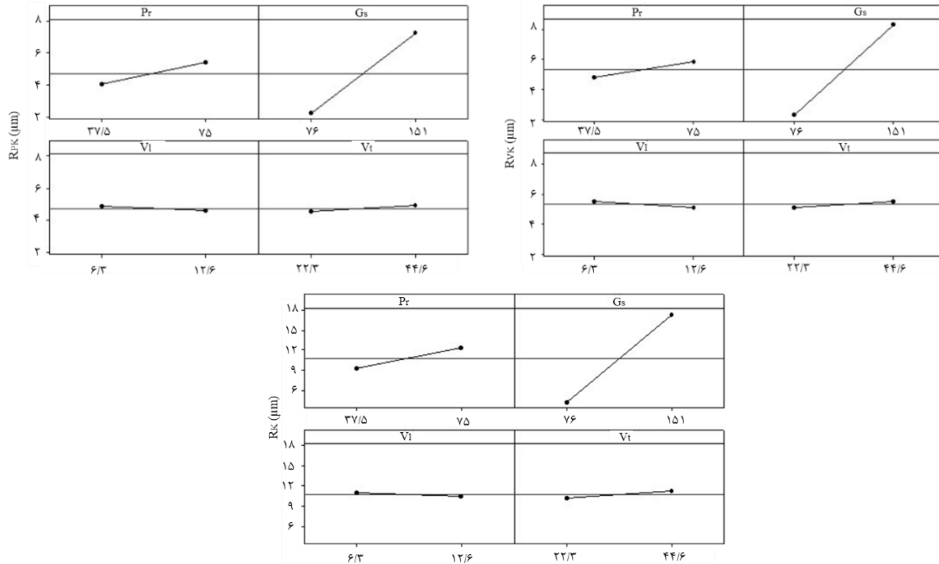
شکل ۴، اثر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی زمان هونینگ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، حداقل زمان هونینگ یا به عبارتی، زمانی حاصل می‌شود که تمام پارامترهای ورودی آزمون در مقادیر بالای خود تنظیم شوند. علاوه بر این، می‌توان استنباط کرد که فشار ابزار، اندازه دانه، سرعت خطی و سرعت محیطی به ترتیب بیشترین اثر را بر روی زمان هونینگ دارند. همراه با افزایش فشار تماسی بین ابزار و قطعه کار، نیازمندی به نیروی بیشتری برای تشکیل براده افزایش می‌یابد. این افزایش در نیرو باعث می‌شود که دانه‌های ساییده به سرعت بیشتری کنده شده و دانه‌های ساییده تیزتری در سطح ابزار پدیدار شوند [۲۳]. این واکنش‌ها در نهایت منجر به افزایش فرسایش ابزار می‌شود و قدرت براده‌برداری آن ابزار را تقویت کرده و همچنین زمان مورد نیاز برای انجام عملیات ماشینکاری را کاهش می‌دهد. افزون بر این، با افزایش شعاع ابزار یا به عبارتی افزایش اندازه دانه ساییده، میزان نیرو افزایش و در نتیجه مقدار نرخ براده‌برداری افزایش و زمان ماشینکاری کاهش خواهد یافت.



شکل ۴. اثر پارامترهای ورودی بر زمان هونینگ

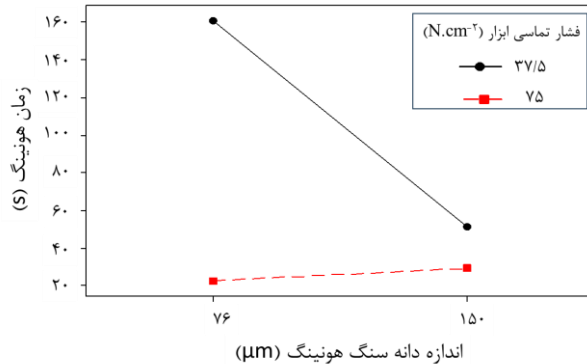
شکل ۵ اثر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی فاکتورهای زبری سطح منحنی آبوت-فایرستون ( $Rpk$ ,  $Rk$ ،  $Rvk$ ) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵، اندازه دانه موثرترین پارامتر اثرگذار بر روی میزان زبری سطح می‌باشد و با افزایش آن کیفیت سطح هونینگ کاهش می‌یابد. با افزایش اندازه دانه ساییده مقدار نیروی تشکیل براده در

جهت برش افزایش پیدا می‌کند و مساحت شیارهای ایجاد شده بیشتر و در نتیجه میزان زبری سطح افزایش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش مقدار فشار تماسی بین ابزار و قطعه کار نیز موجب افزایش زبری سطح می‌شود [۲۴-۲۶].  
 ۲۶. با این حال، اثر آن بر زبری سطح، به اندازه اثر افزایش اندازه دانه نمی‌باشد. با توجه به شکل ۵، تغییرات فاکتورهای سرعت خطی و محیطی اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی زبری سطح ندارد.



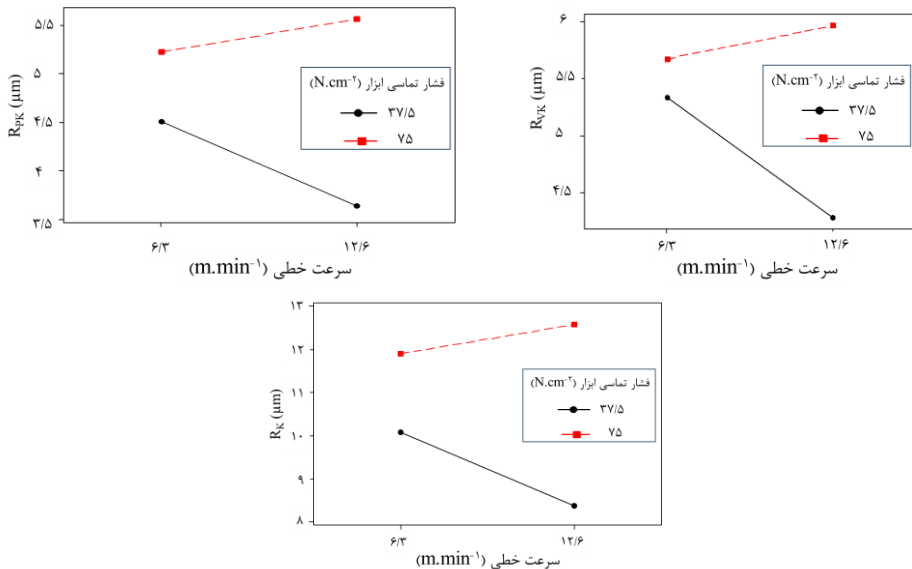
شکل ۵. اثر پارامترهای ورودی بر فاکتورهای زبری سطح  $R_k$  و  $R_{vk}$

شکل ۶، نمودار اثر متقابل اندازه دانه و فشار تماسی بین ابزار و سطح قطعه کار بر زمان هونینگ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶، در مقادیر پایین فشار تماسی ابزار، افزایش اندازه دانه سایندگی سنگ هونینگ، زمان هونینگ را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. با این حال، در مقادیر بالای فشار تماسی ابزار، این پدیده قابل ملاحظه نیست. با افزایش فشار تماسی، لبه‌های برشی به میزان بیشتری به سطح قطعه کار نفوذ می‌کنند. این افزایش نفوذ لبه‌های برشی فعال، سطح و مقدار براده‌های تولید شده را افزایش می‌دهد. این واکنش در نهایت منجر به کاهش زمان مورد نیاز برای انجام عملیات هونینگ می‌شود [۲۷؛ ۲۸]. با توجه به شکل ۶، دانه‌های ساینده با سایز بیشتر، منجر به نرخ براده‌برداری بیشتر و یا به عبارتی زمان هونینگ کوتاه‌تر می‌شود. با این حال، مقدار عمق نفوذ دارای محدوده‌ای مشخص است. زیرا که، لبه‌های برنده تا زمانی که تعادلی بین فشار تماسی و فشار عکس‌العمل سطح در اثر نفوذ برقرار شود می‌توانند در سطح نفوذ نمایند و نرخ براده‌برداری را افزایش دهند و زمان ماشینکاری را کاهش دهند. با این حال، زمانی که فشار تماسی، بیش از حد افزایش یابد، بنابراین، میزان فشار بر روی نگه‌دارنده یا چسب سنگ افزایش می‌یابد. در این حالت، به صورت همزمان، به دلیل ارتفاع بیرون‌زدگی دانه‌های ساینده از سنگ نگه‌دارنده، ماده قطعه‌کار به چسب ابزار می‌رسد و این امر منجر به افزایش سایش سنگ هونینگ به جای کاهش زمان هونینگ می‌شود.



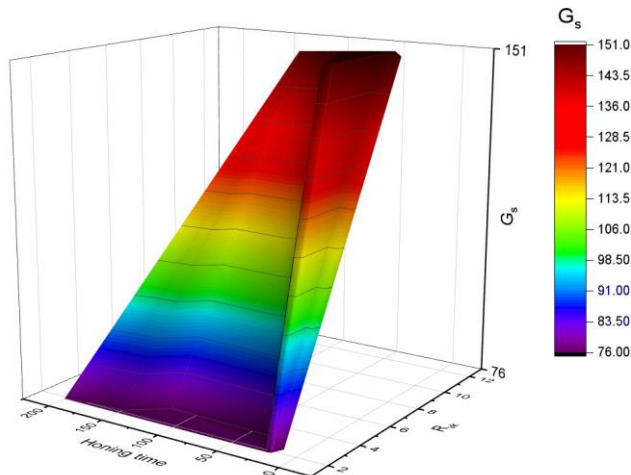
شکل ۶. دیاگرام تاثیر متقابل فشار و اندازه دانه بر روی زمان هونینگ

شکل ۷، اثر افزایش سرعت خطی به همراه فشارهای تماسی مختلف بر روی پارامترهای زبری سطح منحنی آبوت-فایرستون را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷، با افزایش سرعت خطی در مقادیر پایین فشار تماسی ابزار، منجر به بهبود کیفیت سطح می‌گردد. درحالی‌که، در مقادیر بالای فشار، افزایش سرعت خطی، منجر به کاهش کیفیت سطح می‌گردد. این پدیده را چنین می‌توان توضیح داد که در مقادیر بالای فشار، مجموع نیروهای وارد بر چسب سنگ هونینگ منجر به جدا شدن دانه‌های ساینده از سنگ هونینگ می‌شود و در چنین شرایطی دانه‌های ساینده شکسته و دانه‌های ساینده تیز ظاهر می‌گردند و باعث کاهش کیفیت سطح می‌شود. در مقادیر پایین فشار دانه‌های ساینده دیرتر از سنگ هونینگ جدا می‌شوند و در نتیجه کند می‌شوند و دانه‌های ساینده کند مانند تیغچه‌های وایپر عمل نموده و کیفیت سطح بهبود می‌یابد. سایر اثرات متقابل پدیده خاصی را نشان نمی‌دهند.



شکل ۷. اثر متقابل فشار و سرعت خطی بر روی زبری سطح

با توجه به اینکه اندازه دانه ساینده اثر تعیین کننده بر زمان ماشینکاری و همچنین زبری سطح  $R_{vk}$  دارد، بنابراین در این بخش برای ارتباط بین پارامتری دو پارامتر زمان ماشین کاری و زبری سطح از فاکتور اندازه دانه استفاده شد. علاوه بر این، علت انتخاب زبری سطح  $R_{vk}$  در بین پارامترهای سه گانه زبری سطح، اهمیت آن در روش هونینگ خشن می باشد [۲۹؛ ۳۰]. شکل ۸، ارتباط بین پارامتری زمان هونینگ - زبری سطح  $R_{vk}$  - اندازه دانه را نشان می دهد. با توجه به شکل ۸، در اندازه دانه ۱۵۱، همزمان با کاهش زمان هونینگ، زبری سطح  $R_{vk}$  نیز افزایش می یابد. با افزایش اندازه دانه ساینده مقدار نیروی تشکیل براده در جهت برش افزایش پیدا می کند و مساحت شیارهای ایجاد شده بیشتر و در نتیجه میزان زبری سطح افزایش می یابد.



شکل ۸. اثر متقابل زمان هونینگ کاری، زبری سطح و اندازه دانه

## آنالیز آماری

نتایج آنالیز واریانس برای زمان هونینگ،  $R_{PK}$ ،  $R_{VK}$  و  $R_K$ ، در جدول ۴ ارائه شده است. که در این جدول،  $Df$ ،  $Seq SS$ ،  $Adj SS$  و  $Seq MS$  به ترتیب، نشان دهنده عدد درجه آزادی، مجموع مربعات متوالی، مجموع مربعات تعدیل شده و متوسط مربعات متوالی است. علاوه بر این، آماره  $F$  و پارامتر مقدار احتمال  $P$  در جدول ۴، ارائه شده اند. در صورتی که مقدار محاسبه شده آماره  $F$  از مقدار مشخص شده برای درجه اطمینان ۹۵٪ کمتر نباشد، یک عبارت مشخص می تواند از لحاظ آماری موثر در نظر گرفته شود. افزون بر این، چنانچه مقدار  $P$  (پارامتر احتمال) کمتر از ۰/۰۵ (برای درجه اطمینان ۹۵ درصد) باشد، یک عبارت مشخص را از نظر آماری می توان موثر در نظر گرفت. با توجه به جدول ۴-الف،  $Pr$ ،  $Pr*Gs$ ،  $G_s$ ،  $VI$  و در نهایت  $Vt$  به ترتیب، بیشترین اثرگذاری را بر روی زمان هونینگ دارند.

علاوه بر این، با توجه به جدول ۴-ب تا ت، موثرترین عوامل از نظر آماری موثر بر پارامترهای زبری سطح  $R_{PK}$ ،  $R_{VK}$  و  $R_K$ ، به ترتیب، اندازه دانه، فشار تماسی ابزار و اثر بین پارامتری این دو فاکتور می باشند. با دقت بر اینکه مقادیر  $F$  و  $P$  محاسبه شده برای فاکتورهای سرعت خطی و سرعت دورانی ابزار به ترتیب کمتر و بیشتر از مقادیر

تعیین شده برای درجه اطمینان ۹۵٪ می باشند، بنابراین، می توان چنین نتیجه گرفت که اثر این عوامل از نظر آماری بر روی پارامترهای زبری سطح ناچیز است و می توان در معادله رگرسیون آنها را در نظر نگرفت. باین حال، جهت افزایش هرچه بیشتر دقت آنالیز رگرسیون، اثر تمامی پارامترها در نظر گرفته شد. معادلات ۲ تا ۵، نشان دهنده نتایج آنالیز رگرسیون برای پیش بینی، پارامترهای خروجی هونینگ کاری بررسی شده در پژوهش حاضر می باشد.

جدول ۴. آنالیز واریانس مدل های رگرسیون خطی

(الف) زمان هونینگ

source	Df	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P	Partial Eta Squared
<b>Regression</b>	5	54038.3	54038.3	11502.2	48.031	0.000001	
<b>Pr</b>	1	25680.1	25657.5	26244	114.127	0.000000	0.919
<b>G<sub>s</sub></b>	1	10557.6	20250.0	13456	46.920	0.000044	0.824
<b>V<sub>i</sub></b>	1	2782.6	2782.6	2782.6	12.366	0.005570	0.553
<b>V<sub>t</sub></b>	1	1620.1	1620.1	1620.1	7.200	0.022963	0.419
<b>Pr.G<sub>s</sub></b>	1	13398.1	13398.1	13398.1	59.544	0.000016	0.677
<b>Error</b>	10	2250.1	2250.1	225.0			
<b>Total</b>	15	56288.4					

(ب) پارامتر زبری سطح R<sub>K</sub>

source	Df	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P	Partial Eta Squared
<b>Regression</b>	5	739.014	739.014	147.803	39.938	0.000003	
<b>Pr</b>	1	36.572	6.99	36.572	9.882	0.010446	0.497
<b>G<sub>s</sub></b>	1	674.311	13.502	674.311	182.205	0.000000	0.948
<b>V<sub>i</sub></b>	1	1.087	1.087	1.087	0.294	0.599748	0.029
<b>V<sub>t</sub></b>	1	4.172	4.172	4.172	1.127	0.313329	0.101
<b>Pr.G<sub>s</sub></b>	1	22.872	22.872	22.872	6.180	0.032209	0.382
<b>Error</b>	10	37.008	37.008	3.701			
<b>Total</b>	15	776.023					

پ) پارامتر زبری سطح  $R_{PK}$ 

source	Df	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P	Partial Eta Squared
<b>Regression</b>	5	115.12	115.12	23.024	26523	0.000018	
<b>P<sub>r</sub></b>	1	7.009	1.507	7.009	8.074	0.017502	0.447
<b>G<sub>s</sub></b>	1	102.566	1.314	102.566	118.152	0.000001	0.922
<b>V<sub>l</sub></b>	1	0.273	0.273	0.273	0.314	0.587281	0.030
<b>V<sub>t</sub></b>	1	0.574	0.574	0.574	0.661	0.435136	0.062
<b>P<sub>r</sub>.G<sub>s</sub></b>	1	4.698	4.698	4.698	5.412	0.042312	0.351
<b>Error</b>	10	8.681	8.681	0.868			
<b>Total</b>	15	123.801					

ت) پارامتر زبری سطح  $R_{VK}$ 

source	Df	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P	Partial Eta Squared
<b>Regression</b>	5	155.009	155.009	31.002	29.952	0.000010	
<b>P<sub>r</sub></b>	1	4.053	1.891	4.053	3.916	0.076017	0.281
<b>G<sub>s</sub></b>	1	145.281	3.264	145.281	140.359	0.000000	0.933
<b>V<sub>l</sub></b>	1	0.580	0.580	0.580	0.561	0.471260	0.053
<b>V<sub>t</sub></b>	1	0.629	0.629	0.629	0.608	0.453626	0.057
<b>P<sub>r</sub>.G<sub>s</sub></b>	1	4.466	4.466	4.466	4.315	0.064506	0.301
<b>Error</b>	10	10.351	10.351	1.035			
<b>Total</b>	15	165.360					

زمان هونینگ =  $596.25 - 6.80782 Pr - 3 Gs - 4.18651 Vl - 0.902466 Vt + 0.0411556 Pr.Gs$

$R^2$  (adj) = 94.00 %

(۲)

$R_k = -3.3497 - 0.11267 Pr + 0.07746 Gs - 0.08238 Vl + 0.0459 Vt + 0.0017044 Pr.Gs$

$R^2$  (adj) = 92.85 %

(۳)

$R_{PK} = -0.172917 - 0.05217 Pr + 0.024166 Gs - 0.04146 Vl + 0.01698 Vt + 0.0007 Pr.Gs$

$R^2$  (adj) = 89.48 %

(۴)

$$R_{VK} = -0.543465 - 0.05843 Pr + 0.038 Gs - 0.060456 VI + 0.017785 Vt + 0.00075 Pr.Gs$$

$$R^2 (\text{adj}) = 90.61 \%$$

(۵)

در پژوهش حاضر، از "مربع اتای جزئی"، که یکی از معیارهای مربوط به اندازه‌گیری شدت اثر در تحلیل واریانس است، استفاده شده است [۳۱؛ ۳۲]. با توجه به نتایج نشان داده در جدول ۴، اثر گذاری پارامتر اندازه دانه (با اندازه اثر: ۰/۹۴۸-۰/۹۲۲) بر مقدار مقدار زبری سطح، بیشتر از دیگر پارامترها است. پس از پارامتر ضخامت لایه، پارامتر فشار تماسی ابزار، با مقدار ۰/۴۹۷-۰/۲۸۱، در رتبه بعدی اثر گذاری بر زبری سطح قرار دارند. به وضوح مشخص است که با افزایش اندازه دانه ساینده، در صورت ثابت ماندن دیگر پارامترها، زبری سطح کاهش چشمگیری خواهد داشت. علاوه بر این، نتایج آنالیز آماری برای زمان هونینگ کاری، نشان از اثرگذاری بیشتر پارامتر فشار ابزار نسبت به پارامتر اندازه دانه ساینده می‌دهند. به طوری که اندازه اثر برای پارامتر فشار ابزار ۰/۹۱۹ و برای پارامتر اندازه دانه ۰/۸۲۴ بدست آمده است. با توجه به نتایج آنالیز آماری، با افزایش اندازه دانه و همچنین فشار تماسی ابزار، زمان هونینگ کاری افزایش می‌یابد. در حالیکه با مرور نتایج تجربی با افزایش اندازه دانه در فشارهای بالاتر، میانگین نتایج عکس بوده و زمان هونینگ کاری افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان اثر تعاملی پارامترهای متفاوت بر زمان هونینگ کاری و زبری سطح را نتیجه گرفت. برای تعیین اثرات تعاملی پارامترهای متفاوت، آزمون همبستگی انجام گرفت. نتایج آزمون همبستگی بین متغیرهای مستقل در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به جدول ۵، رابطه بین پارامتری فشار تماسی ابزار با دیگر فاکتورها در تمام پارامترهای کنترلی عکس است. عبارت دیگر، در با افزایش فشار ابزار، برای ثابت نگه داشتن زمان هونینگ و همچنین زبری سطح، بایستی دیگر فاکتورها کاهش یابد. کمالیکه، تاثیر اندازه دانه ساینده بعلاوه بالا بودن اثر تعاملی آن با فکتور فشار ابزار (۰/۴۲۶- الی ۰/۵۷۳-) بیشتر از اثر تعاملی سرعت مماسی و فشار ابزار (۰/۱۰- الی ۰/۱۵۱-) است. کمالیکه اثر تعاملی سرعت خطی و فشار ابزار در برخی موارد همسو و در برخی موارد عکس است.

#### جدول ۵. نتایج آزمون همبستگی بین پارامتری

##### (الف) پارامتر کنترلی زمان هونینگ

پارامتر کنترول	فاکتور	فشار تماسی ابزار	اندازه دانه	سرعت خطی	سرعت مماسی
	فشار تماسی ابزار	1.000	-0.440	-0.209	-0.151
زمان هونینگ	اندازه دانه	-0.440	1.000	-0.110	-0.083
	سرعت خطی	-0.209	-0.110	1.000	-0.039
	سرعت مماسی	-0.151	-0.083	-0.039	1.000

##### (ب) پارامتر کنترلی زبری سطح $R_k$

سرعت مماسی	سرعت خطی	اندازه دانه	فشار تماسی ابزار	فاکتور	پارامتر کنترل
-0.016	-0.008	-0.573	1.00	فشار تماسی ابزار	$R_k$
-0.189	0.096	1.000	-0.573	اندازه دانه	
0.003	1.000	0.096	-0.008	سرعت خطی	
1.000	0.003	-0.189	-0.016	سرعت مماسی	
<b>پ) پارامتر کنترلی زبری سطح <math>R_{PK}</math></b>					
سرعت مماسی	سرعت خطی	اندازه دانه	فشار تماسی ابزار	فاکتور	پارامتر کنترل
-0.017	0.012	-0.538	1.00	فشار تماسی ابزار	$R_{PK}$
-0.150	0.103	1.000	-0.538	اندازه دانه	
0.003	1.000	0.103	0.012	سرعت خطی	
1.000	0.003	-0.150	-0.017	سرعت مماسی	
<b>ت) پارامتر کنترلی زبری سطح <math>R_{VK}</math></b>					
سرعت مماسی	سرعت خطی	اندازه دانه	فشار تماسی ابزار	فاکتور	پارامتر کنترل
-0.010	0.009	-0.426	1.00	فشار تماسی ابزار	$R_{VK}$
-0.166	0.160	1.000	-0.426	اندازه دانه	
0.004	1.000	0.160	0.009	سرعت خطی	
1.000	0.004	-0.166	-0.010	سرعت مماسی	

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثر عوامل ورودی فرآیند هونینگ بر روی پارامترهای زبری سطح و زمان هونینگ کاری در هونینگ خشن سیلندره‌های ساخته شده از جنس چدن خاکستری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که برای دستیابی به حداقل زمان هونینگ و حداکثر نرخ براده‌برداری، باید پارامترهای ورودی فرآیند در مقادیر بالا تنظیم شوند. فشار ابزار، اندازه دانه ساینده، سرعت خطی و سرعت مماسی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر زمان هونینگ دارند. افزایش اندازه دانه ساینده و فشار تماسی به‌طور قابل توجهی زبری سطح را افزایش می‌دهد، اما اثر اندازه دانه بر زبری سطح بیشتر از فشار تماسی است. افزایش اندازه دانه و فشار تماس باعث کاهش زمان هونینگ می‌شود، هرچند که در فشارهای بالا، تأثیر اندازه دانه بر زمان هونینگ کاهش می‌یابد. همچنین، سرعت خطی در فشارهای پایین می‌تواند کیفیت سطح را بهبود بخشد، اما در فشارهای بالا، باعث کاهش کیفیت سطح می‌شود. نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که اندازه دانه ساینده و فشار تماس تأثیر عمده‌ای بر پارامترهای زبری سطح دارند و سرعت خطی و دورانی ابزار تأثیر کمتری دارند. مدل‌های رگرسیون خطی برای پیش‌بینی پارامترهای خروجی هونینگ مورد استفاده قرار گرفتند و تأثیرات همه پارامترها در تحلیل در نظر گرفته شد.

### References

- [1] Ren, F., & Bao, Y. (2020). A Review on Human-Computer Interaction and Intelligent Robots. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 19(01), 5-47. <https://doi.org/10.1142/s0219622019300052>

- [2] Rai, A., Constantinides, P., & Sarker, S. (2019). Next generation digital platforms: toward human-AI hybrids. *Management Information Systems quarterly*, 43(1), iii-ix. <https://wrap.warwick.ac.uk/id/eprint/113653/>
- [3] Brynjolfsson, E., & Mitchell, T. (2017). What can machine learning do? Workforce implications. *Science*, 358(6370), 1530-1534. <https://doi.org/10.1126/science.aap8062>
- [4] Li, N. L., & Zhang, P. (2005). The intellectual development of human-computer interaction research: A critical assessment of the MIS literature (1990-2002). *Journal of the Association for information Systems*, 6(11), 227-292. <https://doi.org/10.17705/1jais.00070>
- [5] Rzepka, C., & Berger, B. (2018, December 13-16). *User interaction with AI-enabled systems: A systematic review of IS research* [Conference session]. Thirty Ninth International Conference on Information Systems, San Francisco, California. [https://www.researchgate.net/publication/329269262\\_User\\_Interaction\\_with\\_AI-enabled\\_Systems\\_A\\_Systematic\\_Review\\_of\\_IS\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/329269262_User_Interaction_with_AI-enabled_Systems_A_Systematic_Review_of_IS_Research)
- [6] Rapp, A. (2023). Human-Computer Interaction. In *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.47>
- [7] Sivakumar, N., K. K. C., Easwaran, B., & Tabassum, H. (2023, May 11-12). *Design And Analysis of Human Computer Interaction Using AI Intelligence* [Conference session]. 2023 International Conference on Disruptive Technologies, Greater Noida, India. <https://doi.org/10.1109/ICDT57929.2023.10150705>
- [8] Sreedharan, S. (2023). Human-aware AI—A foundational framework for human-AI interaction. *Artificial Intelligence Magazine*, 44(4), 460-466. <https://doi.org/10.1002/aaai.12142>
- [9] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- [10] Horvitz, E. (1999, May 15-20). *Principles of mixed-initiative user interfaces* [Conference session]. Proceedings of the Special Interest Group on Computer-Human Interaction conference on Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh, Pennsylvania, USA. <https://doi.org/10.1145/302979.303030>
- [11] Fügener, A., Grahl, J., Gupta, A., & Ketter, W. (2022). Cognitive Challenges in Human-Artificial Intelligence Collaboration: Investigating the Path Toward Productive Delegation. *Information Systems Research*, 33(2), 678-696. <https://doi.org/10.1287/isre.2021.1079>
- [12] Kim, J., Merrill Jr, K., & Collins, C. (2021). AI as a friend or assistant: The mediating role of perceived usefulness in social AI vs. functional AI. *Telematics and Informatics*, 64(1), 101694. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101694>
- [13] Jin, S. V., & Youn, S. (2023). Social Presence and Imagery Processing as Predictors of Chatbot Continuance Intention in Human-AI-Interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(9), 1874-1886. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2129277>
- [14] Samanta, D. P. S., Patnaik, B., Satpathy, I., & Panda, L. (2024). A Bibliometric Analysis on Application of Artificial Intelligence (AI) in Workforce Management. In A. Khang, S. Rani, R. Gujrati, H. Uygun, & S. Gupta (Eds.), *Designing Workforce Management Systems for Industry 4.0* (pp. 217-234). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003357070-14>
- [15] Jiang, J., Karran, A. J., Coursaris, C. K., Léger, P.-M., & Beringer, J. (2023). A Situation Awareness Perspective on Human-AI Interaction: Tensions and Opportunities. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(9), 1789-1806. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2093863>

- [16] Buzydlowski, J. W. (2015). Co-occurrence analysis as a framework for data mining. *Journal of Technology Research*, 6, 1-19. <https://www.semanticscholar.org/paper/Co-occurrence-analysis-as-a-framework-for-data-Buzydlowski/f17632a4388a924ed406462c7f1e374ab236df4a>
- [17] Hendijani Fard, M., Arasti, Z., Imanipour, N., & Chitsaz, E. (2024). Business Failure: A Bibliometric Co-occurrence and Content Analysis. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 20(Special Issue), 35-62. <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.353332.2214>
- [18] Chandran, R. (2022). Human-Computer Interaction in Robotics: A bibliometric evaluation using Web of Science. *Metaverse Basic and Applied Research*, 1, 22. <https://doi.org/10.56294/mr202222>
- [19] Liu, Y-X., Zhu, C., Wu, Z-X., Lu, L-J., & Yu, Y-T. (2022). A bibliometric analysis of the application of artificial intelligence to advance individualized diagnosis and treatment of critical illness. *Annals of Translational Medicine*, 10(16), 854. <https://doi.org/10.21037/atm-22-913>
- [20] Gao, F., Jia, X., Zhao, Z., Chen, C-C., Xu, F., Geng, Z., & Song, X. (2021). Bibliometric analysis on tendency and topics of artificial intelligence over last decade. *Microsystem Technologies*, 27(4), 1545-1557. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04426-y>
- [21] Huang, P., Feng, Z., Shu, X., Wu, A., Wang, Z., Hu, T., Cao, Y., Tu, Y., & Li, Z. (2023). A bibliometric and visual analysis of publications on artificial intelligence in colorectal cancer (2002-2022). *Frontiers in Oncology*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1077539>
- [22] Hajizadeh, M., Alaeddini, M., & Reaidy, P. (2023). Bibliometric Analysis on the Convergence of Artificial Intelligence and Blockchain. In J. Prieto, F. L. Benítez Martínez, S. Ferretti, D. Arroyo Guardado, & P. Tomás Nevado-Batalla (Eds.), *Blockchain and Applications, 4th International Congress* (pp. 334-344). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21229-1\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21229-1_31)
- [23] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *Management Information Systems quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- [24] Hosseinpour, M., Fathi Zolmabadi, B., Heshmati, H., & Khodaei, A. (2023). Factors Accepting the Electronic Procurement System and User Satisfaction in Small and Medium Rural Businesses in Kermanshah Province. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 20(Special Issue), 499-520. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.276821.1424>
- [25] Emerson, R. M. (1976). Social Exchange Theory. *Annual Review of Sociology*, 2(1), 335-362. <https://doi.org/10.1146/annurev.so.02.080176.002003>
- [26] Foa, E. B., & Foa, U. G. (1980). Resource Theory. In K. J. Gergen, M. S. Greenberg, & R. H. Willis (Eds.), *Social Exchange: Advances in Theory and Research* (pp. 77-94). Springer [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3087-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3087-5_4)
- [27] Blau, P. M. (2017). *Exchange and Power in Social Life* (2 ed.). Transaction Publishers. <https://doi.org/10.4324/9780203792643>
- [28] Cropanzano, R., & Mitchell, M. S. (2005). Social Exchange Theory: An Interdisciplinary Review. *Journal of Management*, 31(6), 874-900. <https://doi.org/10.1177/0149206305279602>
- [29] Etemadi, M., Chitsaz, E., & Abolghasemi Dehaghani, M. (2023, May 6). *The Myth of Rewards and Creative Performance: Should Companies Use Incentives to Boost Creativity in*

- Personnel Performance?* [Conference session]. 3rd Iran Business Watch Conference, 2023, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/1720016/>
- [30] Coleman, J. S. (1990). *Foundations of Social Theory*. Belknap Press of Harvard University Press. <https://books.google.com/books?id=XgC2AAAAIAAJ>
- [31] Skvoretz, J. (1998). Coercive Power in Social Exchange. *Social Forces*, 76(3), 1135-1137. <https://doi.org/10.2307/3005707>
- [32] Etemadi, M., Chitsaz, E., & Abolghasemi Dehaghani, M. (2023, May 6). *Unveiling the Complexity of the Reward, Creativity, and Performance Relationship: When Does Behavioral Theories Reward Backfire?* [Conference session]. 3rd Iran Business Watch Conference, 2023, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/1720035/>