ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2023;23(05):275-281

Investigating the Effect of Geometric Errors of Machined Parts on The Variation and Ability of Dimensional Measurement Tools

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Asadi N[1]
Soleimanimehr H[1]*
Rastegarfar M[2]

How to cite this article
Asadi N, Soleimanimehr H, Rastegarfar M. Investigating the Effect of Geometric Errors of Machined Parts on The Variation and Ability of Dimensional Measurement Tools. Modares Mechanical Engineering. 2023;23(05):275-281.

1- Department of Mechanics, Electrical Power and Computer, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Irankhodro company, Tehran, Iran.

***Correspondence**
Address: Science and Research Branch, Daneshgah Blvd, Simon Bulivar Blvd, Tehran, Iran

soleimanimehr@srbiau.ac.ir

Article History
Received: February 09, 2023
Accepted: April 24, 2023
ePublished: May 20, 2023

ABSTRACT

The non-reproducibility of the measured results of a work piece by reference laboratories is a problem that often causes differences of opinion in production workshops and doubts about the adjustment of production devices with the results provided by laboratories. In this paper, the effect of geometric parameters created by machining on the ability to measure control tools through statistical techniques of quality engineering is investigated, so that first a piece was subjected to drilling and machining, after measurements The exact diameter of the hole with geometric deviation was determined to be cylindrical error to 0.01 mm. Then it was examined with two common measuring systems of air gauge and coordinate measuring machine (CMM) and the ability of the instruments was calculated as follows through the mini-tab software. Ability of air gauge (C_g) in measuring the diameter of hole was 0.27 and ability of CMM device in controlling the said diameter was 0.28. After removing the scattering caused by geometric parameters to calculate the ability of measuring instruments, The power of the instruments was improved to 1.20 in the wind gauge and 1.05 in the CMM and finally, by removing or reducing the geometrical error of the work piece, It should be noted that in this study, after removing the error of workpiece the lack of repeatability in the air gauge increased from 74% to 16.66% and in the coordinate measuring machine (CMM) from 70.80% to 19.13%.

Keywords Ability of measuring device, Geometric dimension, Machining, MSA technique.

CITATION LINKS

1- ASME (2009). 2 ISO 1101. 3- A unified least-squares approach to the evaluation of… 4- Form tolerance-based measurement points determination with CMM.5- A practical approach to compensate for geometric errors in.6- An Investigation on the Influence of Cutting-Force's Components on… 7- Accurate identification and compensation of geometric errors of 5-axis CNC machine tools using double ball bar. 8- An identifying method with considering coupling relationship of geometric errors parameters of machine tools. 9- A novel modelling method of geometric errors for precision assembly. 10-3D measurement-comparison of CMM and 3D scanner. 11- Analysis of the cutting ratio and investigating its influence on the workpiece's diametrical error in ultrasonic-vibration assisted turning. 12- Ahmadi ghomi R, Dastor niko N, Taheri A, Gadiri sani M, Godarzi A. Measuring analysis system(MSA). 2001

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

بررسی تاثیر خطاهای هندسی در قطعات ماشین‌کاری شده بر عدم تکرارپذیری و قابلیت ابزار اندازه گیری ابعادی

نیما اسدی[۱]، حمید سلیمانی مهر[۱*]، محمد رستگارفر[۲]
[۱] دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] شرکت صنعتی ایران خودرو، تهران، ایران

چکیده
عدم تکرار پذیری نتایج اندازه گیری شده یك قطعه توسط آزمایشگاه‌های مرجع مشکلی است که اکثرا در کارگاه‌های تولیدی باعث ایجاد اختلاف نظر و شك و شبهه در تنظیم دستگاههای تولیدی با نتایج ارائه شده توسط آزمایشگاهها می گردد. در این مقاله به بررسی تاثیر پارامترهای هندسی ایجاد شده در اثر ماشینکاری بر توانایی اندازه گیری ابزارهای کنترلی از طریق روش‌های آماری مهندسی کیفیت پرداخته می شود، بدین صورت که ابتدا قطعاتی تحت فرآیند سورخکاری و داخل تراشی قرار گرفتند، پس از اندازه گیری های دقیق قطر سوراخ، انحراف هندسی با عنوان استوانه ای بودن برابر ۰/۰۱ میلیمتر بدست آمد. سپس با دو سیستم اندازه گیری متداول گیج بادی (AIR GAUGE) و دستگاه اندازه گیری مختصات (CMM) تحت بررسی قرار گرفت و توانایی ابزارهای اندازه گیری از طریق نرم افزار مینی تب محاسبه شد. قابلیت (Cg) گیج بادی در کنترل قطر سوراخ ماشینکاری شده برابر ۰/۲۷ و قابلیت دستگاه CMM در کنترل قطر مذکور برابر ۰/۲۸ است. پس از حذف پراکندگی ناشی از پارامترهای هندسی جهت محاسبه توانایی ابزارهای اندازه گیری، میزان توانایی ابزارها تا ۱/۲۰ در گیج بادی و ۱/۰۵ در دستگاه C.M.M بهبود یافتند، لازم به ذکر است در این بررسی پس از حذف خطای قطعه کار، عدم تکرار پذیری در گیج بادی نیز از ۷۴% به عدد ۱۶/۶۶% و در دستگاه اندازه گیری سه بعدی از ۷۰/۸۰% به ۱۹/۱۳% ارتقاء یافت.

کلیدواژه‌ها: قابلیت سیستم اندازه گیری، تلرانس هندسی، ماشینکاری، روش تحلیل سیستم اندازه گیری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴
*نویسنده مسئول: soleimanimehr@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه
زمانی که صحبت از تولید قطعات با تیراژ بالا جهت مونتاژ و بهره برداری در صنایع می گردد، اهمیت کیفیت ماشینکاری و ساخت قطعات مشخص میشود. در این میان تولید قطعات با دقت های ابعادی و هندسی بالا از اهمیت خاصی برخوردار می باشد و به تبع آن کنترل و اندازه گیری این پارامترها و تاثیر آنها برعملکرد صحیح قطعه کار از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه در صنعت، کنترل این ویژگیها با روش لمسی قلم پراب از طریق دستگاه اندازه‌گیری مختصات سه بعدی (CMM) انجام می شود. در این راستا ابتدا به بیان تاریخچه تلرانسهای هندسی پرداخته میشود. اولین با در سال ۱۹۴۵ تلرانس های موقعیت مطرح گردید، در سال ۱۹۵۶ استاندارد ASA Y 14.5 در کشور آمریکا منتشر شد که طی مراحل مختلف در سال ۱۹۸۲ استاندارد مذکور توسط ANSI تجدیدنظر شد و در سال ۱۹۹۴ از ANSI به ASME تغییر نام داد.

لازم به ذکر است اگر فرآیندهای تولید مدرن به طور پیوسته به دقت فزآینده ای دست پیدا کنند، عدم دقت در ساخت منجر به خطاهای هندسی اجتناب ناپذیری می‌شود که تاثیر زیادی بر کیفیت مونتاژ عملکرد جامع سیستم مکانیکی دارد. بنابراین نیاز به کنترل تلرانس های هندسی مطابق آنچه که دراستاندارد ASME نشان داده شده است، می باشد[1] . در سال ۱۹۹۶ [2] به بررسی مشخصات هندسی محصول GPS نسبت به خطاهای ابعادی و هندسی با استفاده از رویکرد حداقل مربعات یکپارچه پرداخته شد، که برای کلیه ویژگیهای هندسی کاربرد دارد. در این روش طی یك الگوریتم، مختصات اندازه گیری شده را به نحوی شبیه سازی و تبدیل می کنند که بیشترین تناسب به هندسه اسمی را داشته باشد[3] .

در سال ۲۰۰۲ به تعیین نقاط اندازه گیری بر پایه تلرانسهای فرم پرداخته شد. در این تحقیق تعداد نقاط کافی برای اندازه گیری به کمك رایانه و دستگاه اندازه گیری مختصات سه بعدی (CMM) مورد بررسی قرار گرفت [4] .

در سال ۲۰۰۸ به جبران خطاهای هندسی در بازوهای اندازه گیری پرداخته شده، که از طریق رویکرد مبتنی بر ساختار سینماتیکی با ۶ درجه آزادی بهره برده شد، در این راستا از الگوی حداقل مربعات برای تخمین پارامترهای سینماتیك استفاده شده است[5] .

در سال ۲۰۱۱ با بررسی تاثیر نیروهای برشکاری روی قطعه کار که عامل ایجاد خطاهای قطری در ماشینکاری آلتراسونیك می گردد، به اثر گذاری اجزای نیروی برش بر خطای قطری پرداخته شده و نشتن داده شده است که بیشترین این خطاها در جهت شعاع است[6].

در سال ۲۰۱۶ به شناسایی و جبران خطاهای هندسی ماشین ابزارهای CNC پنج محور با استفاده از میله دوبل از طریق تحلیل خطاهای محورهای چرخشی پرداخته شد. در نهایت یك مدل ریاضی برای شناسایی خطاها حاصل گردید[7] .

در سال ۲۰۱۸ به بررسی پارامترهای هندسی شامل موقعیت ها و تعامدها برای دقت ماشینکاری در ماشینهای ابزار ۵ محوره پرداخته شد و با رفع خطاهای حاصله در اثر موقعیت و تعامد ماشینها دقت ماشینکاری ۲/۸۴ % افزایش یافت[8] .

در سال ۲۰۱۸ به بررسی روشی جدید برای مدل سازی خطاهای هندسی در راستای مونتاژ دقیق پرداخته شد. با این روش به پیش بینی اثرات خطاهای هندسی بر کیفیت مونتاژ دست یافتند، بصورتی که با بررسی سطوح به این نتیجه دست یافتند که حتی خطاهای فرم بسیار کوچك می توانند باعث تماسهای غیریکنواخت در هنگام مونتاژ گردند و با میانگین گیری تعدادی از مدل های سطحی به میزان خطای هندسی دست یافتند که در نهایت با ادغام

نتایج به ایجاد مدل ریاضی در سیستم های طراحی کامپیوتری دست یافتند[9] .

در سال ۲۰۲۰ به بررسی و مقایسه اندازه گیری سه بعدی روشهای استفاده از اسکنر سه بعدی و ماشین اندازه گیری مختصات پرداخته شد که منجر به بیان تفاوت های دو روش و مزایا و معایب آنها و شرایط و کاربرد دو دستگاه گردید[10] .

در سال ۲۰۲۰ به بررسی و تحلیل خطاهای قطری قطعه کار در تراشکاری ارتعاشی پرداخته شد. نشان داده شد که خطای قطری قطعه کار در تراشکاری معمولی نسبت به تراشکاری ارتعاشی بیشتر است[11] .

همانگونه که مشاهده می شود طی زمانهای مختلف، تاثیرات خطاهای هندسی مورد بررسی قرار گرفته و تلاش در جهت رفع آنها شده است. ولی توانایی تجهیزات اندازه گیری محاسبه نشده وبه اشتباه درجهت ارتقاء تجهیزات اندازه گیری اقدام نموده اند در این مقاله توانایی تجهیزات با حذف تلرانس های هندسی بررسی گردیده (با اندازه گیری قطعات مرجع رینگ گیج) و پس از مشاهده قابل قبول بودن توانایی تجهیزات با افزایش تعداد نقاط اندازه گیری، سعی در حذف پارامتر های هندسی در اندازه گیری قطعات شده است. ماشین آلات توانایی های مختلفی دارند برای بررسی میزان این توانایی ها از روشهایی استفاده میشود. مثلا برای قابلیت ماشین آلات تولیدی از پارامتر CMK استفاده میگردد. برای اندازه گیری قابلیت روشهای تولیدی و فرآیند از CP و CPK و برای اندازه گیری قابلیت های ماشین آلات و روشهای اندازه گیری از ابزار MSA بهره گرفته می شود. یکی از روشهای کنترل MSA ، محاسبه میزان Cg و Cgk است. بنابراین در این مقاله به بررسی تاثیر خطاهای هندسی بر روی اندازه گیری های ابعادی قطرسوراخ قطعه کار از طریق بررسی توانمندی دستگاه های اندازه گیری در حالات مختلف و با بهره گیری از روش MSA پرداخته شده است.

۲- روش‌ها و تئوری موضوع

منشا و علل خطاهای اندازه گیری فقط منحصر به وسایل و ابزارهای اندازه گیری نمی باشد بلکه عوامل بسیار زیادی از فرآیندهای تولید و تا حتی تجهیزات تست در این سیستم تاثیر گذار می باشد. در هنگام اندازه گیری خروجی فرآیندها، همیشه پراکندگی مشاهده می شود، این پراکندگی ناشی از دو منبع زیر است:

فرآیند تولید : بخاطر وجود تغییرات فرآیند تولید ، اندازه های قطعات تولید شده با هم متفاوت است.

سیستم اندازه گیری: روش های مختلف اندازه گیری و نقص هایی که در سیستم های اندازه گیری وجود دارد باعث می شود در اندازه گیری های مکرر یک قطعه ، نتایج یکسانی به دست نیاید. به طور کلی، رابطه بین این پراکندگی ها به صورت زیر قابل بیان است: کل پراکندگی سیستم حاصل مجموع مشخصه پراکندگی ناشی از فرآیند تولید با پراکندگی حاصل از سیستم اندازه گیری می باشد.

از آنجا که اندازه گیری های انجام شده ملاک رد یا قبول محصول خروجی می باشد، هر قدر میزان پراکندگی ناشی از سیستم اندازه گیری کمتر باشد، پراکندگی مشاهده شده به پراکندگی واقعی فرآیند تولید نزدیک تر است و با اطمینان بیشتری می توان در مورد محصول نظر داد. بنابراین باید توجه داشت قبل از اقدام به هر کاری که درآن از نتایج اندازه گیری استفاده می شود، ابتدا باید مطمئن شد قسمت اعظم پراکندگی مشاهده شده، ناشی از سیستم اندازه گیری نیست. مشخصه هایی که در سیستم های اندازه گیری قطعات بررسی می شوند، عموما به دو دسته: مشخصه های کمی و مشخصه های وصفی تقسیم می شوند، در مورد مشخصه های کمی، خروجی سیستم اندازه گیری بصورت یك عدد بیان می شود، اما در مشخصه های وصفی خروجی فرآیند اندازه گیری بصورت (رد / قبول) قطعه است.

پارامترهایی که در مبحث تجزیه و تحلیل سیستم های اندازه گیری در این تحقیق مورد استفاده قرار میگیرد عبارتند از: تمایل، توانایی ابزارهای اندازه گیری C_g و C_{gk} که با افزایش میزان توانایی بالاتر می رود، تکرار پذیری یا تغییرات (VARIATION) که بر حسب درصد بیان می گردد و هر چه کمتر باشد بهتر و قابلیت بالاتر را دارا می باشد. این شاخص ها معمولا برای کنترل صحت و تصدیق ابزارهای کنترلی یا روش های اندازه گیری بکار می رود.

پارامتر تکرار پذیری (Ev) از روش زیر قابل محاسبه است.

$$Ev = 5.15\sigma \quad (۱)$$

$$\sigma = {}^{R}/_{d_2(m,g)} \quad (۲)$$

که در این روابط:

میانگین پراکندگی در خواندن هر قطعه = R

تعداد تکرارها = m

تعداد قطعات * تعداد اپراتور = g

تمایل، عبارت است از تفاوت بین میانگین ارقام جمع آوری شده و ارزش واقعی آنچه که اندازه گیری می شود. برای تعیین میزان تمایل سیستم اندازه گیری، قطعه ای را بعنوان مبنا انتخاب کرده و با انجام اندازه گیری های مکرر و مقایسه میانگین نتایج به دست آمده با اندازه اسمی قطعه مبنا، مقدار تمایل را بدست می آورند.

مراحل کار بصورت زیر است:

۱- قطعه ای که اندازه یکی از مشخصه های آن به طور دقیق اندازه گیری شده به عنوان (مبنا) انتخاب می شود، در صورتی که اندازه مشخصه مورد نظر مشخص نباشد، با استفاده از یك ابزار اندازه گیری دقیق، قطعه را چند بار اندازه گیری کرده، از میانگین اندازه های بدست آمده به عنوان عدد مشخصه مبنا استفاده می شود (X_R).

۲- قطعه مورد نظر توسط ارزیاب ماهر ۱۰ مرتبه متوالی اندازه گیری می شود و نتایج حاصله ثبت می گردد.

۳- میانگین ۱۰ اندازه حاصله را بدست آورده، اندازه مبنا از آن کسر می گردد، مقدار حاصله نشان دهنده تمایل سیستم اندازه گیری است [12].

$$X = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{n} = \text{میانگین اندازه های به دست آمده} \quad (۳)$$

$$\text{تمایل} = X - X_R \quad (۴)$$

مراحل محاسبه شاخص توانایی ابزار اندازه گیری برای بدست آوردن این پارامتر باید:

۱- ابتدا یك قطعه مرجع انتخاب شود، نباید این قطعه در طی ارزیابی تغییر کند.

۲- بهتر است قطعه مرجع، ۵۰ بار و در صورت عدم امکان ۲۵ بار اندازه گیری شود.

۳- نتایج ثبت و سپس نمودار روند برای تایید تصادفی بودن مشاهدات رسم شود.

۴- مقادیر X_g و S_g برای اندازه ها محاسبه میشود.

$$X_g = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \quad (۵)$$

$$S_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi - Xg)^2}{n-1}} \quad (۶)$$

در روابط فوق X_g و S_g به ترتیب نماینده میانگین و انحراف استاندارد اندازه های مشاهده شده با استفاده از ابزارهای اندازه گیری هستند.

مقادیر $X_g - X_m$ را که در واقع نمایش دهنده تمایل ابزار می باشد محاسبه شود.

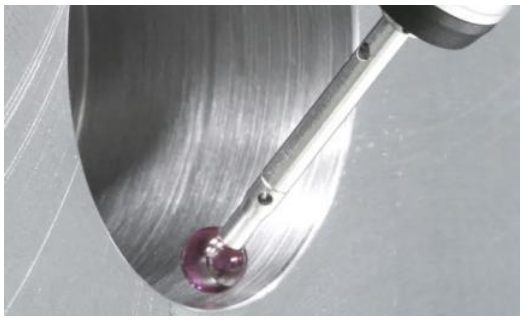
شاخص های توانایی ابزار C_g و C_{gk} با استفاده از فرمول‌های شماره ۷ و ۸ محاسبه شود.

$$C_g = \frac{0.2T}{6S_g} \quad (۷)$$

$$C_{gk} = \frac{0.1T - |X_g - X_m|}{3S_g} \quad (۸)$$

پس از اطمینان از کالیبره بودن دستگاهها توسط آزمایشگاه مرجع، نسبت به بررسی وضعیت تکرار پذیری دستگاهها اقدامات لازم انجام گردید. از قطعه کاری ماشینکاری شده بعنوان مبنا که توسط دستگاه CNC تراشکاری شده و قطری برابر ۵۱/۹۰۸ میلیمتر با محدوده مجاز ابعادی برابر ۰/۰۳+ میلیمتر استفاده گردید، این قطعه کار با خطای هندسی استوانه ای بودن ۰/۰۱ میلیمتر اندازه گیری و داده برداری شد. لازم به ذکر است این تست توسط دو دستگاه اندازه گیری رایج به نامهای ماشین اندازه گیری موقعیت سه بعدی (CMM) و گیج قطرسنج بادی (Air Gauge) انجام شده است، نمونه ای از نحوه اندازه گیری در شکل ۱ نشان داده شده است.

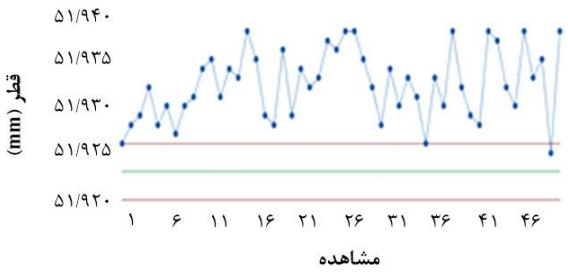
پس از انجام محاسبات لازم که توسط نرم افزار مینی تب انجام پذیرفت، نتایج بصورت جدول شماره ۱ مشاهده گردید.



شکل ۱) اندازه گیری داخل قطعه کارتوسط دستگاه (CMM)

۳- نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری قطر سوراخ ماشینکاری شده در قطعه کار با گیج بادی و ماشین اندازه گیری سه بعدی بصورت نمودارهایی در شکل شماره ۲ و شکل شماره ۳ اندازه گیری گردید.



شکل ۲) تغییرات قطر خوانده شده در ۵۰ حالت مختلف توسط گیج بادی

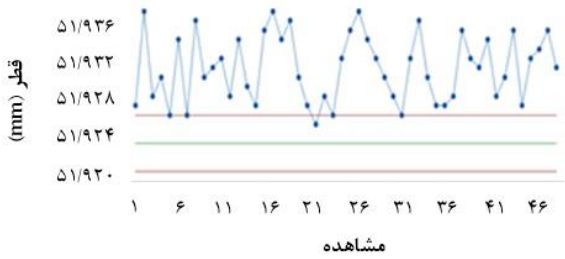
جدول ۱) نتایج محاسبات نرم افزار مینی تب برای ایرگیج

اطلاعات اولیه	تمایل (Bias)	قابلیت ماشین
عدد مرجع (mm)۵۱/۹۲۳	میزان تمایل ۰/۰۰۹	قابلیت ماشین بدون در نظر گرفتن تمایل (Cg) ۰/۲۷
میانگین داده ها ۵۱/۹۳۲		قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل (Cgk) -۰/۵۷
تلرانس کاری (mm)۰/۰۳		تکرار پذیری ۷۴/۰۰ %

همانگونه که در جدول ۱ دیده می شود در این حالت قابلیت ماشین برابر ۰/۲۷ محاسبه شده است، در شکل ۲ مقدار انحراف نمودار از میانه حد مجاز قطعه رویت است که با تنظیم دستگاه می توان این قطر را به میانه رنج قابل قبول قطعه رساند. این مقدار انحراف در قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل (C_{gk}) نیز قابل مشاهده می باشد. پاسخ منفی برای مقدار قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل، نشان از خارج از مرکز بودن قطعه کار و عدم تنظیم میانه دستگاه می باشد.

بار دیگر آزمایش اندازه گیری قطعه با دستگاه اندازه گیری موقعیت سه بعدی (CMM) انجام پذیرفت نتایج مطابق نمودار شکل ۳ ترسیم گردید.

پس از انجام محاسبات لازم توسط نرم افزار مینی تب انجام، نتایج بصورت جدول شماره ۲ می‌باشد.



شکل۳) تغییرات قطر خوانده شده در ۵۰ حالت مختلف توسط دستگاه اندازه گیری موقعیت سه بعدی

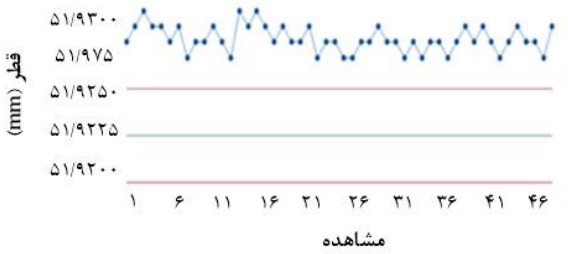
جدول ۲) نتایج محاسبات نرم افزارمینی تب برای دستگاه اندازه گیری موقعیت سه بعدی

اطلاعات اولیه	تمایل (Bias)	قابلیت ماشین
عدد مرجع ۵۱/۹۲۳(mm)	میزان تمایل ۰/۰۰۸	قابلیت ماشین بدون در نظر گرفتن تمایل ۰/۲۸ (Cg)
میانگین داده ها ۵۱/۹۳۱		قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل -۰/۴۷ (Cgk)
تلرانس کاری ۰/۰۳(mm)		تکرار پذیری ۷۰/۸۰%

همانگونه که در جدول ۲ دیده می شود در این حالت قابلیت ماشین برابر ۰/۲۸ محاسبه شده است، در شکل ۲ مقدار انحراف نمودار از میانه حد مجاز قطعه رویت می گردد که با تنظیم دستگاه می توان این قطر را به میانه رنج قابل قبول قطعه رساند. این مقدار انحراف در عدد قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل نیز قابل رویت می باشد. در هر دو حالت (استفاده از ابزار کنترل قطر بادی و دستگاه کنترل موقعیت سه بعدی)، اختلاف قابلیت دستگاه اندازه گیری بسیار کم بدست آمد. این نشان میدهد که خطای قطعه کار روی قابلیت ماشین هردو ابزار تاثیر مستقیم دارد.

جهت تکمیل بررسی ها تلاش شد که با حذف خطای استوانه ای بودن بررسی ها مجدد انجام شود و قابلیت دو روش محاسبه گردد، در گیج بادی با عدم چرخش گیج داخل قطعه کار و اندازه گیری در یك راستا این اقدام صورت گرفت، در دستگاه اندازه گیری موقعیت از طریق بهره برداری از یك رینگ مرجع به قطر ۵۰ میلیمتر که خطای ابعادی حدود ۰/۰۰۱ میکرومتر را دارا می باشد انجام شد.

با حذف این خطای هندسی در گیج بادی نتایج حاصله به شرح شکل شماره ۴ حاصل شد:



شکل ۴) تغییرات قطر خوانده شده در ۵۰ حالت مختلف توسط گیج بادی پس از حذف پارامتر هندسی استوانه ای بودن

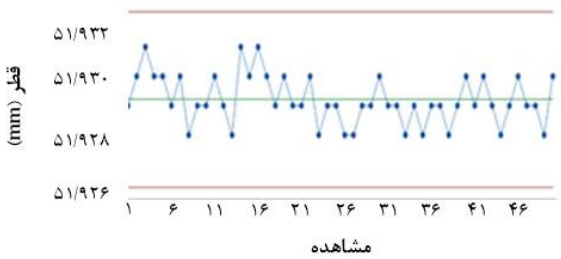
سپس با انجام محاسبات لازم توسط نرم افزار مینی تب ، نتایج بصورت جدول شماره ۳ ارائه می‌گردد.

جدول ۳) نتایج محاسبات نرم افزار مینی تب برای گیج بادی پس از حذف پارامتر هندسی

اطلاعات اولیه	تمایل (Bias)	قابلیت ماشین
عدد مرجع ۵۱/۹۲۳(mm)	میزان تمایل ۰/۰۰۶	قابلیت ماشین بدون در نظر گرفتن تمایل ۱/۲۰ (Cg)
میانگین داده ها ۵۱/۹۲۹		قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل -۱/۲۸ (Cgk)
تلرانس کاری ۰/۰۳(mm)		تکرار پذیری ۱۶/۶۶ %

همانگونه که مشاهده می‌شود اختلاف زیادی بین دو پارامتر محاسبه شده قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل و قابلیت ماشین بدون در نظر گرفتن تمایل وجود دارد. در راستای بررسی و رفع این موضوع اقدام به حذف تمایل در نرم افزار مینی تب شد، بدین صورت که میزان عدد مرجع در نرم افزار مطابق میانگین داده ها وارد شد، و نتایج بصورت شکل شماره ۵ بدست آمد.

با انجام محاسبات لازم توسط نرم افزار نتایج بصورت جدول شماره ۴ نمایش داده می شود.



شکل ۵) تغییرات قطر خوانده شده در ۵۰ حالت مختلف توسط گیج بادی پس از حذف پارامتر هندسی استوانه ای بودن و یکسان نمودن عدد مرجع با میانگین داده ها

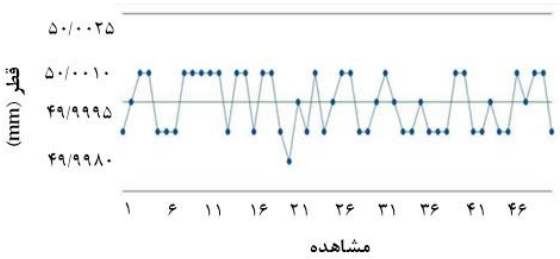
جدول ۴) نتایج محاسبات نرم افزار مینی تب برای گیج بادی پس از حذف پارامتر هندسی

اطلاعات اولیه	تمایل (Bias)	قابلیت ماشین
عدد مرجع ۵۱/۹۲۹ (mm)	میزان تمایل ۰/۰۰۰	قابلیت ماشین بدون در نظر گرفتن تمایل ۱/۲۰ (Cg)
میانگین داده ها ۵۱/۹۲۹		قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل ۱/۲۰ (Cgk)
تلرانس کاری ۰/۰۳ (mm)		تکرار پذیری ۱۶/۶۶ %

همانگونه که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود، با یکسان شدن عدد مرجع و میانگین داده ها یا به نوعی حذف تمایل قابلیت ماشین، عدد قابلیت ماشین در هر دو حالت، ۱/۲۰ است که نشانگر تاثیر خطای قطعه کار بر قابلیت هر دو سیستم اندازه گیری

میباشد. این تغییر نمایانگر میزان خطای این ابزار در اثر پارامترهای هندسی قطعه ماشینکاری می‌باشد.

حال این فعالیت برای دستگاه کنترل ابعادی انجام می پذیرد، با توجه به نقطه برداری توسط دستگاه کنترل ابعادی امکان انجام بر روی قطعه کار وجود نداشت ولی جهت کنترل توانایی ماشین توسط رینگ مرجع با قطر ۵۰ میلیمتر مورد تست قرار گرفت. نتایج این نمونه برداری که با حذف پارامتر هندسی انجام شده، در نمودار ترسیم شده در شکل شماره ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶) تغییرات قطر خوانده شده در ۵۰ حالت مختلف توسط دستگاه کنترل ابعادی سه بعدی پس از حذف پارامتر هندسی استوانه ای بودن

پس از انجام محاسبات توسط نرم افزار مینی تب نتایج بصورت جدول شماره ۵ حاصل گردید.

جدول ۵) نتایج محاسبات نرم افزار مینی تب برای دستگاه کنترل ابعادی پس از حذف پارامتر هندسی

اطلاعات اولیه	تمایل (Bias)	قابلیت ماشین
عدد مرجع ۵۰(mm)	میزان تمایل ۰/۰۰۰۱-	قابلیت ماشین بدون در نظر گرفتن تمایل ۱/۰۵ (Cg)
میانگین داده ها ۴۹/۹۹۹۹		قابلیت ماشین با در نظر گرفتن تمایل ۱/۰۲ (Cgk)
تلرانس کاری ۰/۰۳(mm)		تکرار پذیری ۱۹/۱۳%

همانگونه که در جدول رویت می گردد، میزان قابلیت ماشین ۱/۰۵ محاسبه گردید که تفاوت بزرگ آن با زمان قبل از حذف پارامتر هندسی بیانگر ایجاد خطا به علت استوانه ای بودن قطعه کار می باشد.

نتایج ارائه شده در جداول شماره ۳ و ۵ به وضوح تاثیر گذار بودن میزان خطاهای هندسی را بر فرآیند اندازه گیری توسط دو ابزار مذکور که از دقیق ترین ابزارهای اندازه گیری می باشند نمایش می دهد، این بررسی را می توان در تمامی آیتم های مربوطه نیز تعمیم داد که از ذکر ریز مطالب در این مقاله خودداری می گردد.

تعداد نقاط در نظر گرفته شده برای کنترل قطعه به نحوه عملکرد دستگاه مربوط می شود. دستگاه CMM اندازه گیری استوانه ها یا هر شکل هندسی را از طریق شبیه سازی انجام می دهد. برای مثال از چهار نقطه بعنوان نقاط یک دایره نمونه برداری می شود سپس دستگاه بصورت اتوماتیک یک دایره که از این نقاط عبور میدهد و آنرا بعنوان فیزیک قطعه در نظر می گیرد. حال با توجه به خطاهای هندسی قطعه کار در صورت عدم قرار گیری این خطاها در این نقاط از آن صرف نظر خواهد شد، هر چه تعداد نقاط مفروض جهت معرفی قطعه بیشتر در نظر گرفته شود، شکل نهایی نزدیک تر به قطعه کار اصلی خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

بارها مشاهده شده با ارسال یک قطعه کار به آزمایشگاهها جهت کنترل های ابعادی یا هندسی، تغییراتی در نتایج اندازه گیری شده قطعه کار وجود دارد. در این مقاله تلاش شده با بررسی اندازه قطر سوراخ در یک قطعه کار با استفاده از گیج بادی (Air Gauge) و دستگاه اندازه گیری موقعیت سه بعدی (CMM) که از ابزارهای مرسوم جهت کنترل پارامتر قطر سوراخ می باشد و استفاده از یکی از تکنیک های مهندسی کیفیت تحت عنوان سیستم بررسی اندازه گیری (MSA) به بررسی علت متغییر بودن نتایج اندازه گیری ها پرداخته شود. لازم به ذکر است حذف خطای هندسی در ابزار کنترل قطر بادی از طریق اندازه گیری در یک راستا و در دستگاه اندازه گیری موقعیت هندسی از طریق بهره برداری از یک استوانه مرجع انجام شده است. نتایج به شرح زیر حاصل شد:

- کاهش شدید توانایی ابزارهای اندازه گیری در اثر تلرانسهای هندسی.
- از آنجایی که دستگاه های اندازه گیری موقعیت با شبیه سازی مواضع هندسی فعالیت می کنند، هر چه میزان خطاهای هندسی بیشتر شود، این شبیه سازی از واقعیت فاصله بیشتری خواهد داشت.
- با حذف پارامتر هندسی در این تحقیق، قابلیت ابزارهای اندازه گیری تا چند برابر افزایش یافت.
- عملکرد هر دو سیستم اندازه گیری گیج بادی و دستگاه اندازه گیری موقعیت در برابر تلرانس هندسی تقریبا یکسان بود و با افزایش خطاهای هندسی میزان خطای اندازه گیری محاسبه شده افزایش یافت.
- پس از حذف خطای قطعه کار، عدم تکرار پذیری در گیج بادی نیز از ۷۴% به عدد ۱۶/۶۶% و در دستگاه اندازه گیری سه بعدی از ۷۰/۸۰% به ۱۹/۱۳% ارتقاء یافت.
- با افزایش تعداد نقطه برداری مواضع در دستگاه CMM موضع شبیه سازی شده به واقعیت نزدیکتر میشود.

تشکر و قدردانی: با تشکر ازکلیه کسانی که در نگارش این مقاله یاری نمودند.

تاییدیه اخلاقی: با توجه به اینکه آزمایش های انجام شده به صورت صنعتی انجام شده است و تجربیات چندین سال لحاظ شده است، نیاز به به تائید اخلاقی ندارد.

تعارض منافع: هیچ تضاد منافع احتمالی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی: نویسندگان هیچگونه کمک مالی دریافت نکردند.

منابع

1- ASME (2009) Y14. 5-2009 Dimensioning and tolerancing. ASME, New York

2-. ISO 1101: (2004) Geometrical product specifications (GPS)-geometrical tolerancing-tolerancing of form, orientation, location and run-out.

3-Yau HT, Menq CH. A unified least-squares approach to the evaluation of geometric errors using discrete measurement data. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1996 1;36(11):1269-90.

4-Jiang BC, Chiu SD. Form tolerance-based measurement points determination with CMM. Journal of Intelligent Manufacturing. 2002 1;13(2):101.

5- Gatti G, Danieli G. A practical approach to compensate for geometric errors in measuring arms: application to a six-degree-of-freedom kinematic structure. Measurement science and technology. 2007 17;19(1):015107.

6-Soleimanimehr H, Nategh MJ. An Investigation on the Influence of Cutting-Force's Components on the Work-piece Diametrical Error in Ultrasonic-Vibration-Assisted Turning. InAIP Conference Proceedings 2011 17 (Vol. 1315, No. 1, pp. 1145-1150). American Institute of Physics.

7- Lasemi A, Xue D, Gu P. Accurate identification and compensation of geometric errors of 5-axis CNC machine tools using double ball bar. Measurement Science and Technology. 2016 30;27(5):055004.

8-Chen D, Zhang S, Pan R, Fan J. An identifying method with considering coupling relationship of geometric errors parameters of machine tools. Journal of Manufacturing Processes. 2018 1;36:535-49.

9-Zhang Z, Zhang Z, Jin X, Zhang Q. A novel modelling method of geometric errors for precision assembly. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018;94:1139-60.

10- Stojkic Z, Culjak E, Saravanja L. 3D measurement-comparison of CMM and 3D scanner. InProceedings of the 31st DAAAM International Symposium 2020 (pp. 0780-0787).

11-Soleimanimehr H. Analysis of the cutting ratio and investigating its influence on the workpiece's diametrical error in ultrasonic-vibration assisted turning. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2021;235(4):640-9.

12- Ahmadi ghomi R, Dastor niko N, Taheri A, Gadiri sani M, Godarzi A. Measuring analysis system(MSA). 2001 (In Persian)