



تشخیص لرزه در تراش کاری با استفاده از بینایی ماشین

مهدی دانش^۱، خلیل خلیلی^{۲*}

۱- دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

* بیرجند، صندوق پستی ۹۷۱۳، kkhali@birjand.ac.ir

چکیده - لرزه یا ارتعاشات نسبی شدید خودانگیخته بین ابزار و قطعه کار، به سبب تأثیر مخرب آن بر کیفیت سطح، دقت ماشین کاری، عمر ابزار و ماشین ابزار پدیده‌ای نامطلوب در فرایند ماشین کاری است. برای پیش‌بینی و جلوگیری از رخ دادن لرزه، نیاز به روشی جهت تشخیص آن در حین فرایند ماشین کاری می‌باشد. در این تحقیق تشخیص لرزه در فرایند تراش کاری با استفاده از تحلیل علایم پیش‌روی ابزار بر روی سطح قطعه کار به کمک تکنیک‌های پردازش تصویر مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور اعتبارسنجی سیستم بینایی ارائه شده، ارتعاشات ابزار با استفاده از سنسور ارتعاشات نصب شده بر روی بدنه ابزار اندازه‌گیری شده است.
کلیدواژگان: لرزه، تراش کاری، بافت سطح، پردازش تصویر.

Chatter detection in turning process using machine vision

M. Danesh¹, K. Khalili^{2*}

1- PhD. Student, Mech. Eng., Birjand Univ., Birjand, Iran

2 Assoc. Prof., Mech. Eng., Birjand Univ., Birjand, Iran

* P.O.B. 9713 Bijand, Iran. kkhali@birjand.ac.ir

Abstract- Chatter or self-excited violent relative dynamic motion between the cutting tool and the workpiece is an undesirable phenomenon in machining due to its destructive effects on the product surface quality, machining accuracy, cutting tool life and machine tool life. Because of these reasons, there is a need for in-process detection methods to predict and avoid chatter vibration during machining processes. In this work, Chatter detection in turning process is performed based on analysis of feed marks in surface texture of work piece using image processing techniques. In order to validate the proposed vision based method an accelerometer was attached to the shank of cutting tool for measuring vibrations.

Keywords: Chatter Vibration, Turning, Image Processing, Surface Texture.

می‌باشد [۱]. تشخیص لرزه یکی از مشکلات بسیار مهم در فرایند ماشین کاری خودکار می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تشخیص لرزه مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها عمدتاً شامل تکنیک‌های اکتساب و پردازش سیگنال‌های ارتعاشات، نیرو و انتشار صوت می‌باشد [۲]. با وجود ابزارهای گران قیمت و روش‌های پردازش پیچیده به کار رفته در تشخیص لرزه، یک اپراتور ماهر می‌تواند رخ دادن لرزه را با

۱- مقدمه

لرزه^۱ پدیده‌ای ناخواسته در ماشین کاری می‌باشد که به صورت حرکت دینامیکی شدید نسبی خود انگیخته بین ابزار برشی و قطعه کار تعریف می‌شود. لرزه به سبب تأثیر مخرب آن بر کیفیت سطح، هزینه ماشین کاری، دقت ماشین کاری، عمر ابزار، یاتاقان‌های ماشین ابزار و عمر ماشین ابزار پدیده‌ای نامطلوب

1. Chatter

ناپایداری که باعث جابجایی نسبی زیاد بین ابزار و قطعه کار می شود نقش تعیین کننده تری در پرداخت سطح و عمر ابزار دارد [۵]. این نوع ارتعاشات مضرترین نوع برای هر نوع فرایند ماشین کاری می باشد. ارتعاشات خود انگیزه به دو دسته لرزه اولیه و لرزه ثانویه تقسیم می شود [۶]. لرزه اولیه به سبب اصطکاک بین ابزار و قطعه کار، اثرات ترمومکانیکی و یا توسط تزویج مدی^۱ ایجاد می شود و لرزه ثانویه یا ارتعاشات لرزه باز زا^۲ از بر هم کنش فرایند براده برداری و سازه ماشین ابزار ناشی می شود که به سبب باز زایی^۳ سطحی موجی بر قطعه ایجاد می شود. شکل ۱ مکانیزم باز زایی را نشان می دهد. ارتعاشات باز زا مخربترین نوع ارتعاشات است و زمانی اتفاق می افتد که عدم صلبیت کافی در سازه ماشین ابزار موجب غلبه یافتن نیروهای برشی و در نتیجه جابجایی لبه برش می شود. در چنین حالتی مسیر ابزار بر روی قطعه کار بر روی مسیر قبلی قرار می گیرد [۴] و بافت سطح تخریب می شود. بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه لرزه بر روی اجتناب از این نوع ارتعاشات با استفاده از پیش بینی و یا تشخیص به محض وقوع آن می باشد [۲].

تکنیک های تجربی به کار رفته در تشخیص لرزه را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱. تکنیک های اکتساب و پردازش سیگنال (اندازه گیری شتاب، نیرو و انتشار صوت)
۲. تحلیل براده
۳. بینایی ماشین

استفاده از سیگنال های نیرو و شتاب به سبب ارتباط آن با دینامیک فرایند براده برداری، توسط بسیاری از محققان در تشخیص لرزه ترجیح داده شده است. تکنیک های اندازه گیری نیرو و ارتعاشات از متداول ترین روش ها در تشخیص لرزه باز زا هستند. هرچند سنسورهای شتاب و نیرو به سبب این که طبیعت واقعی دینامیک فرایند برش را توصیف می کنند به عنوان تکنیک هایی از پایش وضعیت ابزار و تشخیص لرزه مورد استفاده قرار می گیرند، اما اندازه گیری نیرو نسبت به شرایط برش و سختی قطعه کار حساس می باشد. اندازه گیری ارتعاشات نیز به سادگی قابل انجام است اما سیگنال ثبت شده به مقدار زیادی به شرایط برش، جنس قطعه کار و سازه ماشین بستگی

استفاده از بازرسی چشمی سطح قطعه کار تشخیص دهد. بر همین اساس می توان از روش های مبتنی بر بینایی ماشین به عنوان ابزاری برای تشخیص لرزه به صورت خودکار بهره برد. در این مقاله از پردازش تصویر بافت سطح قطعه کار جهت تشخیص لرزه در فرایند تراش کاری استفاده شده است. با توجه به اینکه پدیده لرزه تأثیر مستقیمی بر بافت سطح قطعه کار دارد می توان با مطالعه بافت سطح قطعه کار به بروز ارتعاشات لرزه در فرایند پی برد. در این تحقیق لرزه با استفاده از تحلیل بافت سطح قطعه کار انجام شده است. با توجه به اینکه وجه تمایز بافت سطح ماشین کاری شده با بافت سایر سطوح، وجود علایم پیش روی ابزار بر روی آن می باشد و به هنگام بروز ارتعاشات لرزه، این علایم در بافت سطح دچار بی نظمی می شوند از این ویژگی برای تشخیص لرزه و شدت آن استفاده شده است. به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل پردازش تصویر، از سیستم ارتعاش سنجی برای اندازه گیری ارتعاشات ابزار استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد سیستم بینایی ماشین و الگوریتم های ارائه شده قابلیت تشخیص لرزه را با دقت خوبی دارد.

۲- لرزه و روش های تشخیص آن

در فرایند تراش کاری سه نوع مختلف از ارتعاشات مکانیکی به سبب عدم صلبیت سیستم ماشین ابزار (ابزار، ابزارگیر، قطعه کار و ماشین ابزار) وجود دارد. این ارتعاشات عبارتند از ارتعاشات اجباری، ارتعاشات آزاد و ارتعاشات خود انگیزه [۳]. ارتعاشات آزاد به علت شوک و ارتعاشات اجباری ناشی از تأثیرات عدم تعادل در اجزاء ماشین ابزار مانند چرخ دنده ها، یاتاقان ها، اسپیندل و غیره ایجاد می شود. ارتعاشات آزاد و اجباری را می توان به سادگی تشخیص و حذف نمود. اما ارتعاشات لرزه خود انگیزه به سبب طبیعت پیچیده آن هنوز به طور کامل درک نشده است [۲]. این نوع ارتعاشات گر چه می تواند در همه فرایندهای ماشین کاری به دلیل عدم سفتی کامل سیستم ماشین ابزار وجود داشته باشد، ولی این موضوع یک مشکل ویژه در عملیات هایی مانند تراش کاری قطعات نازک و بلند، بورینگ سوراخ های عمیق و فرزکاری شیارهای عمیق قطعات نازک می باشد. در چنین شرایطی ادامه عملیات به علت لرزه مشکل می باشد [۴]. ارتعاشات لرزه خود انگیزه به سبب رفتار

1. Mode Coupling
2. Regenerative
3. Regeneration

نشان داد پارامترهای بررسی شده در تصویر بافت سطح قطعه کار، در فرایند دارای لرزه نسبت به فرایند بدون لرزه کاملاً متفاوت است [۲۰]. سیدوسکی و پوالکا از الگوریتمی مبتنی بر برآورد گرادیان محلی در تشخیص لرزه در فرایند فرزکاری استفاده کردند. ایراد روش ارائه شده توسط آنها وابستگی معیار تصمیم‌گیری به تنظیمات حد آستانه می‌باشد [۲۱].

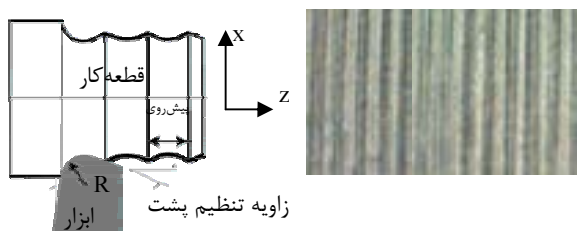
۳- بافت سطح قطعه کار در فرایند تراش کاری

در فرایند تراش کاری، براده با استفاده از ابزار تک لبه از قطعه استوانه‌ای در حال دوران جدا می‌شود. در حین فرایند تراش کاری، با عبور ابزار بر روی سطح قطعه کار، یک پروفیل مارپیچی بر روی سطح قطعه ایجاد می‌شود که به آن علایم پیش‌روی گفته می‌شود. وجه تمایز بافت سطح ایجاد شده در فرایند ماشین‌کاری نسبت به سایر سطوح، تشکیل علایم پیش‌روی ابزار بر سطح قطعه کار می‌باشد (شکل ۲).

در حالت کلی، بافت به مشخصات سطحی و ظاهری یک شیء با استفاده از اندازه، شکل، دانسیته، ترتیب و تناسب اجزای بنیادی آن گفته می‌شود. عبارت بافت سطح به صورت بی‌نظمی‌هایی که به دفعات در سرتاسر سطح تکرار می‌شود و تمایل به ایجاد الگو یا بافت دارد تعریف می‌شود. لازم به ذکر است روش‌های زبری و بافت قابل تفکیک نیستند و به طور مشابهی مکمل یکدیگر هستند [۲۲].

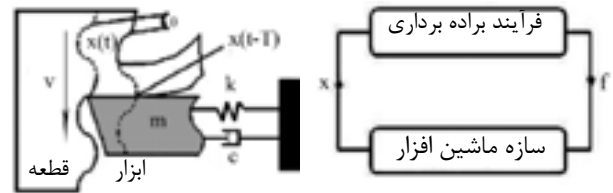
۳-۱- عوامل مؤثر بر بافت سطح ماشین‌کاری شده

برآیند زبری سطح ایجاد شده توسط ماشین‌کاری ترکیبی از دو مقدار مستقل زبری ایده‌آل و زبری طبیعی است. زبری سطح ایده‌آل که تنها تابعی از پیش‌روی و هندسه ابزار می‌باشد بهترین پرداخت سطح قابل دستیابی برای هندسه ابزار و پیش‌روی داده شده می‌باشد.



شکل ۲ شکل‌گیری علایم پیش‌روی بر روی سطح قطعه کار در فرایند تراش کاری

دارد و علاوه بر این اندازه‌گیری نیرو و ارتعاشات نیازمند تجهیزات گران‌قیمتی مانند دینامومتر و شتاب‌سنج هستند [۲].



شکل ۱ برهم کنش فرایند براده‌برداری و سازه ماشین‌افزار و مکانیزم باز‌زایی

پردازش سیگنال‌های انتشار صوت (AE) نیز روش دیگری است که توسط محققان استفاده شده است. صدای ناشی از فرایند ماشین‌کاری اطلاعات ارزشمندی در مورد فرایند و شرایط ابزار برشی در اختیار ما قرار می‌دهد. این صدا معمولاً در محدوده شنوایی انسان می‌باشد و اپراتور می‌تواند آن را تشخیص دهد. از سنسورهای انتشار صوت برای اندازه‌گیری صدای ماشین‌کاری استفاده می‌شود. استفاده از اندازه‌گیری انتشار صوت در محیط‌های صنعتی به علت محدودیت وجود نویز از سایر منابع و همچنین وابستگی سیگنال آن به پارامترهای براده‌برداری، جنس قطعه کار و ابزار چندان رایج نیست [۲، ۶، ۷]. استفاده از تحلیل براده ایجاد شده از فرایند براده‌برداری نیز به عنوان روشی جهت تشخیص لرزه مورد استفاده قرار گرفته است [۸]. تحلیل شکل‌گیری براده تنها می‌تواند پس از وقوع لرزه، اطلاعاتی را در مورد آن در اختیار قرار دهد و در نتیجه این روش قادر به تشخیص لرزه در آغاز پیشرفت آن نیست [۲]. استفاده از بینایی ماشین راه حل دیگری در تشخیص لرزه است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های بینایی برای تحلیل بافت سطح ماشین‌کاری با چهار هدف مختلف استفاده شده است: تشخیص عیوب سطحی قطعه کار [۹]، اندازه‌گیری زبری سطح قطعه کار [۱۰-۱۳]، ارزیابی سایش ابزار [۱۴-۱۹] و تشخیص لرزه [۲۰، ۲۱]. خلیفا و همکارانش تصویر بافت سطح قطعه کار در حالت فرایند تراش کاری با لرزه و بدون لرزه را مورد بررسی قرار دادند. آنها چندین پارامتر شامل انحراف از میانگین سطوح خاکستری یا شاخص G_a ، متغیرهای آماری هیستوگرام و ماتریس هم‌اتفاقی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط آنها

آزمایش‌های تجربی انجام شد. آزمایش‌های تجربی برای تشخیص لرزه به کمک پردازش تصویر، با استفاده از ماشین تراش افقی و در شرایط خشک انجام شده است. شکل ۴ تجهیزات به کار رفته را نشان می‌دهد. سنسور ارتعاشات بر روی بدنه ابزار نصب شده و سیگنال شتاب در حوزه زمان با نرخ ۴۸۰۰۰ نمونه بر ثانیه توسط سیستم، داده‌برداری و توسط نرم‌افزار لب‌ویو پردازش شده است. تصویر بافت سطح قطعه نیز با استفاده از میکروسکوپ دیجیتال نصب شده بر روی میز دستگاه گرفته شده و با استفاده از نرم‌افزار لب‌ویو پردازش شده است. مشخصات تجهیزات به کار رفته و پارامترهای ماشین کاری در جدول ۱ آورده شده است.

بیشتر موارد ارائه شده در مقالات شامل عملیات‌هایی است که ابزار در جهت پیش‌روی ارتعاش می‌کند که به آن لرزه نوع A گفته می‌شود. در نوع دیگر از لرزه که در اثر بلند بودن طول تعلیق ابزار ایجاد می‌شود و به آن لرزه نوع B گفته می‌شود لبه برش در راستای برش ارتعاش می‌کند و یا مؤلفه‌ای در این جهت دارد.

جدول ۱ تجهیزات و پارامترهای ماشین کاری به کار رفته در آزمایش‌های تجربی

ماشین تراش	TN50B
قطعه کار	برنج با قطر ۱۰ میلی‌متر و طول ۴۰۰ میلی‌متر
نوع اینسرت	کاربیدی بدون پوشش
سنسور ارتعاشات	Global Test AP98
سیستم داده برداری	Advantech 4704
میکروسکوپ دیجیتال	Insize
زبری سنج	MarSurf M 300 C
پارامترهای ماشین کاری	عمق برش = ۱ میلی‌متر سرعت برشی = ۵۰ متر بر دقیقه پیش‌روی = ۰/۲۴ میلی‌متر بر دور



شکل ۴ تجهیزات به کار رفته در آزمایش‌های تجربی

زبری سطح ایده‌آل تنها در صورت حذف کامل لرزه، لبه انباشته و بی‌دقتی در حرکات ماشین‌ابزار قابل دستیابی است. زبری سطح طبیعی نتیجه بی‌نظمی در فرایند ماشین کاری است. ارتفاع، شکل، ترتیب و جهت این بی‌نظمی‌های سطحی به عواملی مانند: متغیرهای ماشین کاری، هندسه ابزار، ترکیب جنس ابزار و قطعه کار و خواص مکانیکی آنها و ارتعاشات بین قطعه، ابزار برشی و ماشین ابزار بستگی دارد [۲۳].

۲-۳- تأثیر لرزه بر بافت سطح تراش کاری شده

همان طور که ذکر شد به هنگام وقوع لرزه ثانویه ناشی از ارتعاشات لرزه باز زا، مسیر ابزار بر روی قطعه کار بر روی مسیر قبلی قرار می‌گیرد و موجب باز زایی سطحی موجی بر قطعه می‌شود. در چنین حالتی علایم پیش‌روی ابزار دچار تغییر شده و بافتی نامنظم و موجی حاصل می‌شود. شکل ۳ نمونه‌ای از تصاویری از بافت سطح در دو حالت بدون لرزه و با لرزه را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود ارتعاشات لرزه موجب بی‌نظمی در علایم پیش‌روی می‌شود.



ب- با لرزه

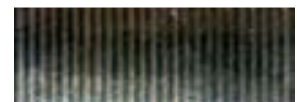


الف- بدون لرزه

جنس برنج قطر ۲۰ میلی‌متر، $ap=1\text{mm}$ و $f=0.20\text{ mm/Rev}$ ، $n=500\text{Rev/min}$



د- با لرزه



ج- بدون لرزه

جنس برنج قطر ۱۵ میلی‌متر، $ap=1\text{mm}$ و $f=0.24\text{ mm/Rev}$ ، $n=1000\text{Rev/min}$



و- با لرزه



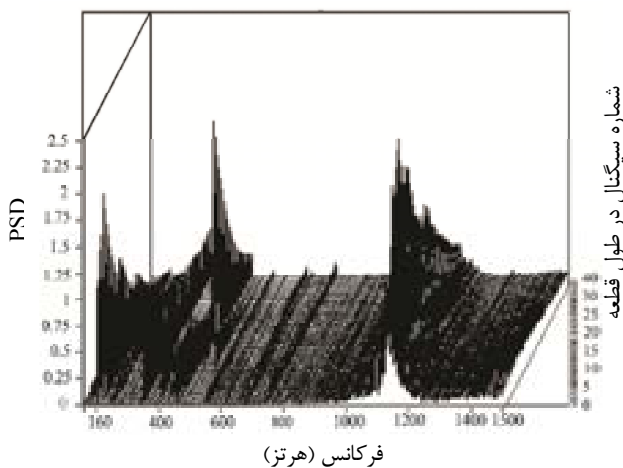
ه- بدون لرزه

جنس فولاد قطر ۲۰ میلی‌متر $ap=1\text{mm}$ و $f=0.20\text{ mm/Rev}$ ، $n=500\text{Rev/min}$

شکل ۳ بافت سطح قطعه کار در دو حالت بدون لرزه و با لرزه

۴- آزمایش‌های تجربی

به منظور تهیه نمونه برای تأمین داده و تحلیل آن، یک سری



شکل ۵ تأثیر مکان براده برداری در طول قطعه بر محدوده‌های فرکانسی مختلف ارتعاشات

به منظور بررسی تأثیر ارتعاشات ایجاد شده بر بافت سطح قطعه کار از سطح ارتعاشات سیگنال شتاب‌سنج در حوزه زمان بر اساس ریشه میانگین مربع (g_{rms}) استفاده شده است. سطح RMS سیگنال شتاب پیوسته از زمان t_1 تا t_2 با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$g_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} g^2(t) dt} \quad (3)$$

که در آن t_1 تا t_2 زمان انتگرال‌گیری یا زمان اندازه‌گیری می‌باشد.

شکل ۶ تغییرات سطح ارتعاشات g_{rms} در جهت های x و y و z و همچنین پارامتر زبری سطح Ra به دست آمده از طریق پردازش تصویر در طول قطعه کار را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود نمودار سطح ارتعاشات در جهت پیش‌روی (جهت Z) تشابه زیادی به نمودار زبری سطح Ra دارد.

۵- تشخیص لرزه با استفاده از تحلیل تصویر بافت سطح قطعه کار

در این مقاله، با استفاده از ایجاد ارتباط بین بافت سطح قطعه و سطح ارتعاشات ابزار روشی مبتنی بر پردازش تصویر برای تشخیص لرزه ارائه شده است. سه روش جهت تشخیص لرزه با استفاده از بافت سطح قطعه کار مورد مطالعه قرار گرفته و مقایسه شده است.

لرزه نوع A در مواردی که طول تعلیق ابزار کوتاه و نسبت طول به قطر قطعه کار زیاد باشد اتفاق می‌افتد [۲۵، ۲۴]. در این تحقیق به منظور ایجاد تصاویر بافت سطح در حالت‌های با لرزه و بدون لرزه، آزمایش‌های تراش کاری بر روی قطعات بلند و باریک که بین مرگک و سه نظام مهار شده انجام شده است. برای بررسی تأثیر ارتعاشات بر زبری سطح ایجاد شده، چهل سیگنال در طول قطعه استخراج و پس از پردازش، با نتایج پردازش تصویر سطح قطعه کار متناظر مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی اجزاء محدود و آزمایش‌های تجربی انجام شده توسط اوربیکاین و همکارانش در تراش کاری قطعات باریک و بلند نشان داده است، سفتی محلی به مکانی از قطعه که ماشین کاری می‌شود بستگی دارد [۲۴]. نتایج آزمایش‌های انجام شده در تحقیق حاضر نشان داد ارتعاشات ابزار و زبری سطح حاصل از آن در نقاط میانی نزدیک به مرگک بیشتر از سایر نقاط قطعه می‌باشد.

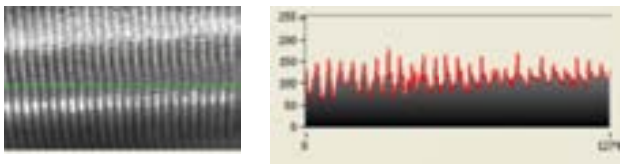
در حوزه فرکانس مشخصات سیگنال‌های تصادفی را می‌توان با چگالی طیفی توان^۱ (PSD) بیان کرد. PSD یک سیگنال تصادفی $x(t)$ چگونگی توزیع توان یک سیگنال در فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهد [۲۶]. چگالی طیفی توان یک سیگنال تصادفی $x(t)$ از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$S_x(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|X_T(f)|^2}{T} \quad (1)$$

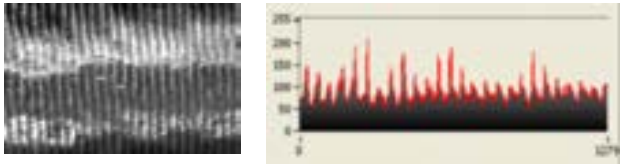
که در آن $X_T(f)$ تبدیل فوریه سیگنال می‌باشد:

$$X_T(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

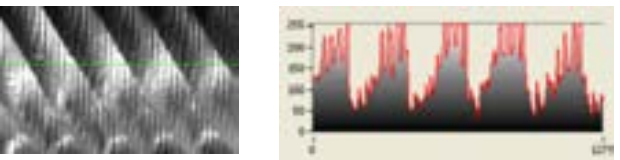
شکل ۵ چگالی طیف توان مربوط به سیگنال‌های کسب شده از ابتدای قطعه (سمت مرگک) تا انتهای آن (سمت سه نظام) را نشان می‌دهد. همان طور مشاهده می‌شود در نقاط میانی نزدیک به مرگک از طول قطعه، چگالی طیف توان افزایش می‌یابد. مقدار PSD شاخص قابل اطمینانی جهت تشخیص لرزه می‌باشد [۲۷]. نتایج آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق با نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط تسای و همکارانش در تشخیص و خنثی کردن لرزه [۲۷] و ریسبود و همکارانش در پیش‌بینی زبری سطح با استفاده از اندازه‌گیری ارتعاشات [۲۸] مطابقت دارد.



الف- تصویر سطح قطعه کار در حالت بدون لرزه



ب- بی نظم شدن بافت سطح قطعه کار در اثر ارتعاشات لرزه



ج- موجی شدن سطح قطعه کار در اثر ارتعاشات لرزه

شکل ۷ تصاویر بافت سطح قطعه در حالت‌های بدون لرزه و با لرزه به همراه مقادیر پیکسل‌ها در جهت پیش‌روی ابزار

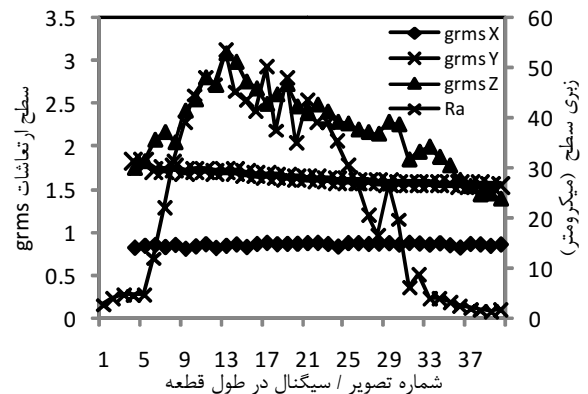
پارامترهای آماری بررسی شده در این تحقیق شامل تمایلات مرکزی (میانگین، مد، میانه)، پراکندگی (واریانس، انحراف میانگین یا شاخص Ga و انحراف معیار)، کشیدگی، چولگی و ORP می‌باشد. مد مقداری است که بیشترین بار (تکرار) در یک داده آماری اتفاق می‌افتد. میانه مقداری است که حداقل نیمی از داده‌ها از آن عدد کمتر می‌باشند. واریانس یا وردایی عددی است که نشان می‌دهد چگونه یک سری داده حول مقدار میانگین پخش می‌شوند. واریانس از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N} \quad (4)$$

در این رابطه μ میانگین داده‌ها است که خود از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (5)$$

انحراف معیار عددی است که نشان می‌دهد تا چه فاصله ای از مقدار متوسط داده‌ها، هنوز واریانس وجود دارد. برای محاسبه انحراف معیار کافی است ریشه دوم جذر واریانس حساب شود.



شکل ۶ تغییرات سطح ارتعاشات در سه راستا و زبری سطح به دست آمده از بینایی ماشین در طول قطعه کار

این روش‌ها عبارتند از تحلیل آماری مقادیر پیکسل‌ها در امتداد خطی مستقیم در راستای پیش‌روی ابزار، مشخصه‌های هارالیک و استخراج پروفیل زبری سطح با استفاده از پردازش تصویر. در این بخش پارامترهای استفاده شده در تحلیل بافت سطح قطعه کار معرفی شده است.

۵-۱- تحلیل آماری مقادیر پیکسل‌ها در راستای خطی

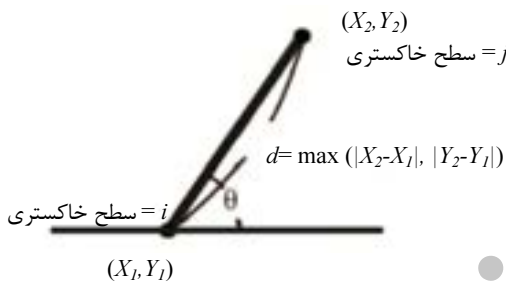
مستقیم در جهت پیش‌روی ابزار

در فرایند تراش کاری سطح ماشین کاری مسطح نیست و در نتیجه بخشی از تصویر خارج از تمرکز تصویر قرار می‌گیرد و به صورت محو شده می‌باشد. از طرف دیگر قطعه تراش کاری شده و علایم پیش‌روی موجود بر آن به صورت متقارن محوری می‌باشد. در نتیجه علایم پیش‌روی ابزار بر سطح قطعه را می‌توان با مشاهده سطح قطعه در راستای خطی موازی با محور قطعه با وضوح کامل مشاهده و ارزیابی کرد. بر همین اساس در این تحقیق تشخیص لرزه، با استفاده از تحلیل آماری مقادیر پیکسل‌ها در امتداد خط مستقیم (در جهت پیش‌روی ابزار) بر روی تصویر سطح قطعه کار به عنوان اولین انتخاب، مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۷ تصاویر بافت سطح قطعه در حالت‌های با لرزه و بدون لرزه به همراه پروفیل در امتداد خطی در جهت پیش‌روی ابزار را نشان می‌دهد. در تصویر سطح قطعه کار هر چه زبری سطح مرتفع‌تر باشد پیکسل متناظر با آن روشن‌تر و قله آن در نمودار مرتفع‌تر است و هر چه زبری سطح عمیق‌تر باشد پیکسل متناظر با آن تاریک‌تر و دره آن در نمودار عمیق‌تر است.

همسایه اش (شکل ۸).

در این تحقیق، فاصله d برابر با ۱ پیکسل و θ صفر درجه (راستای پیش روی ابزار) در نظر گرفته شده است که در آن GLCM یک ماتریس $P(i, j)$ است که تعداد دفعاتی که مقدار پیکسل j در سمت راست پیکسل i رخ داده است را نشان می دهد. به عنوان مثال در نمونه بافت نشان داده شده در شکل ۹ مقدار پیکسل ۲ دو مرتبه در سمت راست مقدار پیکسل ۱ قرار گرفته است. بنابراین $P(1, 2) = 2$ و به طور مشابه $P(8, 1) = 1$ زیرا تنها یک بار مقدار پیکسل ۱ در سمت راست مقدار پیکسل ۸ قرار گرفته است.

پس از تشکیل ماتریس GLCM مشخصه های هارالیک از این ماتریس استخراج می شود. مشخصه های هارالیک استفاده شده در ادامه توضیح داده می شود.



شکل ۸ جفت پیکسل (x_1, y_1) و (x_2, y_2) در تصویر که با فاصله d و زاویه θ نسبت به محور افقی جدا شده است



8	1	7	1
8	2	1	2
5	7	8	5
1	2	2	3

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	2	0	0	0	0	1	0
2	1	1	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	1
8	1	1	0	0	1	0	0	0

شکل ۹ استخراج GLCM در جهت صفر درجه

اگر $p(i, j)$ ، امین آرایه در ماتریس GLCM نرمال شده

جذر میانگین مربعات^۱ (RMS) که به آن میانگین درجه ۲ نیز گفته می شود با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N x_i^2} \quad (6)$$

این پارامتر آماری در مواردی که تغییرات به صورت مثبت و منفی می باشد بسیار مفید است.

شاخص G_a یک پارامتر زبری سطح نوری است که توسط معادله ۷ تعریف می شود، و توسط کومار [۲۹] معرفی شده، و به طور موفقیت آمیزی توسط محققان برای تعیین زبری سطح مورد استفاده قرار گرفته است.

$$G_a = (\sum (|g_1 - g_m| + |g_2 - g_m| + \dots + |g_n - g_m|)) / n \quad (7)$$

$$g_m = (\sum g_1 + g_2 + \dots + g_n) / n \quad (8)$$

در این رابطه n تعداد داده های نمونه برداری و g_1 تا g_n مقادیر پیکسل ها تصویر سطح در امتداد خط می باشد.

ORP نیز یک پارامتر زبری سطح نوری است که توسط لوک و هیوین [۳۰] معرفی شده پارامتر زبری نوری^۲ (ORP) از حاصل تقسیم انحراف معیار بر جذر میانگین مربعات به دست می آید.

$$ORP = \frac{Std.Dev.}{RMS} \quad (9)$$

۵-۲- تحلیل بافت با استفاده از مشخصه های هارالیک

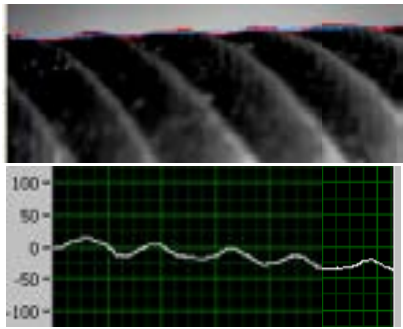
هارالیک و همکارانش [۳۲، ۳۱] مشخصه هایی آماری مرتبه دوم بر اساس ماتریس هم اتفاقی سطح خاکستری^۳ یا GLCM را برای تحلیل بافت تعریف کردند. در حال حاضر نیز این پارامترها به طور وسیعی جهت تحلیل بافت استفاده می شود. این روش اطلاعاتی در مورد احتمال اتصال یک جفت پیکسل که می تواند شرایط خاصی را ارضا کند فراهم می کند. به منظور استخراج مشخصه های هارالیک ابتدا ماتریس GLCM از تصویر بافت $I(x, y)$ ایجاد می شود [۳۳].

GLCM بر اساس سه پارامتر تشکیل می شود. این پارامترها عبارتند از: شرایطی که ارتباط بین یک پیکسل خاص و پیکسل های همسایه اش ارزیابی می شود، جهتی که این شرایط ارزیابی می شود و فاصله یک پیکسل خاص و پیکسل های

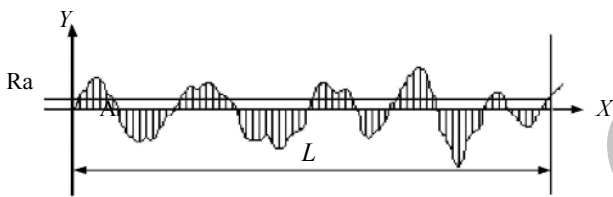
1. Root Mean Square
2. Optical Roughness Parameter
3. Gray Level Co occurrence Matrix

۶- نتایج تحلیل بافت سطح قطعه کار

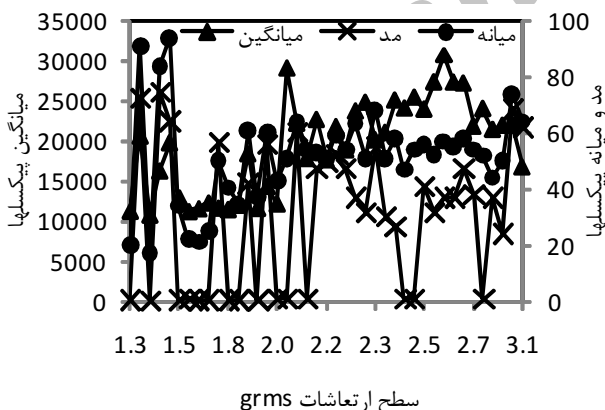
شکل ۱۲ تغییرات تمایلات مرکزی پیکسلها با افزایش سطح ارتعاشات را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش ارتعاشات، میانگین و میانه مقادیر پیکسلها افزایش می‌یابد، اما تغییرات معنی‌داری در مد مشاهده نمی‌شود.



شکل ۱۰ استخراج پروفیل زبری زبری سطح با استفاده از پردازش تصویر



شکل ۱۱ محاسبه زبری سطح میانگین Ra



شکل ۱۲ تغییرات تمایلات مرکزی مقادیر پیکسلها با افزایش ارتعاشات

در شکل ۱۳ تغییرات پارامترهای پراکندگی مقادیر پیکسلها با افزایش ارتعاشات نشان داده شده است. با توجه به نمودارها می‌توان نتیجه گرفت با افزایش سطح ارتعاشات ابزار

(ماتریسی که در آن تمام آرایه های GLCM بر تعداد سطوح خاکستری تقسیم شده است) باشد، مشخصه‌های هارالیک با استفاده از رابطه های (۱۰) تا (۱۴) تعریف می‌شود.

$$(10) \quad \text{بی نظمی} = -\sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j))$$

گشتاور دوم زاویه‌ای یا انرژی:

$$(11) \quad \text{انرژی} = \sum_i \sum_j p(i, j)^2$$

$$(12) \quad \text{هم سنجی} = \sum_i \sum_j |i - j|^2 p(i, j)$$

گشتاور اختلاف معکوس یا همگنی:

$$(13) \quad \text{همگنی} = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2}$$

$$(14) \quad \text{همبستگی} = \sum_i \sum_j \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) p(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

که در آن μ_i و μ_j میانگینها و σ_i و σ_j واریانسهای ماتریس هم اتفاقی می‌باشد.

۵-۳- استخراج پروفیل زبری جهت تشخیص موجی

شدن سطح با استفاده از پردازش تصویر

در این تحقیق با استفاده از روش ارائه شده توسط شهابی و راتنام [۱۹] در پایش وضعیت سایش ابزار و زبری سطح در فرایند تراش کاری به کمک بینایی ماشین، پروفیل زبری سطح استخراج شده است. در این روش با استفاده از نورپردازی از بالا و انعکاس نور ایجاد شده از میز ماشین تراش و تصویرگیری از محیط قطعه کار، امکان به دست آوردن پروفیل زبری سطح با بکارگیری تکنیکهای پردازش فراهم می‌شود. شکل ۱۰ نحوه استخراج پروفیل زبری سطح از تصویر سطح را نشان می‌دهد. مقدار زبری سطح با استفاده از پارامتر زبری میانگین (Ra) که در روشهای زبری سنجی تماسی متداول است محاسبه شده است. شکل ۱۱ نحوه محاسبه زبری سطح را نشان می‌دهد. مقدار زبری به دست آمده بر حسب پیکسل است.

مقدار زبری سطح میانگین از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$(15) \quad R_a = \frac{\sum A}{L}$$

که در آن A مساحت نواحی محصور و L طول نمونه‌گیری است. با بکارگیری این روش بر روی قطعه با زبری مشخص، مقدار زبری سطح بر اساس میکرومتر کالیبره شده است.

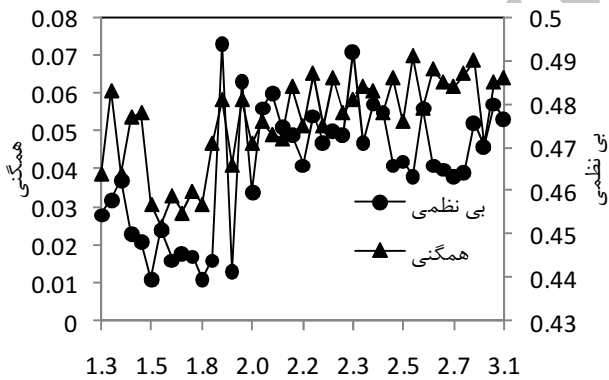
شکل ۱۵ تغییرات بی نظمی و همگنی از مشخصه‌های هارالیک را با افزایش سطح ارتعاشات نشان می‌دهد. در جدول ۳ ضریب همبستگی مشخصه‌های هارالیک نسبت به سطح ارتعاشات آمده است. داده‌های جدول نشان می‌دهد مشخصه همگنی دارای همبستگی بیشتری با سطح ارتعاشات است، اما در مجموع مشخصه‌های هارالیک در مقایسه با دو روش دیگر شاخص مناسبی برای تشخیص لرزه نیستند.

ضریب همبستگی خطی محاسبه شده مربوط به زبری سطح میانگین (به دست آمده از بینایی ماشین)، $0/۹۵$ می‌باشد که در مقایسه با دو روش قبلی دارای ارتباط بیشتری با سطح ارتعاشات ایجاد شده در ابزار می‌باشد.

شکل ۱۶ مقایسه سه روش به کار برده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲ مقایسه ضریب همبستگی پارامترهای آماری مقادیر پیکسل‌های بافت سطح قطعه با سطح ارتعاشات در راستای پیش‌روی ابزار

ضریب همبستگی	$0/۷۱$	$0/۵۶$	$0/۸۶$	$0/۸۶$	$0/۱۸۶$	انحراف استاندارد میانگین (Ga)	انحراف میانگین



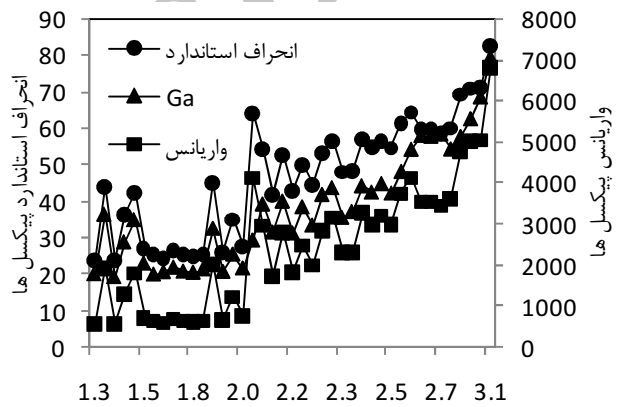
شکل ۱۵ تغییرات بی‌نظمی و همگنی از مشخصه‌های هارالیک در راستای پیش‌روی ابزار با افزایش سطح ارتعاشات

جدول ۳ مقایسه ضریب همبستگی مشخصه‌های هارالیک بافت تصویر با سطح ارتعاشات

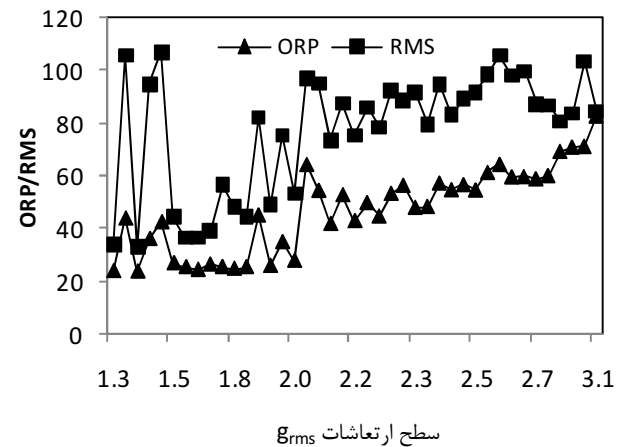
ضریب همبستگی	$0/۱۷$	$0/۶۷$	$0/۲۶$	$0/۲۶$	$0/۵۶$	بی‌نظمی	انرژی	هم‌سنجی	همگنی	همبستگی

پراکندگی مقادیر پیکسل‌ها افزایش می‌یابد. در شکل ۱۴ تغییرات ORP و RMS مقادیر پیکسل‌ها با افزایش ارتعاشات نشان داده شده است.

در جدول ۲ میزان همبستگی خطی مشخصه‌های آماری مقادیر پیکسل‌ها در امتداد خط مستقیم در راستای پیش‌روی نسبت به سطح ارتعاشات آمده است. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد مشخصه انحراف از میانگین یا شاخص Ga دارای همبستگی بیشتری با سطح ارتعاشات است. نتایج به دست آمده در تحقیق قبلی [۳۴] نیز نشان داده است این پارامتر در مقایسه با سایر پارامترهای آماری دارای ارتباط بیشتری با زبری سطح است.



شکل ۱۳ تغییرات پارامترهای پراکندگی مقادیر پیکسل‌ها در راستای پیش‌روی ابزار با افزایش سطح ارتعاشات

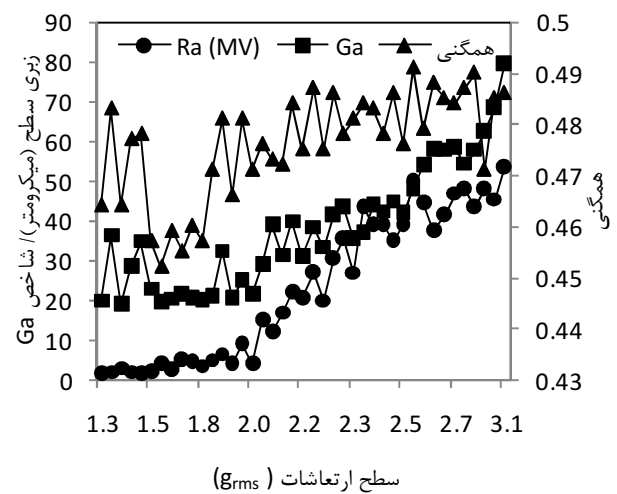


شکل ۱۴ تغییرات پارامترهای RMS و ORP مقادیر پیکسل‌ها در راستای پیش‌روی ابزار با افزایش سطح ارتعاشات

پردازش تصویر، به دلیل این که تنها از تکنیک‌های لبه یابی در پردازش تصویر استفاده می‌شود علاوه بر این که حساسیت کمتری نسبت به شرایط نورپردازی دارد، دارای سرعت محاسبات بیشتری نیز می‌باشد. سیستم بینایی و الگوریتم ارائه شده می‌تواند در تشخیص لرزه به صورت بر خط مورد استفاده قرار گیرد. از مزایای سیستم بینایی ارائه شده در ارزیابی سطح به منظور تشخیص لرزه، غیر تماسی بودن و امکان خودکارسازی آن می‌باشد. در روش‌های تماسی اندازه‌گیری زبری سطح، آسیب دیدن پراب زبری‌سنج و سطح قطعه‌کار و همچنین عدم امکان خودکارسازی فرایند اندازه‌گیری از مشکلات اساسی است. ترکیب بینایی ماشین و سایر روش‌های سنسوری مانند اندازه‌گیری ارتعاشات و نیرو، سیستم پایش وضعیت قابل اطمینانی را در تشخیص لرزه فراهم می‌کند.

۸- مراجع

- [1] Quintana Q., Ciurana J., "Chatter in machining processes: A review", *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, Vol. 51, 2011, pp. 363-376.
- [2] Siddhpura M., Paurobally R., "A review of chatter vibration in turning", *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, Vol. 61, 2012, pp. 27-47.
- [3] Tobias S.A., "Machine tool vibration research", *International Journal of Machine Tool Design and Research*, Vol. 1, 1961, pp. 1-14.
- [4] Childs T., *Metal Machining Theory and Applications*, Arnold, 2000, pp. 281-283.
- [5] Kayhan M., Budak E., "An experimental investigation of chatter effects on tool life", *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineering, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. Vol. 223, 2009, pp. 1455-1463.
- [6] Wiercigroch M., Budak E., "Source of nonlinearities, chatter generation and suppression in metal cutting", *philosophical transaction: Mechanical, Physical and Engineering science*, Vol. 359, 2001, pp. 663-693.
- [7] Lee M., Wildes D.G., Hayashi S.R., Keramati B., Turkovich v., "Effects of tool geometry on acoustic emission intensity", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 37, No. 1, 1988, pp. 57-60.
- [8] Patwari A., Amin N., Faris W., Ishtiyag M., "Investigations of formation of chatter in non wavy surface during thread cutting and turning operations", *Advanced Materials Research* Vol. 83, 2010, pp. 637-645.
- [9] Dhanasekar B., Ramamoorthy B., "Evaluation of Surface Roughness Using a Image Processing and



شکل ۱۶ مقایسه سه روش به کار رفته در تشخیص لرزه

همان طور که مشاهده می‌شود Ga ، همگنی و زبری سطح میانگین $Ra_{(MV)}$ (به دست آمده از بینایی ماشین) با افزایش سطح ارتعاشات افزایش می‌یابند، اما در مورد شاخص همگنی این افزایش با نوسانات زیادی همراه است.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی انجام شده در تشخیص ارتعاشات ابزار در فرایند تراش کاری با استفاده از تحلیل بافت سطح قطعه‌کار نشان می‌دهد از میان سه روش بکار رفته در این تحقیق، شامل تحلیل آماری مقادیر پیکسل‌ها در امتداد خط مستقیم در جهت پیش‌روی، مشخصه‌های هارالیک و تحلیل میانگین زبری سطح (با استفاده از پردازش تصویر)، شاخص Ga و زبری میانگین به دست آمده از پردازش تصویر، شاخص‌های مناسب‌تری برای تشخیص لرزه در فرایند تراش کاری می‌باشند. به طور کلی عیب اصلی سیستم‌های بینایی ماشین در پایش وضعیت فرایندهای تولید، وابستگی شدید مشخصه‌های تصویر به شرایط نورپردازی است. با توجه به این که شرایط نورپردازی در محیط‌های کارگاهی کاملاً متفاوت از شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی می‌باشد، لذا شرایط نورپردازی مناسب و ثابت از عوامل تأثیرگذار بر نتایج است.

روش‌های اول و دوم بکار رفته در این تحقیق به دلیل این که مشخصه‌های آنها بر اساس مقادیر پیکسل‌ها می‌باشد و مقادیر این پیکسل‌ها وابستگی شدیدی به شرایط نورپردازی دارند، روش‌های قابل اطمینانی نیستند.

در روش تحلیل میانگین زبری سطح به دست آمده از

- [22] Myshkin N.K., Grigoriev A.Y., Chizhik S.A., Choi K.Y., Petrokovets M.I., "Surface roughness and texture analysis in microscale", *Wear*, Vol. 254, 2003, pp. 1001-1009.
- [23] Boothroyd, G. & Knight W. A., *Fundamentals of Machining and Machine Tools*, Third Edition. Taylor & Francis Group, 2006, pp. 155-173. (In Persian)
- [24] Urbikain G., Fernandez A., Lopez L.N. and Gutierrez M.E., "Stability lobes for general turning operations with slender tools in the tangential direction.", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 67, 2013, pp. 35-44.
- [25] Urbikain G., Lacalle L.N., Campa F.J., Ferná'ndez A., Elias A., "Stability prediction in straight turning of a flexible workpiece by collocation method", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 54, No. 5, 2012, pp. 73-81.
- [26] Howard R. M., *Principles of Random Signal Analysis and Low Noise Design: The Power Spectral Density and its Applications*, Wiley-IEEE Press; 1 edition, 2002, pp. 234-236.
- [27] Tsai S. Y., Eman K. F., Wu S. M., "Chatter suppression in turning", *NAMRC proceedings*, 1980, pp. 389-402.
- [28] Risbood K.A., Dixit U.S., Sahasrabudhe A.D., "Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 132, 2003, pp. 203-214
- [29] Kumar R., Kulashekar P., Dhanasekar B., Ramamoorthy B., "Application of Digital Magnification for Surface Roughness Evaluation Using Machine Vision", *International Journal of Machine Tool and Manufacture*, Vol. 45, 2005, pp. 228-234.
- [30] Luk F., Huynh V., "A vision system for in-process surface quality assessment", *In: Proceedings of the Vision'87 SME Conference*, Vol. 12, 1987, pp. 43-58.
- [31] Haralick R., "Statistical and structural approaches to texture", *Proceedings of the IEEE*, 1978, pp. 45-69.
- [32] Haralick R., Shanmugam K., Dinstein I., "Textural features for image classification", *IEEE Trans Syst Man Cybern*, Vol. 3, No. 6, 1973, pp. 610-621.
- [33] Alegre E., Barreiro J., Castrillón S. A. S., "A new improved Laws-based descriptor for surface roughness evaluation", *Int J. Adv Manuf Technol*. Vol. 59, 2012, pp. 605-615.
- [34] Danesh M., Khalili K., "Vision based statistical analysis of turned surface for roughness measurement", *Science Series Data Report*, Vol. 4, No. 12, 2012, pp. 60-70
- Machine Vision System", *Journal of metrology society of india*, Vol. 21, No.1, 2006, pp. 9-15.
- [10] Vesselenyi T., Dzitac I., Dzitac S., Vaida V., "Surface Roughness Image Analysis using Quasi-Fractal Characteristics and Fuzzy Clustering Methods", *Int. J. of Computers, Communications & Control*, Vol. 3, No. 3, 2008, pp. 304-316.
- [11] Ramapriya S., Srivatsa S. K., "Estimation of Surface roughness parameter using Wavelets based feature extraction", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 8 No. 10, 2008, pp. 282-288.
- [12] Sridha V. G., Adithan M., "An In-Process Approach for Monitoring and Evaluating the Surface Roughness of Turned Components", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 68 No.4, 2012, pp. 534-543.
- [13] Fadare D. A., Oni A. O., "Development and Application of a Machine Vision System for Measurement of Surface Roughness", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 4, No. 5 2009, pp. 30-37.
- [14] Prasad B.S., Sarca M.M.M., "Measurement of Cutting Tool Condition by Surface Texture Analysis Based on Image Amplitude Parameters of Machined Surfaces- an Experimental Approach", *Journal of metrology society of India*, Vol. 23, No. 1, 2008, 35-54
- [15] Bradley C. & Wong Y. S., "Surface texture indicators of Tool Wear-A machine vision approach", *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 17, 2001, pp. 435-443.
- [16] Kassim A.A., Mannan M.A., Mian Z., "Texture analysis methods for tool condition monitoring", *Image and Vision Computing* Vol. 25, 2007, pp. 1080-1090
- [17] Kassim A. A., Mian Z., Mannan M.A., "Tool condition classification using Hidden Markov Model based on fractal analysis of machined surface textures", *Machine Vision and Applications*, Vol. 17, No. 5, 2006, pp. 327 - 336
- [18] Mannan M.A., Mian Z., Kassim A., "Tool wear monitoring using a fast Hough transform of images of machined surfaces", *Machine Vision and Applications*, Vol. 15, 2004, pp. 156-163.
- [19] Shahabi H. H., Ratnam M. M., "In-cycle monitoring of tool nose wear and surface roughness of turned parts using machine vision", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, 2009, pp. 1148-1157.
- [20] Khalifa O. O., Densibali A., Faris W., Waleed Faris, "Image processing for chatter identification in machining processes", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 31, 2006, pp. 443-449.
- [21] Szydłowski M., Powalka B., "Chatter detection algorithm based on machine vision", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 62, 2012, pp. 517-528.