مجله مهندسی زیست سامانه

مجله مهندسی زیست سامانه

عیب‌یابی پمپ سانتریفیوژ با استفاده از بررسی سیگنال‌های ارتعاشی و طبقه‌بندی عیوب آن توسط SVM

ابراهیم ابراهیمی [۱]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

چکیده:

سامانه‌های پایش وضعیت تجهیزات صنعتی به عنوان یک راهکار سودمند برای شناسایی انواع عیوب در ماشین‌های صنعتی که نیازمند دقت بالایی در نگهداری هستند، مورد اقبال می‌باشند. این سامانه‌ها توانایی تشخیص عیوب خطرناک را پیش از وقوع خرابی در دستگاه و یا ایجاد مصدومیت برای کاربر فراهم می‌آورند. در این پژوهش، روشی مؤثر و مطمئن مبتنی بر تحلیل ارتعاش، برای عیب‌یابی پمپ گریز از مرکز با استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال و طبقه بندی ارائه شد. طبقه بند ماشین بُردار پشتیبان برای مرحله‌ی تصمیم‌گیری به کار رفت. سیگنال‌های ارتعاشی توسط یک حسگر پیزوالکتریک ارتعاشی در وضعیت‌های مختلف پمپ اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های طیف ارتعاشی با استفاده از پارامترهای آماری توصیفی برای وضعیت‌های مختلف استخراج گردیدند. بالاترین میزان دقت تشخیص، ۹۶/۶۷ درصد بود که در حالت استفاده از تابع کرنل شعاعی با پهنای ۰/۱ به دست آمد.

واژگان کلیدی: پمپ سانتریفوژ، سیگنال ارتعاشی، عیب‌یابی، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه :

امروزه با پیشرفت فناوری، تجهیزات صنعتی روز به روز پیچیده‌تر می‌شوند که به موازات این پیچیدگی توجه بیشتری نیز می‌طلبند، چرا که شکست و از کار افتادگی آنها ممکن است هزینه‌های فراوانی در برداشته باشد. به همین دلیل قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و کاهش زمان از کار افتادگی و تعمیرات هر چه بیشتر تجهیزات دارای اهمیت فراوانی است. در همین راستا پایش وضعیت به عنوان یک روش کارآمد و موثر برای افزایش فاکتورهای اطمینان، سلامت و عملکرد بهینه ماشین‌ها به شدت مورد توجه قرار گرفته است. همچنین تحقیقات فراوانی نیز در زمینه پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین ها انجام پذیرفته و مقالات بسیاری نیز در این زمینه منتشر شده است. (Niu *et al*., 2007)

پایش وضعیت به معنای عیب‌یابی و نگهداری از تجهیزات بدون توقف در فعالیت‌های آنها است. (Ming Yang, 2010) به طور کلی این روش بر پایه‌ی داده‌برداری منظم از ویژگی-های دینامیکی تجهیزات و مقایسه آنها با حالت سالم خود استوار است. در پایش وضعیت کلاسیک عیب یابی معمولا بر اساس یکی از داده‌های ارتعاشات و یا صدا می‌باشد. (Qiang Miao, 2007). روش‌های بسیاری برای پایش وضعیت تک حسگری و بر اساس یک ویژگی مانند ارتعاشات (Niu *et al*., 2007; Wang *et al*, 2010) یا صدا (Bagheri et al., 2010) و با استفاده از یک طبقه بند مانند ماشین بردار پشتیبان (Yuan and Chu, 2007)، شبکه مصنوعی عصبی (Farokhzad *et al*., 2012) معرفی و اجرا شده‌اند. پمپ‌های گریز از مرکز به علت شکل ساده ساختمانی، نسبت پایین حجم به قدرت مصرفی و تنوع فراوان مورد مصرف، نسبت به سایر پمپ‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار هستند به طوری که بیش از ۸۰ درصد از تولید پمپ در دنیا به پمپ‌های گریز از مرکز اختصاص دارد. بنابراین عیب‌یابی آنها به جهت جلوگیری از شکست‌های بزرگتر و از کارافتادگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این اهمیت روزافزون توجه بسیاری از پژوهشگران را به پایش وضعیت پمپ‌های گریز از مرکز جلب کرده است. (Hancock and Zhang, 2006) مختاری کرچگانی و همکاران به پایش وضعیت دو پمپ گریز از مرکز که محور این پمپ‌ها مرتبا دچار شکست می‌شدند، پرداختند. آنها تحقیقات خود را بر روی جنس

[۱] - گروه مکانیک، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

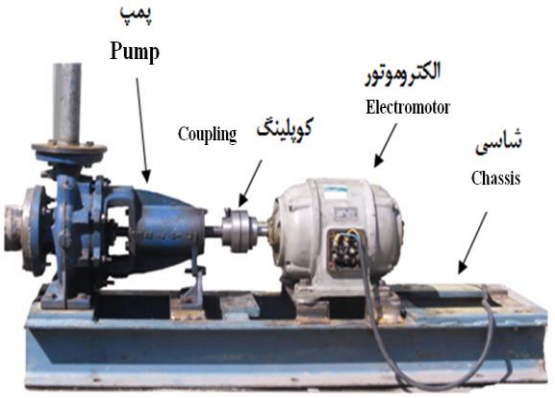
* نویسنده مسؤول: e.ebrahimi57@gmail.com

شافت و همچنین انجام آنالیز تنش، سختی سنجی و نیز بررسی لوله‌کشی و شیرها متمرکز کردند و با آنالیز ارتعاشی بصورت روزانه به دنبال وجود یک عامل اغتشاشی گشته و در نهایت وجود خرابی را در کنترل جریان خروجی مشترک بین دو پمپ شناسایی کردند. (Karchaagani *et al.*, 2008) عسکری و همکاران با استفاده از روش آنالیز ارتعاشی به عیب یابی و تشخیص پدیده کاویتاسیون در پمپ گریز از مرکز پرداختند. آن ها از روش تبدیل فوریه سریع استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که پدیده کاویتاسیون در نتیجه عیوب مکانیکی رخ نمی‌دهد و تحت تاثیر شرایط عملیاتی کاویتاسیون در پمپ بوجود می‌آید. (Askari *et al.*, 2007) آزاده و همکاران روشی مبتنی بر سامانه استنتاج فازی برای پیش‌بینی عیوب پمپ گریز از مرکز به منظور بهبود تعمیرات و نگهداری آن ارائه دادند. در این سامانه استنتاج فازی ورودی‌ها به شبکه فازی سرعت جریان، فشار تخلیه، ارتفاع مکش خاص مثبت مورد نیاز، قدرت ترمز، بهره‌وری و دما بود. هر یک از پارامترهای فوق دارای محدوده‌های استاندارد در شرایط کاری خود می‌باشند که خارج شدن از این محدوده‌ها دلایل خاص خود را دارا است. بر این اساس خروجی FIS دلایل تغییرات در محدوده‌های فوق می‌باشد. (Azadeh *et al.*, 2010)

مواد و روش‌ها

ساخت بستر آزمایش

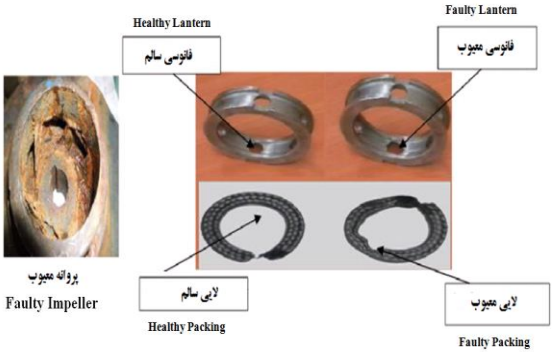
به منظور انجام آزمایش‌های مورد نظر در این تحقیق و برای نصب پمپ و موتور الکتریکی برای جمع آوری هر چه بهتر داده‌ها از حالت‌های مختلف عیوب، بستر آزمایش به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های داده برداری به صورت شکل ۱ ساخته شد. عیوب مورد بررسی در این تحقیق (شکل ۲) روی پروانه پمپ و سامانه آب‌بندی اعمال شدند. وضعیت‌های پمپ عبارت بودند از: سالم، خرابی در سامانه آب‌بندی، خرابی در پروانه و کاویتاسیون. به طور کلی ارتعاشات در سه نقطه، یاتاقان خارجی، یاتاقان داخلی و پوسته پمپ در سه راستای محوری، افقی و عمودی اندازه‌گیری و ثبت گردید. حسگر به وسیله پروب مغناطیسی به بدنه چسبانده شد (شکل ۳). در این پژوهش داده‌های ارتعاشی به صورت وقفه‌ای اندازه گیری شد. بدین منظور ابتدا مسیری به کمک نرم افزار SpectraPro4 تعریف و به سامانه تحصیل داده‌ها یعنی دستگاه Easy_Viber منتقل شد. این دستگاه دارای یک شتاب سنج پیزوالکتریک و یک تاکومتر برای اندازه گیری دور و ثبت آن می‌باشد. سیگنال‌ها که در داخل دستگاه بودند به کمک نرم افزار SpectraPro4 به داخل کامپیوتر و از آنجا به نرم افزار Excel 2007 و سپس در نرم‌افزار $Matlab^{R2011b}$ بارگذاری شدند.



شکل ۱- بستر آزمایش

پردازش سیگنال

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است سیگنال‌های جمع آوری شده توسط حسگرها در مرحله اول، تماما در حوزه زمان هستند. قبل از تحلیل سیگنال‌ها به منظور پیش پردازش، نمونه‌ها به نرم افزار MATLAB وارد شدند و سپس بر روی هر کدام از نمونه‌ها که نماینده حالت‌های خاص پمپ بودند تبدیل موجک با موجک مادر دوبشی صورت پذیرفت.

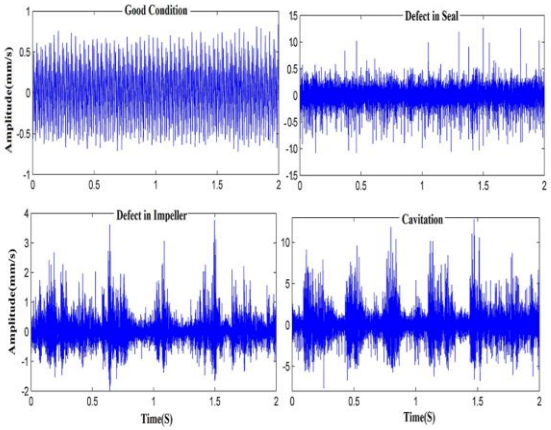


شکل ۲- راست. آب‌بند معیوب؛ چپ. پروانه معیوب

شکل ۳- محل قرار گیری حسگر

استخراج ویژگی طیف‌های ارتعاشی

استفاده از خروجی‌های تبدیل موجک به صورت مستقیم در سامانه‌های هوشمند امکان پذیر نیست. به همین دلیل بایستی با استفاده از توابعی، ویژگی‌های سیگنال اولیه محاسبه و استفاده گردند. لذا در این تحقیق از ویژگی‌های آماری استفاده شده در تحقیق فرخزاد و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد.



شکل ۴- سیگنال‌های ارتعاشی در حالت‌های مختلف پمپ

نتایج طبقه بندی با ماشین بُردار پشتیبان

در مجموع ۱۰۰ داده برای هر وضعیت از پمپ استحصال گردید. از این داده‌ها ۷۰ درصد برای آموزش ماشین‌بردار پشتیبان و ۳۰ درصد باقی مانده برای آزمایش آن به کار برده شد. انتخاب داده‌های آموزش و آزمون به صورت کاملا تصادفی انجام پذیرفت به طوری که آزمون ماشین بردار پشتیبان توسط داده‌هایی انجام شد که تاکنون طبقه‌بند این داده‌ها را ندیده بود. عملکرد ماشین‌بردار پشتیبان به عواملی از قبیل نوع تابع کرنل، پارامتر جریمه، پارامتر کرنل و درجه چند جمله‌ای بستگی دارد. در این تحقیق از روش طبقه‌بندی یک در مقابل یک برای طبقه-بندی حالت‌های مختلف پمپ استفاده شد. به منظور یافتن بهترین مدل برای طبقه‌بندی عیوب پمپ گریز از مرکز توسط ماشین‌بردار پشتیبان پارامترهای از قبیل پارامتر جریمه، تابع چند جمله‌ای (با درجات ۱ تا هر موقع دقت طبقه‌بندی شروع به کم شدن کرد)، تابع پایه شعاعی گوسی (با پهنای ۰/۱ تا ۱) لحاظ شد. در جدول ۱ نتایج طبقه‌بندی عیوب پمپ توسط ماشین‌بردار پشتیبان با تغییر پارامترهای مختلف ارائه شده است. با تغییر پارمتر جریمه، نوع تابع کرنل و درجه آن درصدهای مختلفی از دقت طبقه‌بندی به دست آمد. نتایج ارائه شده در جدول فوق نشان می‌دهد با کاهش مقدار ضریب جریمه (C) دقت طبقه‌بندی افزایش پیدا می‌کند به طوری که در بهترین حالت با تغییر C=10 به C=1 مقدار دقت ماشین‌بردار پشتیبان در طبقه‌بندی عیوب پمپ ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش درجه چند جمله‌ای دقت طبقه بندی افزایش یافت به‌طوری که بیشترین دقت برای چندجمله‌ای درجه شش به دست آمد. البته همواره این‌اتفاق رخ نمی‌دهد و امکان دارد که با درجات پایین عملکرد بهتری به دست آید. بیشترین دقت در طبقه‌بندی عیوب پمپ گریز از مرکز توسط ماشین بردار پشتیبان با استفاده از کرنل درجه شش با ضریب جریمه ۰/۱ ، ۶۶/۶۷ درصد به دست آمد.

در جدول ۲ نتایج طبقه‌بندی پمپ توسط ماشین‌بردار پشتیبان با تابع کرنل پایه شعاعی و با تغییر مقادیر ضریب جریمه و پهنای کرنل ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش پهنای کرنل از ۱ تا ۰/۱ میزان دقت ماشین بردار پشتیبان در تشخیص عیوب به طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند به طوری که بیشترین دقت طبقه بندی مربوط به پهنای کرنل ۰/۱ است. همانند حالت قبل با کاهش ضریب جریمه مقدار دقت طبقه بندی افزایش پیدا کرد. بیشترین دقت در طبقه بندی عیوب پمپ گریزازمرکز توسط ماشین بردار پشتیبان با استفاده از کرنل پایه شعاعی با ضریب جریمه ۱ و پهنای کرنل ۰/۱ ، ۹۶/۶۷ درصد به دست آمد.

جدول ۱- دقت طبقه بندی عیوب پمپ توسط ماشین بُردار پشتیبان با کرنل چندجمله‌ای (تجزیه توسط موجک Db3)

دقت طبقه بندی(درصد)

مقدار پارامتر جریمه / درجه‌ی کرنل چندجمله‌ای	C=10	C=5	C=1
۱	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۵۳/۳۳
۲	۵۰/۰۰	۵۳/۳۳	۵۶/۶۷
۳	۵۳/۳۳	۵۶/۶۷	۵۶/۶۷
۴	۵۳/۳۳	۶۰/۰۰	۶۰/۰۰
۵	۵۶/۶۷	۶۳/۳۳	۶۳/۳۳
۶	۵۶/۶۷	۵۳/۳۳	۶۶/۶۷
۷	۵۰/۰۰	۵۳/۳۳	۵۶/۶۷
۸	۵۰/۰۰	۵۳/۳۳	۵۶/۶۷

جدول ۲- میزان دقت تشخیص ماشین بُردار پشتیبان با کرنل پایه شعاعی (موجک مادر: Db3)

دقت طبقه بندی(درصد)

مقدار پارامتر جریمه / پهنای کرنل پایه شعاعی(Σ)	C=10	C=5	C=1
۰/۱	۹۳/۳۳	۹۳/۳۳	۹۶/۶۷
۰/۲	۹۰/۰۰	۹۳/۳۳	۹۳/۳۳
۰/۳	۹۰/۰۰	۹۳/۳۳	۹۳/۳۳
۰/۴	۹۰/۰۰	۹۳/۳۳	۹۳/۳۳
۰/۵	۸۶/۶۷	۸۶/۶۷	۹۰/۰۰
۰/۶	۸۳/۳۳	۸۶/۶۷	۹۰/۰۰
۰/۷	۸۳/۳۳	۸۶/۶۷	۸۶/۶۷
۰/۸	۷۶/۶۷	۸۳/۳۳	۸۶/۶۷
۰/۹	۷۶/۶۷	۷۶/۶۶	۸۶/۶۷
۱	۷۵/۱۳	۷۶/۳۳	۷۶/۶۷

نتیجه گیری

هدف از این تحقیق تشخیص عیوب پمپ گریز از مرکز با استفاده از ماشین‌بردار پشتیبان است. پارامترهای متغیر زیادی برای بالا بردن دقت طبقه‌بندی به کار گرفته شد که اثر هر کدام از آنها در زیر آورده شده است:

۱- با افزایش درجه کرنل چند جمله‌ای میزان دقت طبقه-بندی افزایش پیدا کرد البته همواره این اتفاق رخ نمی‌دهد و امکان دارد که با درجات پایین عملکرد بهتری به‌دست آید.

۲- کاهش پهنای کرنل شعاعی سبب افزایش دقت طبقه بندی عیوب پمپ گریزازمرکز شد.

۳- دلیل شباهت مابین سیگنال‌های خرابی پروانه و پدیده کاویتاسیون این است که در هر دو حالت عیب رخ داده در اطراف پروانه پمپ اتفاق می‌افتد.

۴- با کاهش مقدار ضریب جریمه دقت طبقه‌بندی افزایش پیدا می‌کند به طوری که در بهترین حالت با تغییر C=10 به C=1 مقدار دقت ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی عیوب پمپ ۱۰/۰۰ درصد افزایش پیدا کرد.

۵- بیشترین دقت در طبقه‌بندی عیوب پمپ گریزازمرکز توسط ماشین بردار پشتیبان با استفاده از کرنل پایه شعاعی با ضریب جریمه ۱ و پهنای کرنل ۰/۱ به دست آمد.

References

Askari, E. A., J. Allekasir, F. Mator, and A. Reza Zadeh, A. 2007. Troubleshooting and diagnosis of cavitation phenomena in the centrifugal pump using vibration analysis and strategy for elimination. Second Technical Conference and Troubleshooting Machinery Condition Monitoring, Sharif University, Tehran. 270-279.(in farsi)

Azadeh,A.,V.Ebrahimipour,and P.Bavar. 2010. A fuzzy inference system for pump failure diagnosis to improve maintenance process: The case of a petrochemical industry. Expert Systems with Applications 37: 627–639.

Bagheri, B., H. Ahmadi, and R. Labbafi. 2011. Implementing discrete wavelet transform and artificial neural networks for acoustic condition monitoring of gearbox. Elixir Mechanical Engineering 35: 2909-2911.

Farokhzad, S., H. Ahmadi, A. Jaefari, M. R. Asadi Asad Abad, and M. Ranjbar Kohan, 2012. Artificial neural network based classification of faults in centrifugal water pump.Vibroengineering 14(4): 1734-1744.

Hancock, K. M., and Q. Zhang. 2006. A hybrid approach to hydraulic vane pump condition monitoring and fault detection. American Society of Agricultural & Biological Engineers 49(4): 1203-1211.

Karchaagani, M. A., M. M. Mehdi pour, and M. Satari Manesh. 2008. Fault diagnosis the failure of the centrifugal pump shaft in the EO / EG Maroon Petrochemical. Third Conference of machinery condition monitoring and troubleshooting. Sharif University.Tehran 316-323 (in Farsi)

Ming Yang, V.M. 2010. ARX model-based gearbox fault detection and localization under varying load conditions. Sound and Vibration 329: 5209-5221.

Niu, G., T. Han, B. S. Yang, and C. C. T. Andy. 2007. Multi-agent decision fusion for motor fault diagnosis. Mechanical Systems and Signal Processing 21: 1285-1299.

Qiang Miao, V.M. 2007. Condition monitoring and classification of rotating machinery using wavelets and hidden Markov models. Mechanical Systems and Signal Processing 21: 840-855.

Wang, X., V. Makis, and M. Yang. 2010. A wavelet approach to fault diagnosis of a gearbox under varying load conditions. Sound and Vibration 329: 1570-158

Yuan, S., and F. Chu. 2007. Fault diagnosis based on support vector machines with parameter optimisation by artificial immunisation algorithm. Mechanical Systems and Signal Processing 21: 1318-1330.

مجله مهندسی زیست سامانه

Centrifuge Pump Troubleshooting using Vibration Signals and Classification of Defects by SVM

Ebrahim Ebrahimi*1

1- Department of Mechanics, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
*Coresponding author: e.ebrahimi57@gmail.com

Received: 09 May 2023
Accept:28 Jun 2023

Abstract

Industrial equipment condition monitoring systems are accepted as a useful strategy for identifying types of defects in industrial machines that require high precision in maintenance. These systems provide the ability to detect dangerous defects before the device malfunctions or causes injury to the user. In this research, an effective and reliable method based on vibration analysis was presented for centrifugal pump fault finding using signal processing and classification techniques. The classifier of the support vector machine was used for the decision-making stage. Vibration signals were measured by a piezoelectric vibration sensor in different pump conditions. The characteristics of the vibration spectrum were extracted using descriptive statistical parameters for different situations. The highest accuracy of diagnosis was 96.67%, which was obtained in the case of using the radial kernel function with a width of 0.1

Keywords: Centrifugal pump, vibration signal, troubleshooting, support vector machine