



ثابت برش در فرآیند تراش کاری با ابزار شعاع دار

سعید امینی^{1*}، محمد براهنی²، فرشاد نظری²، امیرحسین قاسمی³

1- دانشیار، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه کاشان، کاشان

2- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه کاشان، کاشان

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه کاشان، کاشان

* کاشان، کدپستی 8731751167، amini.s@kashanu.ac.ir

چکیده

فرآیند تراش کاری، یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین فرآیندهای ماشین‌کاری در صنعت می‌باشد. از آنجایی که نیروهای تراش کاری اثر بسزایی بر کیفیت و دقت سطح نهایی دارند، در این زمینه، محققان درصدد پیش‌بینی نیروهای ماشین‌کاری برآمده‌اند تا بتوانند فرآیند تراش کاری را شبیه سازی کرده و شرایط برش را بدست آورند. به این وسیله می‌توان با استفاده از پارامترهای ورودی ماشین‌کاری و شرایط قطعه کار و ابزار، نیروهای تراش کاری را در دو قسمت لبه شعاعی و لبه برشی ابزار پیش‌بینی کرد و ثابت های برش استخراج گردد. در این پژوهش دو نیرو در راستای عمود بر محور قطعه کار و مماس بر سطح قطعه کار، در 3 سطح درگیری نوک ابزار، درگیری لبه برش و درگیری همزمان نوک و لبه ابزار مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از نیروهای بدست آمده، ثابت‌های برش محاسبه شد. هدف از این پژوهش، محاسبه ثابت‌های برش K_{tc} و K_{fc} از طریق نیروهای بدست آمده از آزمایش‌ها عملی و مقایسه با مقادیر بدست آمده از مدل سازی عددی می‌باشد. نتایج به دست آمده از مدل سازی عددی با نتایج تجربی تطابق خوبی داشته، به طوری که می‌توان ثابت‌های برش در فرآیند تراش کاری را با روابط تحلیلی مدل سازی کرد.

کلید واژگان: تراش کاری، ضرایب برش، نیروی ماشین‌کاری، ابزار

Cutting constants in turning process by radial tool

Saeed Amini*, Mohammad Baraheni, Farshad Nazari, Amir Hosein Ghasemi

Department of Manufacturing, Faculty of Mechanic, University of Kashan, Kashan, Iran

* P.O.B. 8731751167 kashan, Iran, amini.s@kashanu.ac.ir

ABSTRACT

Turning is one of the most popular and widely used machining processes in the industry. Since turning forces have a great impact on the quality and final surface precision, researchers have tried to predict the machining forces to simulate the process and achieve the cutting conditions. Turning forces can be predicted in two parts including radial edge and cutting edge of tool and cutting constants may be extracted by assuming machining input parameters and conditions of workpiece and tool. In this study, two forces (perpendicular to workpiece axis and tangent to the workpiece surface) have been investigated in 3 levels of engagements with tool radial edge, tool cutting edge and simultaneous radial and cutting edge. Incorporating the calculated forces, the cutting constants are obtained. Purpose of this research is to calculate cutting constants (K_{tc} , K_{fc}) through the obtained forces from experimental tests and compare with values achieved from numerical modeling. The results of numerical modeling and experimental results have a good agreement, so the cutting constants in turning process could be analytically modelled.

Keywords: Cutting Constants, Machining Force, Tool, Turning.

1- مقدمه

برگر [6] یک مدل نیروی لحظه‌ای ارائه داده‌اند که در این مدل فرض شده است نیروی برش، نسبت مستقیم با سطح مقطع براده دارد و از طرفی ضرایب برش به شرایط ماشین‌کاری و خواص ماده نسبت داده شده‌اند. شین و واترز [7] نیز جهت پیش‌بینی نیروهای ماشین‌کاری، ضرایبی را ارائه داده‌اند. اخیراً محققان روش‌هایی ارائه داده اند که از پارامترهای هندسی و ضرایب تجربی استفاده می‌شود [8-10]. در این میان می‌توان به مدل‌های آرمارگو [11] و کینزلی [12] اشاره کرد. این مدل‌ها، جهت پیش‌بینی نیروهای برش ارائه شده‌اند. معمولاً با فرض وجود رابطه خطی بین نیروها و مقدار پیشروی و همچنین ضرایب برشی، بایستی در پیشروی‌های مختلف نیروها را بدست آورده و سپس ثوابت ماشین‌کاری را محاسبه کرد [13, 14]. گونزالو و همکارانش [1] ضرایب برش را با شبیه‌سازی فرآیند تراش کاری و فرزکاری بدست آوردند و مشاهده شد که ضرایب برش در دو فرآیند تراش کاری و روش نیروی لحظه‌ای در فرزکاری یکسان بوده اما ضرایب اصطکاک متفاوت می‌-

نیروهای ماشین‌کاری اثر بسزایی بر میزان کیفیت سطح نهایی داشته و همچنین نقش تعیین کننده‌ای در میزان ارتعاش ابزار و قطعه دارا می‌باشد [1]. از طرفی پایداری فرآیند ماشین‌کاری تحت تاثیر دو پارامتر اساسی دینامیک ماشین و فرآیند ماشین‌کاری می‌باشد [2]. بدین جهت استفاده از یک مدل نیروی ماشین‌کاری دقیق و مطمئن جهت پیش‌بینی نیروهای برش در فرآیند ماشین‌کاری بعنوان یک پارامتر مهم جهت بهینه‌سازی پارامترهای برش و افزایش بازده فرآیند ماشین‌کاری مطرح می‌باشد. از طرفی دقت مدل نیرویی به شدت به ضرایب ماشین‌کاری بستگی دارد و هرچه این ضرایب دقیق‌تر تعیین شده باشد، به همان اندازه تحقیق در مورد نیروهای ماشین‌کاری دقیق‌تر است [3]. در این زمینه تحقیقات متعددی انجام شده است. اسمولنیک و همکارانش، در وضعیت ماشین‌کاری قائم، ضریب اصطکاک را در حین انجام فرآیند اندازه گرفته و ارائه داده‌اند [4]. سابروال [5] و کوئینس

Please cite this article using:

S. Amini, M. Baraheni, F. Nazari, A.H. Ghasemi, Cutting constants in turning process by radial tool, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 516-521, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

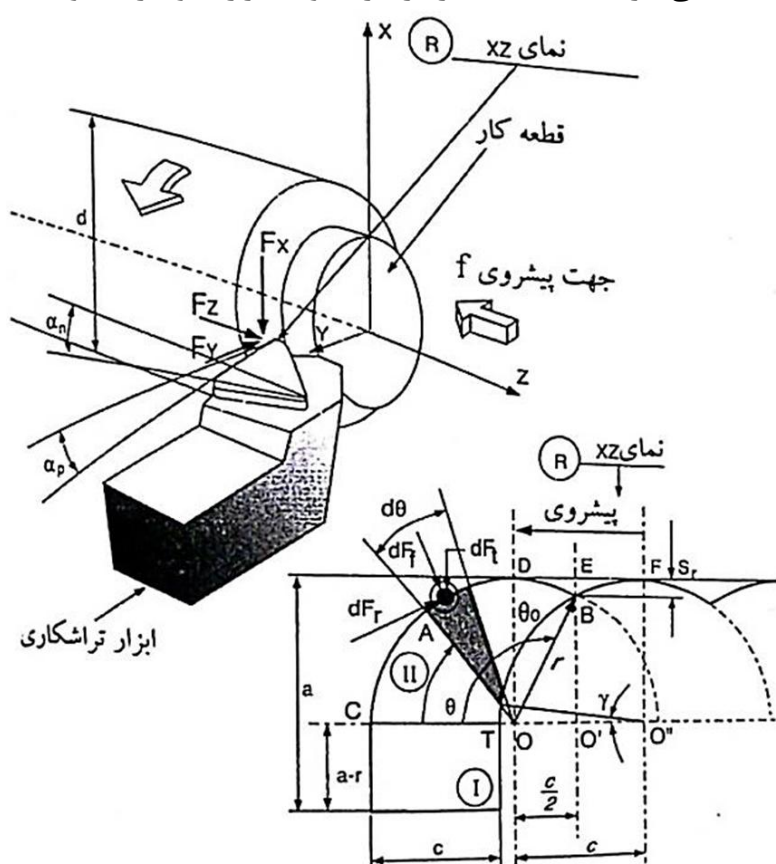


شکل 1 ابزار مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها



شکل 2 دستگاه VMM استفاده شده برای اندازه‌گیری زوایای ابزار

1/77 میلی‌متر است. شماتیک فرآیند در شکل 3 نمایش داده شده است. جهت اندازه‌گیری نیروها در حالت درگیری نوک ابزار، شعاع نوک ابزار با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری، سنجیده شده و مقدار عمق برش در این حالت به اندازه شعاع ابزار و برابر 0/77 میلی‌متر در نظر گرفته شده است. همچنین جهت مطالعه نیروهای در حالت درگیری لبه‌ی برشی ابزار، از لوله‌ای با ضخامت 1 میلی‌متر استفاده شد تا از درگیری نوک ابزار جلوگیری شود.



شکل 1 شماتیک فرآیند تراش کاری به وسیله اینسرت با نوک شعاع دار [20]

باشند که به علت تفاوت در شکل براده و نحوه تغییر شکل در دو فرآیند می‌باشد. جابجی و همکارانش، فرآیند فرزکاری بر روی ابزار سرکروی را پیش‌بینی کردند و توانستند با اصلاح فرمول و وارد کردن سرعت‌های برش جهت پیش‌بینی فرآیند، بخوبی فرآیند را پیش‌بینی نمایند [15]. کامپتلیو همکاران، بررسی‌هایی در فرآیند فرزکاری بر روی آلومینیوم 6082-T4 انجام دادند و نشان دادند که جهت یافتن ضرایب برشی، دو پارامتر ضخامت براده ناگهانی و سرعت برشی مؤثر می‌باشند [16]. بعلاوه ونگ و همکاران، در ماشین کاری با فرز سر کروی، با ارائه یک روش پیچیده از طریق میانگین نیروهای بدست آمده، ضرایب برش و نیروی شخم را بدست آورده و با نتایج تجربی تحت مقایسه قرار دادند که تطابق خوبی مشاهده شده است [17]. کارهای دیگری نیز در این زمینه جهت بدست آوردن ضرایب دینامیک ماشین کاری با توجه به تاثیرات ضخامت براده، سرعت، ارتعاش فرآیند و غیره انجام شده است [18].

با توجه به تحقیقات فوق بررسی مدل ابزار تراش کاری در مدل و آزمایش هنوز قابل تحقیق است. در این تحقیق، با مدل‌سازی نیروهای تراش کاری را در سه جهت X، Y، Z و انجام آزمایش‌های مربوطه، ثابت برش یک ابزار تراش کاری دارای شعاع لبه بدست می‌آید.

2- آماده سازی آزمایش‌ها

جهت انجام آزمایش از فولاد آلیاژی 1/4140 (Mo40) استفاده شده است که ترکیب عناصر آلیاژی و خواص آن در جدول 1 آمده است. فولاد 1/4140 دارای کاربردهای متعددی از جمله: غلتک‌های صنایع سیمان، غلتک‌های صنایع فولاد، شاتون‌ها، چرخ دنده‌ها، محورهای خودرو و میل‌های اتصال کاربرد دارد [17].

کلیه آزمون‌ها در دستگاه تراش ماشین‌سازی تبریز مدل TN50 و توسط ابزار نوع K20-S با کد DCMW 111308 (شکل 1) انجام شده است. ابزار استفاده شده دارای زاویه راس 54/44 درجه، زاویه آزاد 8/4 درجه، زاویه براده صفر، شعاع نوک ابزار 0/77 میلی‌متر و طول لبه برش 4/93 میلی‌متر می‌باشد. هندسه ابزار با دستگاه اندازه‌گیری بینایی¹ (VMM) شرکت ایسون اندازه‌گیری شد. ماشین‌های اندازه‌گیری بینایی، ابزارهایی هستند که با استفاده از دوربین‌های دقیق و سه محور حرکتی امکان اندازه‌گیری قطعات پیچیده و مسطح را مهیا می‌کنند. نمونه‌ای از این دستگاه در شکل 2 نشان داده شده است.

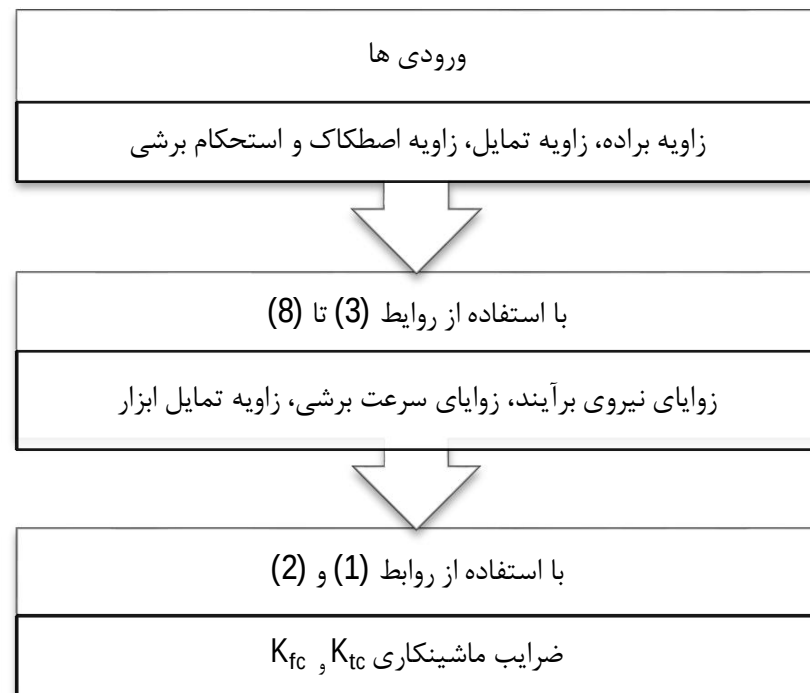
همچنین جهت اندازه‌گیری نیرو از نیروسنج کیستلر مدل 9257B استفاده گردید. این نیروسنج قادر می‌باشد که نیروها را در سه جهت X، Y و Z به صورت دینامیکی اندازه‌گیری نماید.

با توجه به پارامترهای ماشین کاری ابزار که از طرف سازنده بیان شده است و محدوده پارامترهای ماشین کاری ماشین ابزار، سرعت دورانی اسپیندل 355 دور بر دقیقه و 4 پیشروی 0/05، 0/08، 0/11 و 0/14 میلی‌متر بر دور، انتخاب شد. نیروها در دو جهت برشی و پیشروی تحت بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری نیروها نیز در 3 حالت درگیری نوک ابزار، لبه برشی و درگیری همزمان نوک ابزار و لبه برشی انجام شد و عمق برش به ترتیب 0/77، 1 و

جدول 1 درصد عناصر آلیاژی برای فولاد 1/4140 (MO40) [19]

نام عنصر	کربن	سیلیسیم	منگنز	کروم	مولیبدن	گوگرد	آهن
درصد	0/42	0/25	0/75	1/10	0/22	0/035	97/22

1. Visual measurement machine

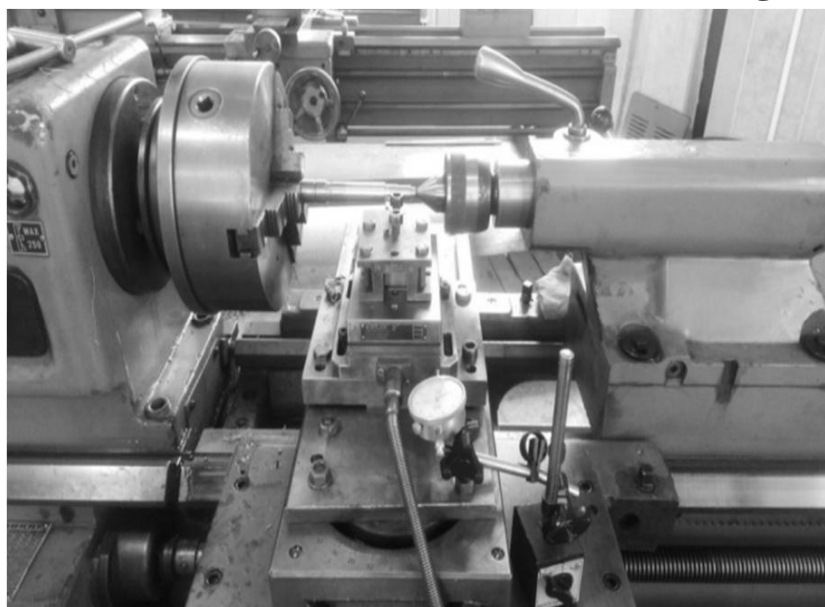


شکل 3 الگوریتم حل مدل ریاضی ضرایب ماشین کاری در نرم افزار متلب

4- آزمایش های تجربی

جهت اندازه گیری نیروهای ماشین کاری، نیروسنج را جایگزین کشویی فوقانی دستگاه نموده و پس از نصب ابزار از موقعیت دهی صحیح آن اطمینان حاصل شده است. به منظور افزایش دقت در میزان باردهی و پایش سیستم جهت کنترل ثابت ماندن عمق برش در طول فرآیند، از ساعت اندازه گیری مدل Mahr بر روی کشویی عرضی استفاده گردید. برای به حداقل رساندن جابه جایی عرضی قطعه کار در اثر نیروی ماشین کاری از مرغک دستگاه به عنوان تکیه گاه استفاده شد. همچنین از پیچ های تنظیم جهت جلوگیری از لغزش کشویی عرضی در اثر نیروهای ماشین کاری استفاده گردید.

پس از آماده سازی شرایط آزمایش، فرآیند در دو بخش ماشین کاری لوله به ضخامت 1 میلی متر و ماشین کاری میله مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه گیری نیروهای نوک ابزار و حالت درگیری کامل (درگیری همزمان نوک و لبه برشی) از میله و همچنین برای بررسی نیروهای لبه برشی، از لوله ای با ضخامت 1 میلی متر استفاده گردید. در فرآیند ماشین کاری لوله، لوله به مقدار حداقل (در حدود 1 سانتی متر) از سه نظام بیرون آورده شد تا از خیز و ارتعاش جلوگیری شود. البته چون هدف از ماشین کاری لوله، بررسی نیروها در حالت درگیری لبه ابزار برشی می باشد و لبه ابزار بیش از 1 میلی متر می باشد، اندک خیزی هم که احتمالاً ایجاد گردد موجب اختلال در انجام کار نمی گردد. در صورت ایجاد خیز و ارتعاش، شکل 6، مرحله انجام آزمایش ها را نشان می دهد.



شکل 4 انجام آزمایش ها

در انتها نیز جهت بررسی نیروها در حالت کلی از عمق برش 1/77 میلی متر که برابر مجموع شعاع نوک ابزار و طول لبه ی برشی می باشد استفاده گردید.

3- مدل سازی ریاضی

جهت محاسبه ضرایب ماشین کاری با استفاده از روابط تحلیلی از مدل سازی با نرم افزار متلب کمک گرفته شده که در این راستا از روابط (1) و (2) [20] استفاده گردیده است.

$$K_{tc} = \frac{\tau(\cos \theta_n + \tan \theta_i \tan i)}{[\cos(\theta_n + \phi_n) \cos \phi_i + \tan \theta_i \sin \phi_i] \sin \phi_n} \quad (1)$$

$$K_{fc} = \frac{\tau \sin \theta_n}{[\cos(\theta_n + \phi_n) \cos \phi_i + \tan \theta_i \sin \phi_i] \cos i \sin \phi_n} \quad (2)$$

که در این روابط K_{tc} ، ثابت برشی مماسی، K_{fc} ثابت برشی پیشروی می باشد، $(\theta_i$ و θ_n) زوایای نیروی برآیند، $(\phi_i$ و ϕ_n) زوایای سرعت برش با محورهای مختصات و i زاویه تمایل ابزار می باشند که در شکل 4 قابل مشاهده هستند. جهت محاسبه این زوایا از معادلات (3) تا (7) [20] استفاده شده است که با روش حل دقیق محاسبه شده اند.

$$\sin \theta_i = \sin \beta_a \sin \eta \quad (3)$$

$$\tan(\theta_n + \alpha_n) = \tan \beta_a \cos \eta \quad (4)$$

$$\sin \phi_i = \sqrt{2} \sin \theta_i \quad (5)$$

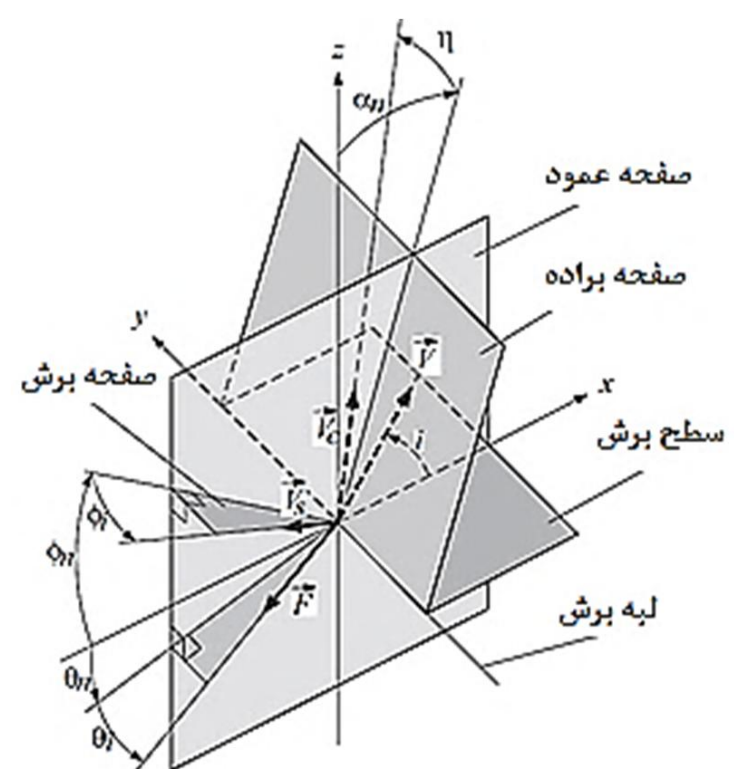
$$\cos(\theta_n + \phi_n) = \tan \theta_i / \tan \phi_i \quad (6)$$

$$\tan \eta = \frac{\tan i \cos(\phi_n - \alpha_n) - \cos \alpha_n \tan \phi_i}{\sin \phi_n} \quad (7)$$

در این روابط α_n زاویه براده عمودی، η زاویه جریان براده و β_a زاویه اصطکاک می باشد. زاویه اصطکاک از رابطه (8) محاسبه شده است که در این رابطه F_t نیروی پیشروی و F_f نیروی برشی می باشد [20].

$$\beta_a = \alpha_n + \tan^{-1} \frac{F_f}{F_t} \quad (8)$$

الگوریتم حل این مدل در شکل 5 نمایش داده شده است.



شکل 2 مکانیک برش مایل برای فرآیند تراش کاری [20]

رابطه‌ی (11) را ارائه داد که در این رابطه φ_c زاویه برش و α زاویه براده ابزار می‌باشد [20].

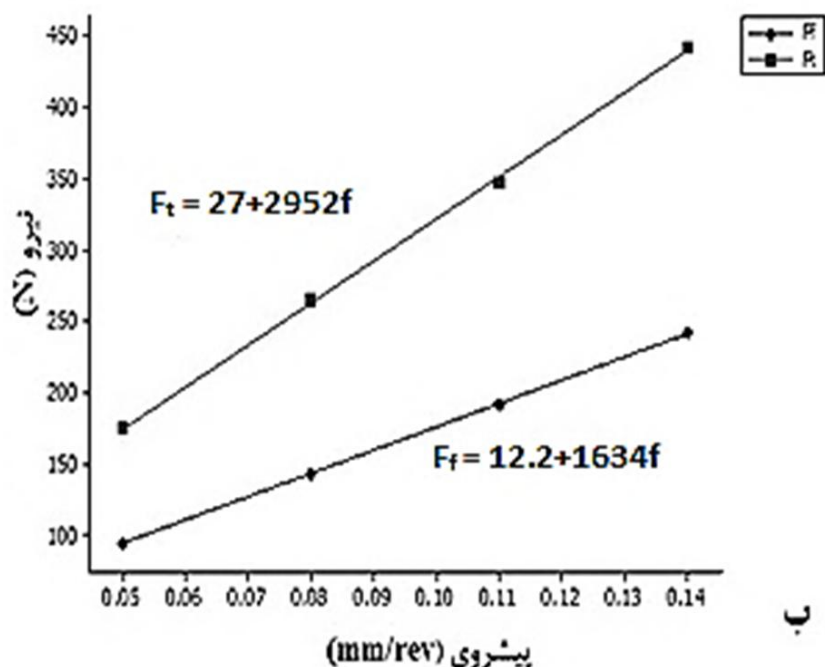
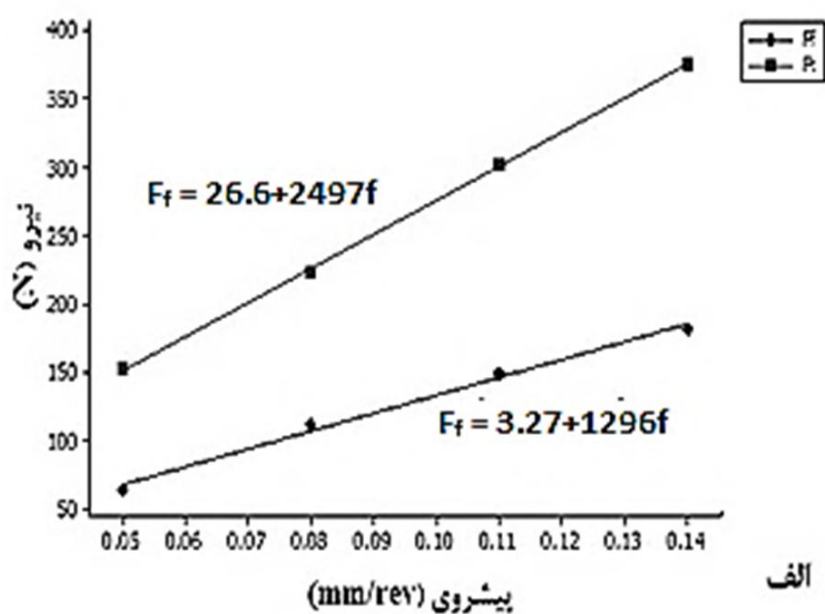
$$\varphi_c = \frac{\pi}{4} - (\beta_a - \alpha) \quad (11)$$

با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت، با افزایش پیشروی زاویه اصطکاک (β_a) افزایش می‌یابد و با توجه به رابطه‌ی (11) با افزایش زاویه اصطکاک، زاویه برش (φ_c) کاهش می‌یابد و کاهش زاویه برش عامل افزایش نیروهای ماشین کاری است.

جهت بررسی ضرایب برش ابتدا باید روابط (9) و (10) به وسیله‌ی داده‌های ارائه شده در جدول 2 از روش رگرسیون خطی مدل سازی شود که نتایج آن در شکل 7 نشان داده شده است. از مقایسه‌ی روابط بدست آمده با روابط (9) و (10) ضرایب ماشین کاری محاسبه می‌گردد که نتایج آن در جدول 3 آمده است.

با توجه به نمودارهای ترسیم شده قابل مشاهده است که نیروی‌های مماسی از پیشروی بیشتر می‌باشند همچنین طبق جدول 3، مقادیر مربوط به ضرایب مماسی بیشتر از ضرایب پیشروی می‌باشند که نشان می‌دهد نیروی مماسی (F_t) سهم بیشتری در عمل برش دارد.

جهت پیش‌بینی نیروی کل در حالت درگیری همزمان نوک و لبه ابزار، از یک مدل عددی استفاده شده که پارامترهای ورودی در این مدل زاویه براده، زاویه تمایل، زاویه اصطکاک و استحکام برشی ماده می‌باشد. جهت اعتبارسنجی مدل، ضرایب ماشین کاری بدست آمده با روش عددی، با مقادیر تجربی مقایسه شده است و سازگاری خوبی مشاهده می‌شود. در جدول 4 نتایج عددی بدست آمده قابل مشاهده است.



روابط حاکم بر نیروهای ماشین کاری جهت بدست آوردن ثابت برشی مماسی (K_{tc}) و ثابت برشی پیشروی (K_{fc}) و ضرایب مربوط به نیروی شخم در حالت مماسی (K_{te}) و پیشروی (K_{fe})، به شرح زیر می‌باشند [20]:

$$F_t = K_{tc}bh + K_{te}b \quad (9)$$

$$F_f = K_{fc}bh + K_{fe}b \quad (10)$$

که در این روابط b و h به ترتیب عمق برش و مقدار پیشروی هستند. قسمت سمت چپ روابط، نشان‌گر نیروی ماشین کاری و قسمت راست بیانگر نیروی شخم است. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که ضرایب مربوط به نیروی شخم با استفاده از روش‌های عددی قابل مدل سازی نیستند. در این پژوهش، نیروهای بدست آمده، در نرم‌افزار مینی‌تب¹ و با روش رگرسیون خطی، تحلیل شده و با استفاده از روابط بالا ضرایب نامبرده محاسبه گردید.

5- نتایج و بحث

مقادیر نیروهای بدست آمده به صورت تجربی در طی مراحل مختلف آزمایش در جدول 2، آمده است. با توجه به مقادیر ارائه شده، مشاهده می‌شود که مجموع نیروها در حالت درگیری نوک ابزار و درگیری لبه ابزار با مقدار نیروهای بدست آمده در حالت درگیری همزمان نوک و لبه ابزار تطابق خوبی دارد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش پیشروی، نیروهای ماشین کاری افزایش می‌یابد که دو عامل در ایجاد این پدیده موثر هستند.

(1) با افزایش پیشروی سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته افزایش می‌یابد که با توجه به تنش برشی ماده سبب افزایش نیروهای ماشین کاری می‌گردد.

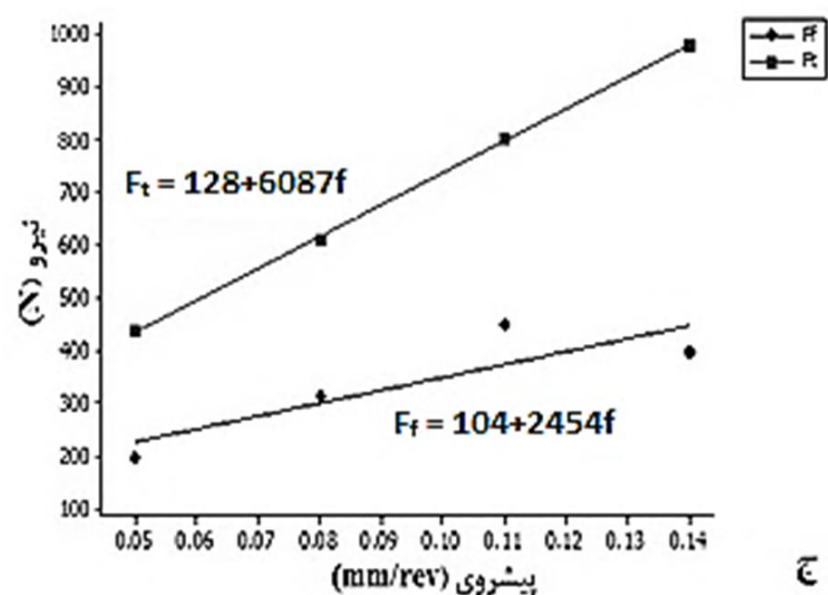
(2) با توجه به رابطه‌ی (8)، افزایش نیروهای ماشین کاری سبب افزایش زاویه اصطکاک می‌گردد. از طرفی، با استفاده از نظریه ماکزیمم تنش برشی می‌توان

جدول 2 نیروهای بدست آمده طی مراحل مختلف آزمایش

درگیری نوک ابزار (عمق برش = 0/77 میلی‌متر)		
f (mm/rev)	$F_z(F_t)$	$F_x(F_f)$
0/05	153/4	64/64
0/08	222/8	110/6
0/11	302/2	148/8
0/14	376/6	181/5
درگیری لبه ابزار		
0/05	174/8	93/97
0/08	265/1	143/1
0/11	347/4	191/3
0/14	442/6	241/3
درگیری همزمان لبه ابزار و نوک ابزار		
0/05	435/8	195
0/08	608/4	312
0/11	802/5	446/2
0/14	979/8	395/7

1. Minitab

- simulation, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 50, pp 765–774, 2010.
- [2] K. Mao, M. Zhu, W. Xiao, B. Li, A method of using turning process excitation to determine dynamic cutting coefficients, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 87, pp 49-60 2014.
- [3] M. Wang, L. Gao, Y. Zhen, An examination of the fundamental mechanics of cutting force coefficients, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 78, pp 1-7, 2014.
- [4] D. Smolenicki, J. Boos, F. Kuster, H. Roelofs, F. Wyenc, In-process measurement of friction coefficient in orthogonal cutting, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 63, pp 97–100, 2014.
- [5] A.J. Sabberwal, Chip section and cutting force during the milling operation, *Annals. CIRP*, Vol. 10, No 3, pp 197–203, 1961.
- [6] F. Koenigserger, A.J. Sabberwal, An investigation into the cutting force pulsations during milling operations, *International Mechanical and Tool Design Res*, Vol. 1, pp 15–33, 1961.
- [7] Y.C. Shin, A.J. Waters, A new procedure to determine instantaneous cutting force coefficients for machining force prediction, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 37, pp 1337–1351, 1997.
- [8] Y. Altintas, *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics Machine Tool Vibrations and CNC Design*, Cambridge University Press, United Kingdom, 2000.
- [9] A. Lamikiz, L.N. Lo'pez de Lacalle, J.A. Sa' nchez, M.A. Salgado, Cutting force estimation in sculptured surface milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, pp. 1511–1526, 2004.
- [10] A.J.P. Sabberwal, Chip section and cutting force during milling operation, *Annals of the CIRP*, Vol. 10, No. 1, pp 197–203, 1961.
- [11] E.J.A. Armarego, R.H. Brown, in: *The Machining of Metals*, Prentice-Hall, New Jersey, 1969.
- [12] O. Kienzle, H. Victor, Spezifisches Schnittkraftverhalten bei der Metallbearbeitung, *Werkstofftechnik und Maschinenbau*, Vol. 47, No. 5, pp 224–225, 1957.
- [13] A. Lamikiz, L.N. Lo'pez de Lacalle, J.A. Sa' nchez, U. Bravo, Calculation of the specific cutting coefficients and geometrical aspects in sculptured surface machining, *Machining Science and Technology*, Vol. 9, pp 411–436, 2005.
- [14] A. Azeem, H. Feng, L. Wang, Simplified and efficient calibration of a mechanistic cutting force model for ball-end milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, pp 291–298, 2004.
- [15] G. Ge, W. Baohai, Z. Dinghua, L. Ming, Mechanistic identification of cutting force coefficients in bull-nose milling process, *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 26, No. 3, pp 823–830, 2013.
- [16] G. Campatellia, A. Scippa, Prediction of milling cutting force coefficients for Aluminum 6082-T4, *Procedia CIRP* 1, pp 563 – 568, 2012.
- [17] J.J. Wang, C.M. Zheng, Identification of shearing and ploughing and cutting constants from average forces in ball-end milling. *International Journal of Machining Tools and Manufacturing*, Vol. 42, No. 6, pp 695–705, 2002.
- [18] Y. Altintas, M. Eynian, Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping, *CIRP Annual Manufacturing Technology*, Vol. 57, No. 1, pp 371-374, 2008.
- [19] A.A. Akrami, M. Seyyed reyhani, *Structure, Properties and Application of Engineering Alloys*, Tehran: Sharif University, 2008. (In Persian)
- [20] S. Amini, A.R. Barani, H. Paktinat, *Machining and Cutting Tools*, pp 25-44, Kashan: Kashan University, 2013. (In Persian)



شکل 5 نمودار رگرسیون خطی نیروی مماسی (F_t) و نیروی پیشروی (F_f) در شرایط، الف: درگیری نوک ابزار، ب: درگیری لبه برشی، ج: درگیری همزمان لبه ابزار و نوک-ابزار

جدول 3 ضرایب ماشین کاری با روش تجربی

K_{fe}	K_{te}	K_{fc}	K_{tc}	
1/13	34/54	1709/09	3242/86	درگیری نوک ابزار
12/2	27	1634	2952	درگیری لبه ابزار
58/76	72/32	1386	3438/98	درگیری همزمان نوک و لبه ابزار

جدول 4 مقایسه ضرایب ماشین کاری در دو حالت تجربی و عددی

درگیری همزمان نوک و لبه ابزار	مدل سازی عددی	آزمایشات تجربی	درصد خطا
K_{tc}	3132/94	3438/98	8/9
K_{fc}	1494/94	1386	7/8

همان طور که مشاهده می شود با استفاده از مدل ریاضی با دقت خوبی می توان ضرایب و نیروهای ماشین کاری را پیش بینی و از این مدل جهت برآورد نیروها و ارتعاشات در تراش کاری استفاده نمود.

6- نتیجه گیری

در این تحقیق نیروهای ماشین کاری برای فرآیند تراش کاری مورد بررسی قرار گرفته و ضرایب ماشین کاری محاسبه شده است. همچنین این ضرایب با استفاده از یک مدل عددی شبیه سازی شده و با مقادیر تجربی مقایسه گردید. نتایج حاصل از این بررسی به شرح زیر است:

- با اندازه گیری دقیق پارامترهای هندسی عملیات تراش کاری، می توان ضرایب ماشین کاری را با تقریب خوبی تخمین زد.
- بررسی نیروهای ماشین کاری نشان می دهد که نیروی برشی مماسی از نیروی پیشروی مقدار بیشتری دارد که سبب می شود مقادیر ضرایب ماشین کاری مربوط به نیروی مماسی از پیشروی بیشتر باشد.
- مقایسه ضرایب مربوط به نیروی شخم نشان داد که ضریب شخم مربوط به نیروی مماسی (K_{te}) مقدار بیشتری نسبت به ضریب شخم نیروی پیشروی (K_{fe}) دارد که ناشی از تغییر شکل بیشتر در راستای مماسی نسبت به پیشروی می باشد.

7- مراجع

- [1] O. Gonzalo, J. Beristain, H. Jauregi, C. Sanz, A method for the identification of the specific force coefficients for mechanistic milling