



Diagnosing Dimensional Defects and Valve Cracks Using Machine Vision and Acoustic Emission

Bahman Rahmatinejad^{1*}, Hossein Rahimi Asiabaraki², Farzin Azimpour Shishevan³

^{1,2,3}Faculty Member, Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article Type:

Original Research

Received: 04.12.2023

Revised: 07.19.2023

Accepted: 08.30.2023

Keyword:

Machine Vision
Dimension Measurement
Image Processing
Valves
Acoustics

Valve originates from the French word, *Souppape*, meaning valve and its role is to control the mixture of air and fuel entering the engine and the exhaust fumes. In this research, dimensional defects and valve cracks were diagnosed with the help of machine vision and acoustic emission. After offline transfer of the images to MATLAB software, the images were processed and the dimensional parameters of the valve such as length, stem diameter, large diameter (seat) and valve stem curvature were measured. These parameters were compared with the actual sizes and the percentages of measurement error for these parameters which were estimated as 0.45%, 1.8% and 1.18%, respectively. Because there was no real way to measure the valve stem, the error percentage was not calculated for this parameter. To detect cracks from 60 similar new valves, an acoustic diagram prepared by AE-MAP 1.0 device and the acoustic diagram of 30 new and used valves were compared. The accuracy of the system in crack detection was estimated to be approximately 96.7%.

*Corresponding Author:

Bahman Rahmatinejad

Email: brahmati@tvu.ac.ir



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In the valve production process, measuring the dimensional parameters of length, stem diameter, large diameter (seat) and detection of skewness are important parameters, and if these parameters do not conform to the predefined values, they should be removed from the production line. Previously, these cases were done manually by visual inspection of the user and with instruments such as callipers and micrometres. Considering that no research has been done in the field of extracting valve parameters by automatic method and all the measurements have been done manually, this research attempted to use the new methods of image and acoustic processing to obtain acceptable results regarding the extraction of the dimensional parameters of the valve as well as the detection of its defects. The system, designed based on the appearance characteristics and in a self-contained manner, evaluated the valve in the production process to check for defects and to derail the defective part.

Methodology

To measure the dimensional parameters of the valve, a preliminary and offline model of the machine vision system was made. The main components of the system were implemented. The image was transferred to the image processing software through the NIKOND90 digital camera. and after applying different filters and removing the created noises; The processing was carried out on the received image and the obtained values were compared with the standard sizes. In this case, it is possible to judge the validity of the dimensional specifications of the valve. MATLAB software was used for image processing. The length of each pixel was 0.03614 mm. For the calibration of the software, several prototypes were used whose length and width were accurately measured in millimetres with a micrometre.



Figure 1. (a) Lighting chamber with a camera; (b) a sample of the valve under test.

The acoustic method was used to detect valve defects. In this method, a device produces a high-frequency signal, and this high-frequency signal hits the sensor of the acoustic emission device, which is located on the surface of the valve. Since this sensor is a piezoelectric crystal, it converts high-frequency mechanical waves into voltage. Finally, after the analysis of the input and output data by the analyzer of the acoustic emission device, a number in decibels per microvolt is shown to the user as output.

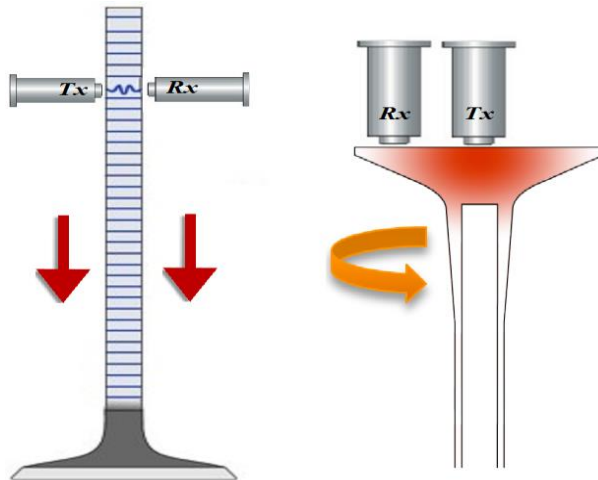
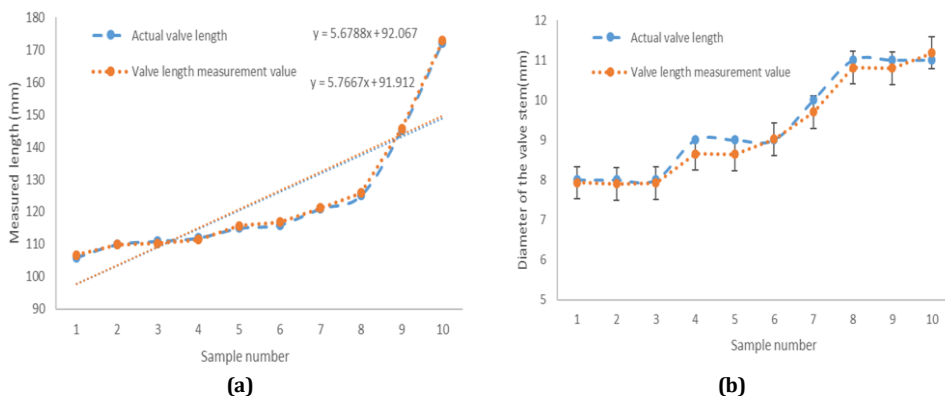


Figure 2. How to scan the stem and seat of the valve by the sensors of the device.

Results and discussion

The results of image processing to measure the length, stem diameter, large diameter (valve head) and the amount of deviation (skewness) of the valve stem along with the error percentage for ten valve images were analysed and the results are reported in Figure 3.



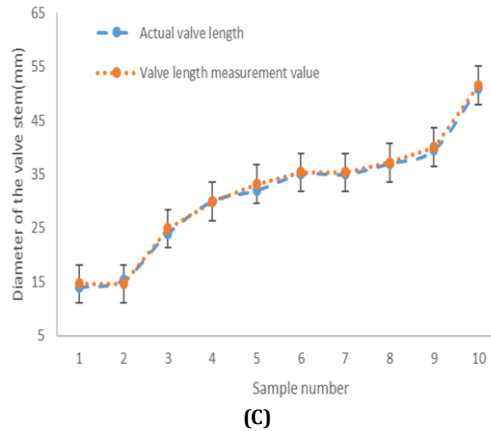


Figure 3. Comparison chart of actual value and measured value (a) valve length; (b) Valve stem diameter; (c) valve seat diameter.

First, an acoustic diagram was drawn for a new valve; the data recording distance was equal to 0.35 mm. To find a suitable range for analysis, 60 acoustic tests on new and similar valves were conducted to determine the range as shown in Figure 4. In this diagram, different parts of the valve that cause sudden changes in the diagram are shown. In this case, it will be easier to reject the parts that have a significant deviation from this range. Next, to check the presence of cracks in new and old valves, 30 were randomly selected to repeat the intended test. Out of these 30 cases, two cases exceeded the target range, which indicates the presence of cracks in those valves.

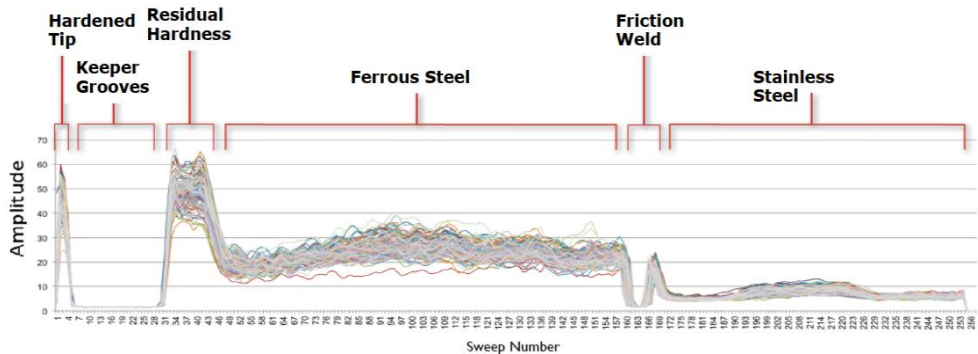


Figure 4. Acoustic diagram of 60 valves.

Conclusion

Valve originates from the French word *Soupape* and its role is to control the mixture of air and fuel entering the engine as well as controlling the exhaust fumes. In this research, dimensional parameters were measured and valve defects were detected with the help of image processing and acoustic emission. First, an offline image processing system was prepared for capturing and processing images. By extracting valve dimensional parameters

such as length, stem diameter, large diameter (seat) and valve stem curvature, they were compared with the actual sizes and the measurement error percentage, which were estimated to be 0.45%, 1.8% and 1.18%, respectively. Since there is no real way to measure the valve stem, the error percentage was not calculated for this parameter. To detect cracks for finding a suitable range for analysis from 60 similar new valves, an acoustic diagram was prepared by AE-MAP 1.0 device and the acoustic diagram of 30 new and used valves was compared with it. Out of these 30 cases, two cases exceeded the target range, which indicates the presence of cracks in those valves. One case was not detected despite having a small crack on it, showing the high accuracy of the system (around 96.7%) in crack detection. Finally, the obtained results showed the high speed, proper accuracy and consequently the good efficiency of this method in valve quality control and the possibility of automating its quality control.



تشخیص عیوب ابعادی و ترک سوپاپ به کمک بینایی ماشین و آکوستیک امیشن

بهمن رحمتی نژاد^{۱*}، حسین رحیمی آسیابری^۲، فرزین عظیم‌پور شیشوان^۳

۱، ۲ و ۳- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

سوپاپ یک کلمه فرانسوی (Soupape) به معنی دریچه می‌باشد و نقش آن کنترل مخلوط هوا و سوخت ورودی به موتور و همچنین کنترل دودهای خروجی از آن می‌باشد. در این تحقیق تشخیص عیوب ابعادی و ترک سوپاپ به کمک بینایی ماشین و آکوستیک امیشن انجام شد. بعد از انتقال آفلاین تصاویر به نرم‌افزار متلب، پردازش تصاویر در آن انجام شد و پارامترهای ابعادی سوپاپ مانند طول، قطر ساق، قطر بزرگ (نشیمنگاه) و کجی ساق سوپاپ در آن اندازه‌گیری شد. این پارامترها با اندازه‌های واقعی مقایسه و درصد خطای اندازه‌گیری برای این پارامترها به ترتیب ۱/۸، ۰/۴۵ و ۱/۸ درصد برآورد گردید. برای کجی ساق سوپاپ با توجه به این‌که در حالت واقعی روشی جهت اندازه‌گیری وجود ندارد درصد خطا برای این پارامتر محاسبه نشد. برای تشخیص ترک از ۶۰ عدد سوپاپ نو مشابه، توسط دستگاه AE-MAP ۱.۰ نمودار آکوستیکی تهیه شد و نمودار آکوستیکی ۳۰ سوپاپ نو و کار کرده با آن مقایسه شد. دقت سیستم در تشخیص ترک تقریباً ۹۶/۷ درصد برآورد گردید.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۳

بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

کلید واژگان:

بینایی ماشین
اندازه‌گیری ابعاد
پردازش تصویر
سوپاپ
آکوستیک

*نویسنده مسئول: بهمن رحمتی نژاد

پست الکترونیکی:

brahmati@tvu.ac.ir

مقدمه

احتراق مخلوط سوخت و هوا در موتورهای احتراق داخلی، تولید قدرت می‌کند که بخشی از آن مفید است و بخش دیگر آن توسط سیستم خنک کننده و اگزوز، تلف می‌شود [۱]. سوپاپ یکی از قطعات مهم موتور است که در هنگام روشن بودن موتور در معرض استرس و دمای بالا حاصل از این احتراق قرار دارد. زاویه موجود بر روی سوپاپ همواره با نشیمنگاه سوپاپ (سیت سوپاپ) درگیر بوده و باعث آبندی مناسب داخل سیلندر می‌شود. سوپاپ‌ها همواره در معرض دمای بالای سیلندر قرار دارند این دما حدوداً ۵۳۸ درجه سانتی‌گراد است. در مورد سوپاپ دود باید اشاره نمود این سوپاپ علاوه بر مقاومت در برابر دمای بالا در برابر مواد خورنده گازهای خروجی نیز باید مقاومت داشته باشند [۲]. فرآیند سخت کردن سوپاپ و نشیمنگاه آن یکی از فرآیندهای شناخته شده در صنعت است که برای افزایش مقاومت در برابر خوردگی، سایش و حرارت انجام می‌شود تا عمر مفید سوپاپ افزایش پیدا کند [۳]. حتی یک عیب کوچک می‌تواند باعث شکستن سوپاپ شود. بنابراین بازرسی سوپاپ به ویژه برای جلوگیری از نقص حین کار بسیار حیاتی است. علاوه بر این، با توجه به فشار بالای وارد بر سوپاپ هنگام سایش به راهنمای سوپاپ، ساق سوپاپ می‌بایستی به خوبی سختکاری گردد. امروزه استفاده از پردازش تصویر توسعه بسیار زیادی پیدا کرده به گونه‌ای که کمتر زمینه‌ای را می‌توان پیدا کرد که تحقیقاتی در آن زمینه توسط پردازش تصویر صورت نگرفته باشد. از مصارف کشاورزی [۴] گرفته تا مصارف بسیار پیشرفته پزشکی [۵] و نظامی [۶] و در هر زمینه، تحول شگرفی را با کمترین هزینه ممکن به جا گذاشته است. در ادامه به تعدادی از تحقیقات انجام شده در زمینه اندازه‌گیری پارامترهای ابعادی قطعات به کمک بینایی ماشین و آکوستیک امیشن اشاره می‌شود.

پیشینه تحقیق

فیفر و ویگرز^۱ (۲۰۰۰)، پایش سایش ابزار برشی با استفاده از تکنیک بینایی ماشین را مورد بررسی قرار داده و این روش را به عنوان یک تکنیک اندازه‌گیری مستقیم در مقایسه با سایر تکنیک‌های اندازه‌گیری غیر مستقیم مثل آکوستیک امیشن و اندازه‌گیری نیرو یا سیگنال جریان مصرفی الکتروموتور، برتر دانستند [۷] مالماس^۲ و همکارانش (۲۰۰۳)، در مورد ویژگی‌های سامانه‌های بینایی ماشین صنعتی، کاربردها و ابزارهای مورد نیاز برای آنها اطلاعات جامعی را ارائه نمودند. آنها فاکتورهای اصلی تأثیرگذار در ایجاد یک سیستم بازرسی اتوماتیک را مورد بحث قرار داده و کاربردهای بینایی ماشین را بر اساس دو معیار، که یکی پارامترهای اندازه‌گیری شونده و دیگری درجات آزادی انعطاف پذیری سیستم بینایی است، طبقه‌بندی نمودند [۸]. نصیری و همکاران (۱۳۹۹)، تأثیر سیستم سوپاپ چند اندازه‌ای بر موتور EF7 پایه گازسوز به منظور بهبود جریان گردابه را بررسی نموده و نشان دادند با کاهش جزئی ضریب جریان در گشودگی‌های کم سوپاپ، می‌توان به جریان گردابه قابل قبولی در گشودگی‌های بالای سوپاپ با هزینه کم و تغییرات کم در سرسیلندر نسبت به طرح‌های دیگر دست یافت [۹] واردار و اکیریم^۳ (۲۰۱۰)، در تحقیق خود به بررسی خرابی سوپاپ دود یک موتور احتراق داخلی دیزلی پرداخته و برای این منظور از سوپاپ شکست خورده چندین آزمایش تجربی از جمله طیف‌سنجی نشر نوری انجام داده، و نشان دادند در سوپاپ‌های خراب شده مقدار کربن کاهش می‌یابد [۱۰]. دابروسکی^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، از ارتعاشات ایجاد شده در سوپاپ موتورهای احتراق داخلی بنزینی و دیزلی به منظور تشخیص عیوب ترک استفاده کردند [۱۱] جعفری و همکاران (۲۰۱۴)، تشخیص عیوب سوپاپ در موتورهای احتراق داخلی با استفاده از آکوستیک امیشن و شبکه عصبی را انجام دادند. آنها در تحقیق خود از یک سرسیلندر یک موتور جرقه‌زنی

¹ Pfeifer & Wieggers

² Malamas

³ Vardar & Ekerim

⁴ Dabrowski

استفاده کردند و تأثیر سه نوع آسیب سوپاپ (فاصله، ترک کوچک و بریدگی) بر نشتی دریچه را بررسی نمودند. نتایج تجربی نشان داد که آکوستیک امیشن روشی مؤثر برای تشخیص آسیب و نوع آسیب در سوپاپها در هر دو حوزه زمان و فرکانس است [۱۲]. تیشفکی و زمسکی^۱ (۲۰۲۰)، در تحقیق خود به تشخیص عیوب سوپاپ بر اساس سیگنالهای ارتعاشی و روشهای یادگیری ماشین پرداختند. در این تحقیق سیگنالهای ارتعاشی از یک شتابسنج سه محوری واقع در سرسیلندر موتور به دست آمد. پارامترسازی سیگنال ارتعاشی برای موتوری که تحت بارهای مختلف موتور، سرعتهای چرخش و تنظیمات فاصله سوپاپ کار می کرد به دست آمد [۱۳] رابینسون^۲ و همکارانش (۱۹۹۵)، با بررسی پروفیل دندان چرخنده ساده با استفاده از تکنیکهای پردازش تصویر را بررسی نمودند و منابع خطای اندازه گیری با این روش را تعیین کردند. آنها یک چرخ دنده ساده با ۴۸ دنده و شعاع گام ۸۴ mm که با دقت ۴ μm مطابق با استاندارد ۴۳۶BS و درجه کیفی ۳ ساخته شده بود را مورد آزمایش قرار داده که حداکثر خطای کل سیستم ۸ μm را به دست آوردند [۱۴]. جیانگ و جیانگ^۳ (۱۹۹۸)، قطر داخلی و خارجی کاسه نم را با روش پردازش تصویر مورد اندازه گیری قرار دادند. کاسه نم قطعه ای پلاستیکی می باشد و استفاده از روشهای معمول جهت اندازه گیری آن با اندکی مشکل به خاطر ارتعاشی بودن آن روبرو می باشد چون روشهای معمول اغلب تماسی هستند این امر باعث تغییر شکل قطعه شده و در نهایت باعث خطا در اندازه گیری می شود. بنابراین روش ارائه شده مؤثر واقع گردید [۱۵]. لو^۴ و همکارانش (۲۰۰۴) با ترکیب بینایی ماشین، تداخل سنج لیزری مایکلسون و ماشین اندازه گیری مختصات، یک سیستم بازرسی بینایی ایجاد نمودند و توانایی آن را با اندازه گیری فاصله بین خطوط معینی از یک خط کش مدرج استاندارد، ارزیابی کردند [۱۶]. ژنگ-وو^۵ (۲۰۱۱)، طراحی و آزمایش فرآیند یک سیستم بینایی برای تشخیص عیوب سطوح فلزی را به انجام رساندند. در این روش عیوبی از قبیل برآمدگی، تیزی بر اثر ماشین کاری، روزنه، لکه روغن، پوست انداختن، ایجاد سوراخ، حفره و خراش مورد مطالعه قرار گرفت [۱۷]. لو و چو^۶ (۲۰۱۱)، در تحقیق خود به وسیله روش انتشار صوت و نیز با کمک گرفتن از روشهای المان محدود به شناسایی مکان و عمق ترک در شفت پرداختند. آنها در تحقیق خود با توجه به اختلاف زمانی بین دو سنسور آکوستیکی وجود ترک را شناسایی کرده و با توجه به روش المان محدود و مقایسه آن با داده های تجربی، مکان ترک را شناسایی کردند [۱۸]. آکوشیده و همکاران (۱۴۰۰) طراحی و اجرای سیستم تشخیص خودکار ناحیه پلاک خودرو را برای گیت های ورودی اماکن حفاظتی انجام دادند. آنها یک روش جدید برای استخراج ناحیه پلاک خودرو پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد روش پیشنهادی آنها می تواند ناحیه پلاک خودروهای مختلف را در شرایط نوری مختلف با دقت و خوانایی بیش از ۹۸ درصد شناسایی کند و عملکرد بهتری در مقایسه با روش های جدید دارد [۱۹]. بررسی و ارزیابی مقالات نشان داد. برای اندازه گیری پارامترهای ابعادی سوپاپ نیاز به سیستم اندازه گیری سه بعدی است که حداقل دو دوربین دیجیتال داشته باشد که نسبت به هم ۹۰ درجه اختلاف داشته باشند تا بتوانند مشخصات ابعادی سوپاپ را به طور کامل استخراج کنند. اگر سیستم طراحی شده به صورت مدل آزمایشگاهی باشد می توان تصاویر را به صورت آنلاین منتقل نمود ولی در صورتی که این سیستم در خط تولید استفاده شود حتما باید تصاویر به صورت آنلاین ارسال و مورد بررسی قرار گیرد.

در فرآیند تولید سوپاپ اندازه گیری پارامترهای ابعادی طول، قطر ساق، قطر بزرگ (نشیمنگاه) و تشخیص کجی جزء پارامترهای مهم بوده و در صورت عدم انطباق این پارامترها با مقادیر از پیش تعریف شده باید از خط تولید کنار گذاشته شود. این موارد قبلاً به روش دستی و توسط بازدید چشمی کاربر و با ابزار آلاتی مانند کولیس و میکرومتر انجام می شد.

¹ Tabaszewski & Szymański

² Robinson

³ Jiang & Jiang

⁴ Luo

⁵ Xue-wu

⁶ Lu & Chu

با توجه به این که تابحال در زمینه استخراج پارامترهای سوپاپ به روش خودکار تحقیقی صورت نگرفته و تمامی اندازه‌گیری‌ها به روش دستی انجام شده است. بنابراین در این تحقیق سعی شده است که از روش‌های نوین پردازش تصویر و آکوستیکی بهره گرفته شود تا در خصوص استخراج پارامترهای ابعادی سوپاپ و همچنین تشخیص عیوب آن نتایج قابل قبولی به دست آید. سیستم طراحی شده بر اساس خصوصیات ظاهری و به صورت خودکار، سوپاپ را در فرآیند تولید ارزیابی کرده و در صورت داشتن عیوب معرفی شده به آن؛ می‌تواند قطعه معیوب را از مسیر خارج کند.

مواد و روش‌ها

ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی سوپاپ

ابتدا مواد اولیه فولادی به اندازه مورد نظر برش داده می‌شوند. سپس مواد اولیه برش داده شده توسط عملیات آبستینگ و سپس فورجینگ به کنگی سوپاپ خام تبدیل می‌شود. مقدار اضافی ارتفاع کنگی سوپاپ ایجاد شده در مرحله فورجینگ برش داده شده و عملیات حرارتی به منظور حذف اثرات مضر ناشی از عملیات فورجینگ انجام می‌شود. انتهای ساق و کنگی سوپاپ توسط عملیات سنگ زنی صاف شده سپس شستشو می‌شود. سپس توسط جوش اصطکاکی بهم جوش داده می‌شود. به منظور حذف اثرات ناشی از عملیات جوش اصطکاکی، عملیات حرارتی در زمان و دمای مشخص روی سوپاپ انجام می‌شود. در مرحله بعد که استریت نام دارد ساق سوپاپ و کلکی با یکدیگر هم محور می‌شوند. در ادامه انتهای ساق سوپاپ سنگ زنی شده و صاف می‌شود. سپس به کمک جریان الکتریکی سختکاری القایی بر روی آن انجام می‌شود. توسط تیغچه‌هایی براده برداری دور کلکی انجام می‌شود. محل جوش استلایت توسط سنگ با ابعاد معین تخلیه شده و بعد از شستشو مواد پودر استلایت بر روی سیت سوپاپ جوش داده می‌شود. آلیاژ استلایت جزء سوپر آلیاژهای پایه کبالت است که ترکیبی منحصر به فرد از خواص مکانیکی و تریبولژیکی مثل سختی، استحکام بالا، چسبندگی زیاد و مقاومت به سایش عالی دارد. در ادامه با برداشت از کف و انتهای ساق سوپاپ توسط سنگ، قد و ارتفاع کلی سوپاپ نهایی می‌شود. سپس توسط دستگاه CNC شیار سوپاپ ایجاد شده و ساق سوپاپ با کروم آبکاری می‌شود. و در آخر سوپاپ‌ها از نظر ابعادی به طور کامل کنترل شده و توسط آلتراسونیک وجود ترک‌های احتمالی بررسی شده و روغن زنی و بسته‌بندی انجام می‌شود. برای ساخت سوپاپ از ماده ۴N-۲۱ استفاده می‌شود. جدول ۱ ترکیب شیمیایی عناصر موجود؛ و جدول ۲ خواص مکانیکی این ماده را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱ متداولترین عیوب سوپاپ نشان داده شده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی عناصر موجود در ماده ۴N-۲۱ [۲۰].

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni
۰.۴۸/۰.۵۸	Max ۰.۲۵	۸.۰۰/۱۰.۰۰	Max ۰.۰۴	Max ۰.۰۳	۲۰.۰/۲۲.۰	۳.۲۵/۴.۵۰

جدول ۲ خواص مکانیکی ماده ۴N-۲۱ [۲۰].

درصد کاهش سطح	درصد افزایش طول	استحکام کششی ($\frac{Kg}{mm^2}$)	تنش سیلانی ($\frac{Kg}{mm^2}$)	سختی
Min ۱۵	Min ۸	Min ۹۰	Min ۵۷	HRC Min ۲۵



(الف)



(ب)



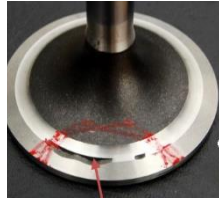
(پ)



(ت)



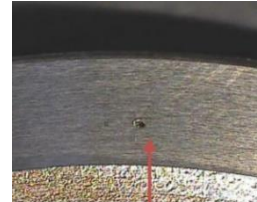
(ث)



(ج)



(چ)



(ح)

شکل ۱. عیوب سوپاپ؛ (الف) ترک، (ب) سر ریز کردن استلایت، (پ) کج بودن ساق سوپاپ، (ت) ذوب شدن سر سوپاپ، (ث) شکستگی، (ج) کمبود مواد در نشیمنگاه سوپاپ، (چ) غیر یکنواختی در نشیمنگاه سوپاپ، (ح) وجود سوراخ.

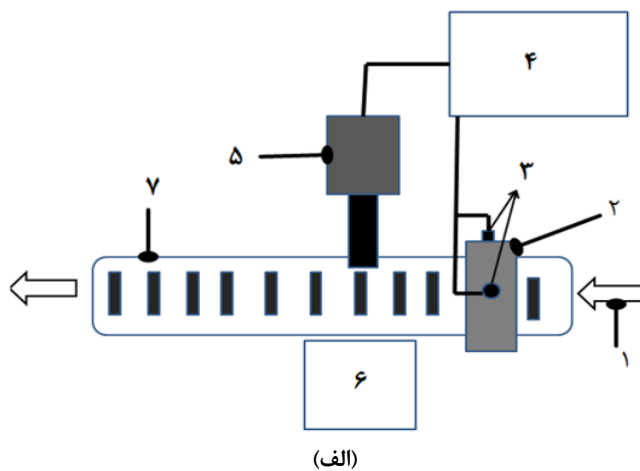
جزئیات شبیه‌سازی

برای اندازه‌گیری پارامترهای ابعادی سوپاپ، یک مدل اولیه و آفلاین از سیستم بینایی ماشین ساخته شد. اجزای اصلی سیستم پیاده‌سازی شده شامل دوربین تصویربرداری، محفظه نورپردازی، کامپیوتر و نرم‌افزار پردازش تصویر بود. دوربین دیجیتال از مدل NIKOND۹۰ با حداکثر اندازه عکس ۳۷۴۴×۵۶۱۶ پیکسل و نوع حسگر CMOS می‌باشد. اندازه سنسور دوربین ۳۶ در ۲۴ میلی‌متر، و تعداد پیکسل‌های مؤثر آن ۳۲ مگاپیکسل می‌باشد. لنز مورد استفاده هیلنرکانن USM ۱۰۵-۲۴ mm EF که از زاویه دید گسترده و زوم بالا برخوردار می‌باشد، دارای سیستم لرزشگیر تصویر است به طوری که با این تکنولوژی می‌تواند لرزش را تا ۳ برابر کاهش داد و عکسی شفاف را به کاربر ارائه نمود. این لنز به دلیل دارا بودن شیشه UD از به وجود آمدن امواج و لکه درعکس جلوگیری کرده و باعث عملکرد عالی کنتراست می‌شود. فاصله کانونی لنز ۱۰۵-۲۴ میلی‌متر و اندازه دهانه لنز ۸۵ میلی‌متر و همچنین زاویه دید قطری لنز ۲۳ - ۸۴ درجه می‌باشد. نوع رابط اتصال به کامپیوتر USB ۲.۰ است. برای حذف سایه در لبه‌های سوپاپ از یک محفظه نورپردازی با سطوح مقعر و شفاف برای تمرکز نور در محل قرارگیری سوپاپ استفاده شد. از لامپ‌های LED با نور سفید و نصب شده به صورت محیطی در لبه پایین محفظه برای نورپردازی استفاده شد (شکل ۲). دوربین در موقعیت وسط و بالای محفظه نصب گردید. سوپاپ‌ها در دو حالت عمودی (برای اندازه‌گیری قطر نشیمنگاه) و حالت افقی (برای اندازه‌گیری ساق و طول سوپاپ) روبروی دوربین قرار داده شدند. فاصله دوربین قابل تنظیم بوده و در هر دو حالت فاصله آن تا سوپاپ ۳۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. بعد از پیاده‌سازی سیستم ابتدا تصاویر اخذ شده به کمک رابط به کامپیوتر منتقل شده و سپس با کمک الگوریتم پردازش تصویر، پردازش می‌گردد.

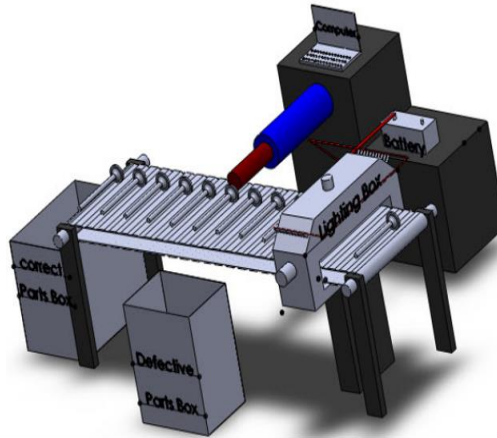


شکل ۲. (الف) محفظه نورپردازی به همراه دوربین، (ب) نمونه ای از سوپاپ مورد آزمون.

کاربردهای بینایی ماشین برای اتوماسیون کارخانه‌ها شامل عملیاتی چون بازرسی خودکار به منظور بهبود کیفیت محصولات تولید شده، گردآوری اطلاعات برای مدیریت و کنترل موجودی و یا کنترل فرآیندها برای بهبود بهره‌وری تولید می‌باشد. شکل ۳ شماتیک طراحی شده یک سیستم بینایی ماشین صنعتی ساده می‌باشد که برای اتوماسیون خط تولید یک کارخانه تولید سوپاپ پیشنهاد می‌شود. این سیستم ابتدا با مشاهده سوپاپ، به کمک دو دوربین نصب شده بر روی آن، دو تصویر از نمای بالا و جانب سوپاپ تهیه می‌کند. بعد از پردازش تصاویر و مقایسه ابعاد اندازه‌گیری شده با اندازه‌های استاندارد، مشخص می‌نماید که آیا این سوپاپ دارای مشخصات مورد نظر می‌باشد یا خیر و نهایتاً، با توجه به نتیجه به دست آمده سیگنال فرمان متناسب را ایجاد و ارسال می‌نماید. اگر سوپاپ دارای مشخصات صحیح نباشد توسط بازوی روبات به بیرون منتقل می‌شود. این سیستم توانایی تشخیص مشخصات ثبت شده بر روی سوپاپ را نیز دارد.



(الف)



(ب)



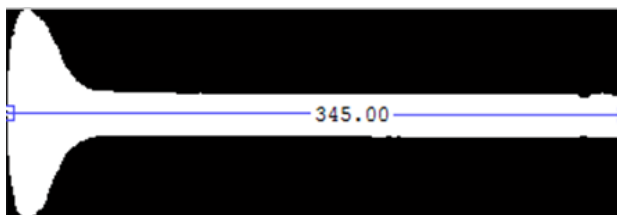
(پ)

شکل ۳: واحد تولیدی صنعتی پیشنهادی مجهز به سیستم بینایی (الف) شماتیک سیستم پیشنهادی، (ب) طراحی اولیه سیستم در نرم افزار Solidworks، (پ) تشخیص مشخصات فنی ثبت شده بر روی سوپاپ

اجزای سیستم پیشنهادی مطابق شکل ۳ به ترتیب نشان دهنده ۱- مسیر ورود سوپاپ‌ها به خط بازرسی ۲- محفظه نورپردازی، ۳- دو عدد دوربین‌های دیجیتالی، ۴- واحد پردازش کننده، ۵- بازوی ربات، ۶- جعبه سوپاپ‌های معیوب ۷- مسیر خروج سوپاپ‌های سالم از خط بازرسی می‌باشد. برای کد نویسی از نرم‌افزار متلب استفاده شد. برای این منظور بعد از فراخوانی تصویر توسط تابع داخلی متلب، ابتدا تصویر رنگی RGB به تصویر gray (خاکستری) تبدیل شد. برای کاهش حجم عملیات پردازش، در مرحله بعد تصاویر خاکستری به تصاویر باینری (صفر و یک) تبدیل شد در ادامه سوپاپ به رنگ سفید و زمینه به رنگ سیاه تبدیل شد. سپس برای حذف نویزها تصویر پیکسل‌های کنار یکدیگر را بررسی کرده و رنگ میانگین به دست آمد. بیشترین رنگ درون تصویر، رنگ اصلی تصویر و کمترین مقدار نویز در نظر گرفته شد، رنگ پیکسل‌هایی که با رنگ میانگین به دست آمده در بخشی از تصویر فاصله زیادی داشته باشد، همان نویز تصویر است که باید حذف شود. در این تحقیق از روش همسایگی ۸ تایی پیکسل‌های مجاور استفاده شد. در این مرحله جدا شدن زمینه از سوپاپ به صورت کامل، انجام شد. سپس با اعمال تابعی اقدام به استخراج خصوصیات فیزیکی سوپاپ از جمله طول، قطر بزرگ و کجی سوپاپ گردد. (شکل ۴).



(الف)



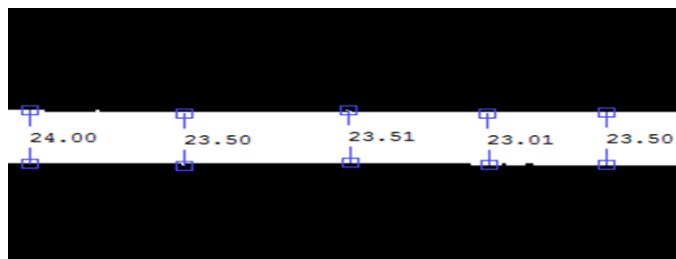
(ب)



(پ)

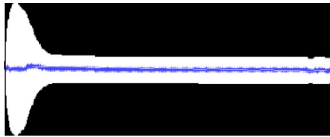
شکل ۴. (الف) نحوه قرار گیری سوپاپ جلوی دوربین، (ب) اندازه گیری تعداد پیکسل های موجود در طول سوپاپ، (پ) اندازه گیری تعداد پیکسل های موجود در قطر بزرگ سوپاپ (سرسوپاپ).

برای اندازه گیری قطر ساق سوپاپ ابتدا مرکز هندسی سوپاپ که به بخش سر سوپاپ نزدیک تر است را شناسایی نموده و قسمتی از سوپاپ را که به این مرکز نزدیک تر می باشد حذف می کنیم. و مابقی را به عنوان ساق سوپاپ در نظر می گیریم (شکل ۵).



شکل ۵. تعداد پیکسل در قسمت های مختلف ساق سوپاپ.

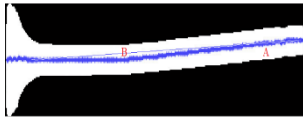
برای تشخیص کجی ساق سوپاپ ابتدا نقاط وسط سوپاپ را به عنوان پروفیل اصلی سوپاپ در نظر گرفته سپس یک خط راست از مرکز ابتدای ساق سوپاپ تا مرکز انتهای ساق سوپاپ ترسیم می‌کنیم (شکل ۶-الف) اگر این خط بر پروفیل سوپاپ منطبق باشد (شکل ۶-ب) سوپاپ سالم و اگر انحراف داشته باشد (شکل ۶-پ) با توجه به تعداد پیکسل‌های زیر منحنی خط راست تا پروفیل سوپاپ، مقدار کجی آن به دست می‌آید (شکل ۶-ت).



(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۶. الف) پروفیل مرکز سوپاپ و خط سنجش کجی، ب) انطباق پروفیل مرکز سوپاپ و خط سنجش کجی، پ) پروفیل مرکز سوپاپ و خط سنجش کجی در سوپاپ معیوب، ت) سطح زیر منحنی نشان دهنده مقدار کجی در ساق سوپاپ معیوب.

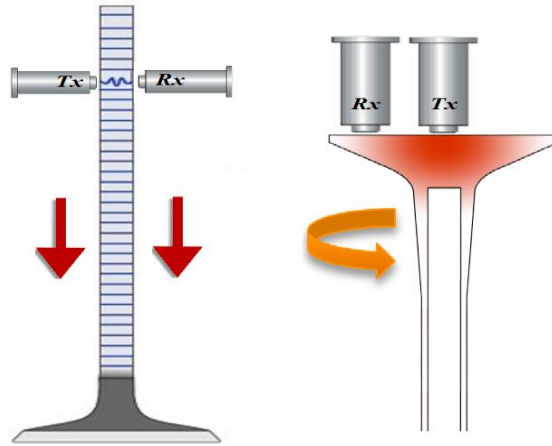
نحوه کالیبراسیون نرم‌افزار پردازش تصویر

برای کالیبراسیون نرم‌افزار از چند نمونه اولیه که طول و عرض آنها با میکرومتر به صورت دقیق بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شده بود استفاده شد. قطعات به صورت دستی روبروی دوربین قرار گرفت و دوربین کاملاً بر قطعه عمود در نظر گرفته شد. برای این که کیفیت تصاویر در تمامی قسمت‌ها برابر باشد از یک محفظه نیم‌کره‌ای استفاده شد که داخل آن نور پردازی حلقوی وجود دارد بنابراین سایه‌ای در این حالت ایجاد نمی‌شود و یک تصویر با کیفیت تهیه می‌شود. بعد از انتقال تصاویر به نرم‌افزار پردازش تصویر؛ با اعمال یک سری فیلتر کیفیت تصاویر افزایش داده می‌شود. توسط نرم‌افزار پردازش تصویر تعداد پیکسل‌های موجود در طول تصویر و تعداد پیکسل‌های موجود در عرض تصویر به دست آمد، سپس تعداد پیکسل‌های موجود در طول تصویر بر طول واقعی و تعداد پیکسل‌های موجود در عرض تصویر بر عرض واقعی قطعه تقسیم شد. در این حالت طول یک پیکسل بر حسب میلی‌متر به دست آمد. با توجه به این که فاصله دوربین از محل قرارگیری سوپاپ ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد و دوربین در حالت عمومی و بدون زوم در حال تصویر برداری بود طول هر پیکسل در تصویر 0.03614 میلی‌متر محاسبه گردید.

تشخیص عیوب سوپاپ به کمک آکوستیک

تخلیه سریع انرژی از یک منبع متمرکز در درون جسم باعث ایجاد امواج الاستیک گذرا و انتشار آنها در ماده می‌شود. این پدیده را آکوستیک امیشن می‌نامند. این سیگنال‌ها از درون اجسام و قطعات فرستاده می‌شود و با تحلیل سیگنال‌های خروجی می‌توان عیوب قطعات را مشخص کرد. این تست یک تکنیک شناخته شده برای کنترل سریع کیفیت قطعات است که اخیراً دوباره مورد توجه قرار گرفته است [۲۱؛ ۲۲] برای مثال برای تست سوپاپ؛ یک دستگاه سیگنال فرکانس بالایی را تولید می‌کند و این سیگنال فرکانس بالا به سنسور دستگاه آکوستیک امیشن برخورد می‌کند که روی سطح

سوپاپ قرار دارد از آنجایی که این سنسور یک کریستال پیزوالکتریک است امواج مکانیکی فرکانس بالا را به ولتاژ تبدیل می‌کند. و در نهایت بعد از تحلیل داده‌های ورودی و خروجی توسط آنالیزور دستگاه آکوستیک امیشن عددی به دسی بل بر میکرو ولت به عنوان خروجی به کاربر نشان داده می‌شود. در این تحقیق از دستگاه AE-MAP ۱.۰ برای اندازه‌گیری مقادیر استفاده شد. نحوه اسکن ساق و نشیمنگاه سوپاپ توسط سنسورهای دستگاه در شکل ۷ نشان داده شده است.

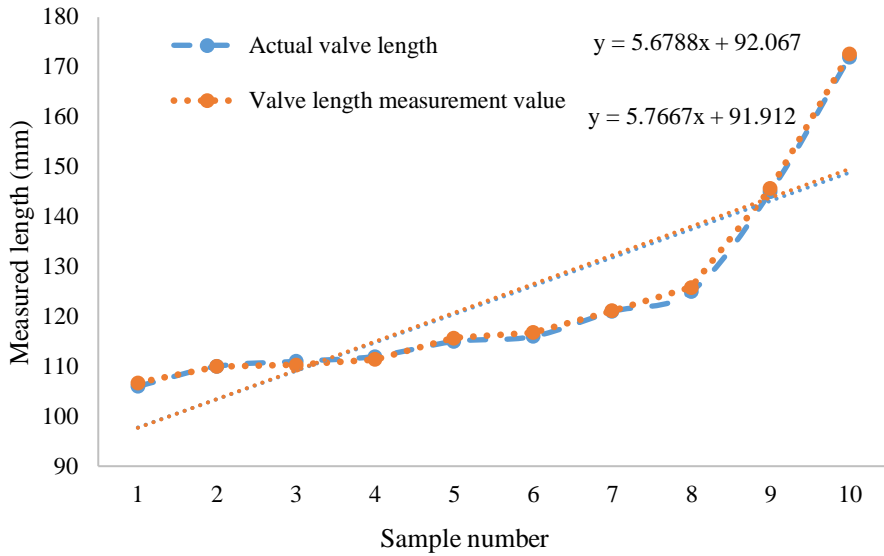


شکل ۷. نحوه اسکن ساق و نشیمنگاه سوپاپ توسط سنسورهای دستگاه.

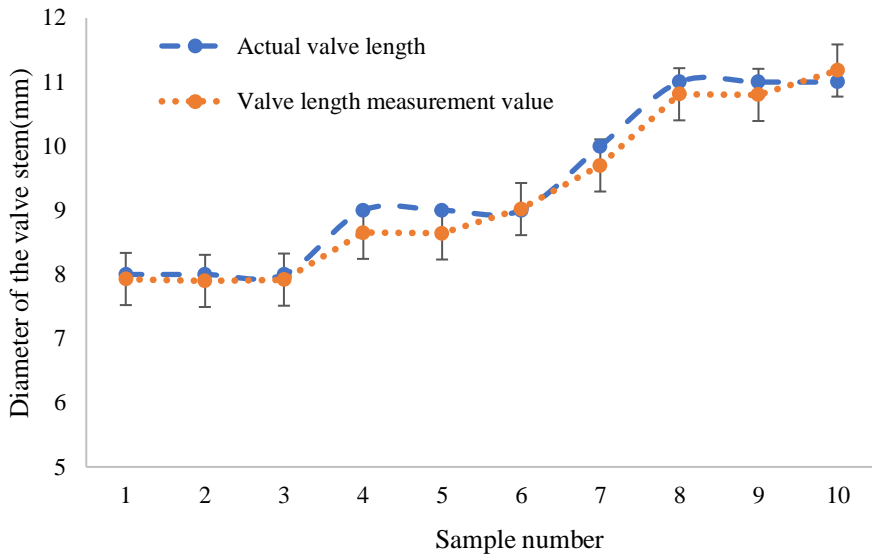
نتایج و بحث

اندازه‌گیری پارامترهای ابعادی سوپاپ به کمک پردازش تصویر

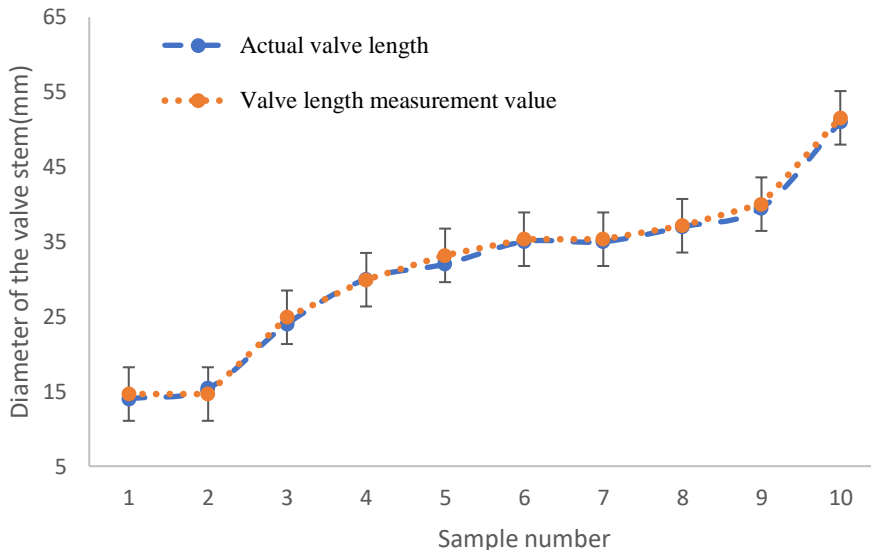
در این بخش نتایج حاصل از پردازش تصاویر برای اندازه‌گیری طول، قطر ساق، قطر بزرگ (سرسوپاپ) و مقدار انحراف (کجی) ساق سوپاپ به همراه درصد خطا برای ده تصویر سوپاپ مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در شکل‌های ۸ الی ۱۰ گزارش گردید. درصد خطای اندازه‌گیری برای پارامترها طول، قطر ساق، قطر بزرگ (سرسوپاپ) به ترتیب ۰/۴۵، ۱/۸ و ۱/۱۸ درصد برآورد گردید. با توجه به نمودار شکل ۸ معادله منحنی مقدار واقعی نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده $y=1.0142x-1.492$ می‌باشد که داری رگرسیون ۰/۹۹ بوده که نشان از دقت مناسب سیستم معرفی شده دارد.



شکل ۸. نمودار مقایسه طول واقعی و اندازه گیری شده در سوپاپ.



شکل ۹. نمودار مقایسه قطر ساق سوپاپ واقعی و اندازه گیری شده.



شکل ۱۰. نمودار مقایسه قطر بزرگ (سرسوپاپ) واقعی و اندازه‌گیری شده در سوپاپ.

برای اندازه‌گیری کجی ساق سوپاپ با توجه به این که در حالت عملی روش خاصی جهت اندازه‌گیری آن وجود ندارد و فقط از طریق ساییدگی راهنمای سوپاپ به کج بودن ساق آن می‌توان پی‌برد. فلذا با تعریف یک شاخص می‌توان سالم و یا کج بودن ساق سوپاپ را تشخیص داد ولی با توجه به این که در حالت واقعی روشی جهت اندازه‌گیری وجود ندارد در مورد درصد خطا سیستم معرفی شده نمی‌توان برآورد لازم را انجام داد. این شاخص ۱۰٪ تعداد پیکسل‌های سطح زیر منحنی در نظر گرفته شد. یعنی در صورتی که تعداد پیکسل‌های زیر منحنی از ۱۰٪ کل پیکسل‌های سوپاپ بیشتر باشد ساق سوپاپ کج می‌باشد.

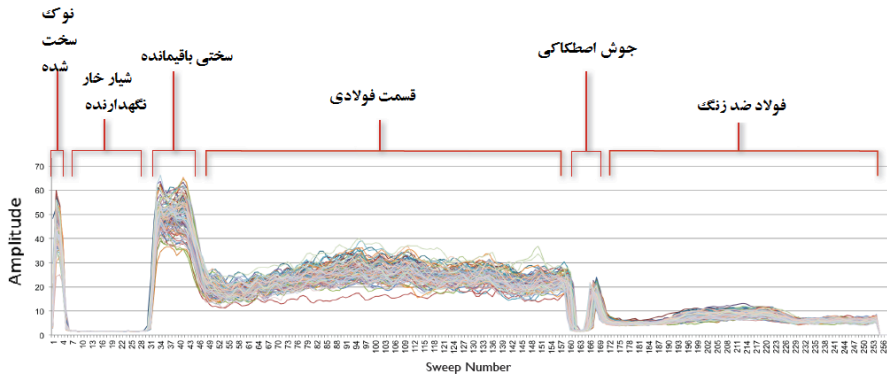
تشخیص وجود ترک در سوپاپ به کمک آکوستیک

یک اسکن کامل از سوپاپ داده‌ها را از صدها نقطه جمع‌آوری و ثبت می‌کند. سیگنال‌های دریافتی از دستگاه در یک پهنای باندی قابل مشاهده می‌باشند. نمودار آکوستیکی برای یک سوپاپ نو در شکل ۱۱ ترسیم شد در این تست فاصله ثبت اطلاعات معادل ۰.۳۵ میلی‌متر می‌باشد. برای این که بتوان یک محدوده مناسب برای تحلیل پیدا نمود. ۶۰ بار آزمایش آکوستیک را روی سوپاپ‌های نو و مشابه انجام داده و محدوده دامنه را به صورت شکل ۱۲ تعیین می‌کنیم. در این نمودار قسمت‌های مختلف سوپاپ که باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در نمودار می‌شود نشان داده شده است. در این حالت رد کردن قطعاتی که انحراف قابل توجهی از این محدوده دارند راحت‌تر خواهد بود. در ادامه به منظور بررسی وجود ترک در سوپاپ‌های نو و کهنه؛ ۳۰ عدد از آنها را به صورت تصادفی انتخاب، و تست مورد نظر بر روی آنها تکرار شد. از این ۳۰ مورد دو مورد از محدوده مورد نظر تجاوز نمود که نشان از وجود ترک در آن سوپاپ‌ها است. و یک مورد با وجود داشتن ترک ریز بر روی آن تشخیص داده نشد که نشان از دقت بالای سیستم (در حدود ۹۶/۷ درصد) در تشخیص ترک می‌باشد. در این روش ۶۰ بار آزمایش برای مشخص کردن دامنه تغییرات، و ۳۰ مورد تست جهت ارزیابی انجام شد. پس در واقع می‌توان گفت از ۹۰ تست انجام شده حدوداً ۶۶ درصد برای آموزش و حدوداً ۳۳ درصد برای تست استفاده شد. به منظور اعتبار سنجی سیستم طراحی شده؛ به صورت مجزاء ۱۰ درصد کلیه اندازه‌گیری‌های انجام

شده توسط سیستم بینایی ماشین مجدد توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری دقیق به صورت دستی محاسبه شده و با اعداد به دست آمده مقایسه شود. محل ترک در شکل ۱۳ نشان داده شد.



شکل ۱۱. نمودار آکوستیکی ترسیم شده برای یک سوپاپ نو (فاصله ثابت اطلاعات معادل ۰.۳۵ میلی‌متر).



شکل ۱۲. نمودار آکوستیکی ۶۰ سوپاپ.



شکل ۱۳. تعیین نقاط شکست با توجه به محدوده مشخص شده.

نتیجه گیری

در این تحقیق تشخیص عیوب ابعادی و ترک سوپاپ به کمک بینایی ماشین و آکوستیک امیشن انجام شد. ابتدا یک سیستم پردازش تصویر آفلاین جهت تصویربرداری و پردازش تصاویر تهیه شد. با استخراج پارامترهای ابعادی سوپاپ مانند طول، قطر ساق، قطر بزرگ (نشیمنگاه) و کجی ساق سوپاپ؛ این پارامترها با اندازه‌های واقعی مقایسه و درصد خطای اندازه‌گیری برای آنها به ترتیب ۰/۴۵، ۱/۸ و ۱/۱۸ درصد برآورد گردید. برای کجی ساق سوپاپ با توجه به این‌که در حالت واقعی روشی جهت اندازه‌گیری وجود ندارد درصد خطا برای این پارامتر محاسبه نشد. برای تشخیص ترک، برای این‌که بتوان یک محدوده مناسب برای تحلیل پیدا نمود از ۶۰ عدد سوپاپ نو مشابه، توسط دستگاه AE-MAP ۱۰۰ نمودار آکوستیکی تهیه شد و نمودار آکوستیکی ۳۰ سوپاپ نو و کارکرده با آن مقایسه شد. از این ۳۰ مورد دو مورد از محدوده مورد نظر تجاوز نمود که نشان از وجود ترک در آن سوپاپ‌ها است. و یک مورد با وجود داشتن ترک ریز بر روی آن تشخیص داده نشد که نشان از دقت بالای سیستم (در حدود ۹۶/۷ درصد) در تشخیص ترک می‌باشد. در نهایت نتایج به‌دست آمده نشان دهنده سرعت بالا، دقت مناسب و در نتیجه کارایی خوب این روش در کنترل کیفیت سوپاپ و امکان اتوماسیون کردن کنترل کیفیت آن می‌باشد.

References

- [1] Rahmatinejad, B., Abbasgholipour, M., & Mohammadi Alasti, B. (2021). Redesign of engine radiator based on number of optimal fans using a genetic algorithm. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 17(4), 99-118. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.128398>
- [2] Pierce, D., Haynes, A., Hughes, J., Graves, R., Maziasz, P., Muralidharan, G., Shyam, A., Wang, B., England, R., & Daniel, C. (2019). High temperature materials for heavy duty diesel engines: Historical and future trends. *Progress in Materials Science*, 103, 109-179. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.10.004>
- [3] Ding, Y., Liu, R., Yao, J., Zhang, Q., & Wang, L. (2017). Stellite alloy mixture hardfacing via laser cladding for control valve seat sealing surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 329(3), 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.09.018>
- [4] Wang, T., Chen, B., Zhang, Z., Li, H., & Zhang, M. (2022). Applications of machine vision in agricultural robot navigation: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107085. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107085>
- [5] He, W., Liu, T., Han, Y., Ming, W., Du, J., Liu, Y., Yang, Y., Wang, L., Jiang, Z., Wang, Y., Yuan, J., & Cao, C. (2022). A review: The detection of cancer cells in histopathology based on machine vision. *Computers in Biology and Medicine*, 146(9916), 105636. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105636>
- [6] Galán, J. J., Carrasco, R. A., & LaTorre, A. (2022). Military Applications of Machine Learning: A Bibliometric Perspective. *Mathematics*, 10(9), 1397. <https://doi.org/10.3390/math10091397>
- [7] Pfeifer, T., & Wieggers, L. (2000). Reliable tool wear monitoring by optimized image and illumination control in machine vision. *Measurement*, 28(3), 209-218. [https://doi.org/10.1016/S0263-2241\(00\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0263-2241(00)00014-2)
- [8] Malamas, E. N., Petrakis, E. G. M., Zervakis, M., Petit, L., & Legat, J-D. (2003). A survey on industrial vision systems, applications and tools. *Image and Vision Computing*, 21(2), 171-188. [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(02\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(02)00152-X)
- [9] Nasiri, S., Rahimi Asiabarak, H., & Razaghi, E. (2021). The Effect of Multi-size Valve on Improvement of Swirl Flow for Gas-based EF7 Engine. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 17(4), 119-134. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.128399>

- [10] Vardar, N., & Ekerim, A. (2010). Investigation of Exhaust Valve Failure in Heavy duty Diesel Engine. *Gazi University Journal of Science*, 23(4), 493-499. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gujs/issue/7417/97238>
- [11] Dabrowski, Z., Górnicka, D., & Zawisza, M. (2018). Vibroacoustic diagnostics of defects of combustion engines valves. *Journal of Machine Construction and Maintenance-Problemy Eksploatacji*, 111(4), 67-76. <https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-3060573c-e767-4e00-b2db-553913c7e77b>
- [12] Jafari, S. M., Mehdigholi, H., & Behzad, M. (2014). Valve Fault Diagnosis in Internal Combustion Engines Using Acoustic Emission and Artificial Neural Network. *Shock and Vibration*, 2014(2), 1-9. <https://doi.org/10.1155/2014/823514>
- [13] Tabaszewski, M., & Szymański, G. M. (2020). Engine valve clearance diagnostics based on vibration signals and machine learning methods. *Eksploatacja i Niezawodność*, 22(2), 331-339. <https://doi.org/10.17531/ein.2020.2.16>
- [14] Robinson, M., Oakley, J., & Cunningham, M. (1995). The accuracy of image analysis methods in spur gear metrology. *Measurement Science and Technology*, 6(7), 860-871. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/6/7/002>
- [15] Jiang, B. C., & Jiang, S. J. (1998). Machine vision based inspection of oil seals. *Journal of Manufacturing Systems*, 17(3), 159-166. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(98\)80058-7](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(98)80058-7)
- [16] Luo, P. F., Pan, S. P., & Chu, T. C. (2004). Application of computer vision and laser interferometer to the inspection of line scale. *Optics and Lasers in Engineering*, 42(5), 563-584. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2004.04.001>
- [17] Xue-wu, Z., Yan-qiong, D., Yan-yun, L., Ai-ye, S., & Rui-yu, L. (2011). A vision inspection system for the surface defects of strongly reflected metal based on multi-class SVM. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5930-5939. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.030>
- [18] Lu, W., & Chu, F. (2011). Shaft crack identification based on vibration and AE signals. *Shock and Vibration*, 18(1-2), 115-126. <https://doi.org/10.3233/SAV-2010-0580>
- [19] Akoushideh, A., Tourani, A., Shahbahrami, A., & Masoumehzad, M. (2021). Design and Implementation of Automatic License Plate Recognition System for Security Gates. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(3), 237-252. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.130288>
- [20] Madhu, G., Kumar, V., & Robinson, P. (2016). Optimization of Process Parameter in Seat Hardfacing Process for an IC Engine Valves. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(7), 207-211. <https://doi.org/10.17577/IJERTV5IS070233>
- [21] Schwarz, J. J., & Rhodes, G. W. (1996). Resonance Inspection for Quality Control. In D. O. Thompson & D. E. Chimenti (Eds.), *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluatio*. Springer New York State. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0383-1_297
- [22] Schlengermann, U., & Hansen, W. (1997, May 5-7). *Das Resonanzverfahren—die Antwort auf neue industrielle Forderungen an die Qualitätssicherung*. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung Conference, Dresden, Germany. <https://www.ndt.net/astract/dresd97/schleng.htm>