



## عیب‌یابی ارتعاشی پمپ آب گریزازمرکز با استفاده از سیستم استنتاج فازی

سعید فرخزاد<sup>۱\*</sup>، حجت احمدی<sup>۲</sup>، نعیم بختیاری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه رازی

ایمیل مکاتبه کننده: s.farokhzad@urmia.ac.ir

### چکیده

باتوجه به پیشرفت سریع تکنولوژی، نیاز به کاربرد روش‌های مختلف برای بالا نگهداشتن کیفیت محصول و سلامت خط تولید به شدت احساس می‌شود. بدینسان، پایش وضعیت به عنوان روشی کارآمد در صنایع به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور پیاده‌سازی سامانه‌ی پایش وضعیت، روش‌های گوناگونی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است که یکی از متداول‌ترین آن‌ها تحلیل امواج ارتعاشی در حوزه فرکانس است. این پژوهش روشی را برای پایش وضعیت پمپ گریز از مرکز بر پایه‌ی سامانه استنتاج فازی به همراه درخت‌های تصمیم ارائه می‌نماید. از الگوریتم J48 به عنوان ابزاری برای طراحی طبقه بند و انتخاب ویژگی‌های موثر در عیب‌یابی بهره گرفته شد. خروجی الگوریتم J48 یک درخت تصمیم است که برای تولید قوانین اگر-آنگاه و مجموعه‌ی توابع عضویت سامانه فازی بکار برده شد. درجه انطباق نهایی سامانه ۹۲٪ می‌باشد. نتایج بیانگر آن است که مدل ترکیبی J48\_FIS توانایی لازم برای عیب‌یابی پمپ گریزازمرکز را دارد.

واژه‌های کلیدی: پمپ گریزازمرکز، درخت تصمیم، سیستم استنتاج فازی، عیب‌یابی.

### مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی، تجهیزات صنعتی روز به روز پیچیده‌تر می‌شوند که به موازات این پیچیدگی توجه بیشتری نیز می‌طلبند، چرا که شکست و از کارافتادگی آنها ممکن است هزینه‌های فراوانی دربرداشته باشد. به همین دلیل قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و کاهش زمان از کارافتادگی و تعمیرات هرچه 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 ماشین‌آلات به شدت مورد توجه قرار گرفته است. همچنین تحقیقات فراوانی نیز در زمینه پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات انجام پذیرفته و مقالات بسیاری نیز در این زمینه منتشر شده است (نیو و همکاران، ۲۰۰۷) پایش وضعیت به معنای عیب‌یابی و نگهداری از تجهیزات بدون توقف در فعالیت‌های آنها است (مینگ یانگ، ۲۰۱۰) به طور کلی این روش بر پایه‌ی داده‌برداری منظم از ویژگی‌های دینامیکی تجهیزات و مقایسه‌ی آنها با حالت سالم خود استوار است. در پایش وضعیت کلاسیک

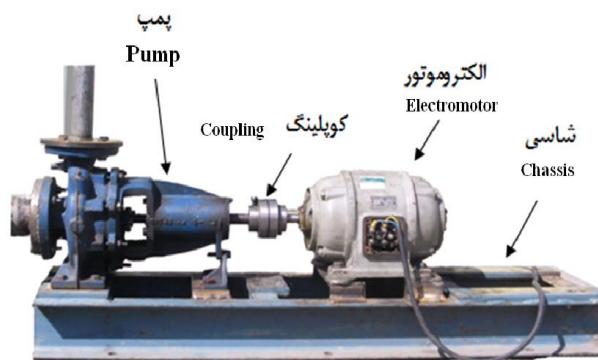


عیب‌یابی معمولاً بر اساس یکی از داده‌های ارتعاشات و یا صدا می‌باشد (کیانگ میو، ۲۰۰۷) روش‌های بسیاری برای پایش وضعیت تک سنسوری و بر اساس یک ویژگی مانند (نیو و همکاران، ۲۰۰۷) یا صدا (باقری و همکاران، ۲۰۱۱) و با استفاده از یک طبقه بند مانند ماشین بردار پشتیبان (یوان و چو، ۲۰۰۷)، شبکه مصنوعی عصبی (فرخزاد و همکاران، ۲۰۱۲)، منطق فازی (ملازاده و همکاران، ۲۰۰۸) 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. پمپ‌ها در واحدهای شیمیایی، پتروشیمی، نفت، گاز، کشاورزی و آبیاری به منزله قلب سیستم می‌باشند و از این رو در این صنایع از پمپ‌های گریز از مرکز با اندازه‌های متفاوت، بسیار استفاده می‌گردد. 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 (کونگ و چن، ۲۰۰۴؛ سوکی و چین، ۱۹۹۶؛ هانکونگ و ژانگ، ۲۰۰۶). مختاری کرچگانی و همکاران به پایش وضعیت دو پمپ گریز از مرکز که محور این پمپ‌ها مرتباً دچار شکست می‌شدند، پرداختند. آنها تحقیقات خود را بر روی جنس شافت و همچنین انجام آنالیز تنش، سختی سنجی و نیز بررسی لوله‌کشی و شیرها متمرکز کردند و هم چنین 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 (مختاری کرچگانی و همکاران، ۱۳۸۷). عسکری و همکاران با استفاده از روش آنالیز ارتعاشی به عیب‌یابی و تشخیص پدیده کاویتاسیون در پمپ گریز از مرکز پرداختند. آنها 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 (عسکری و همکاران، ۱۳۸۶). 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 (آزاده و همکاران، ۲۰۱۰).

## مواد و روش‌ها

### ساخت بستر آزمایش

به منظور انجام آزمایشات مورد نظر در این تحقیق و برای نصب پمپ و موتور الکتریکی برای جمع‌آوری هر چه بهتر داده‌ها از حالت‌های مختلف عیوب، بستر آزمایش به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های داده برداری به صورتی که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران ساخته شد. این بستر شامل بخش‌های اصلی الکتروموتور، کوپلینگ انعطاف پذیر، پمپ گریز از مرکز، شاسی و کنترل کننده دور (اینورتر) می‌باشد.



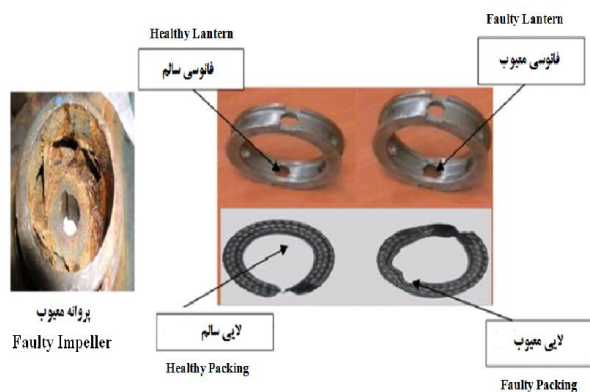
شکل ۱- بستر آزمایش

یک الکتروموتور سه فاز آلمانی شرکت زیمنس به عنوان منبع قدرت مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات این الکتروموتور در جدول ۱ آمده است. قدرت تولید شده در الکتروموتور به کوپلینگ انعطاف پذیری منتقل و از آنجا به محور پمپ می‌رفت. در طول زمان داده برداری، دور الکتروموتور توسط یک اینورتر مدل IG477 در سرعت ۱۴۵۰ دور در دقیقه ثابت نگه داشته شد.

جدول ۱- مشخصات الکترو موتور.

R39c- 2	نوع
3kW	توان
2845rpm	سرعت دورانی

عیوب مورد بررسی در این تحقیق (شکل ۲) روی پروانه پمپ و سیستم آب‌بندی اعمال شدند. ساییدگی سطحی پروانه، شکستگی پروانه، ساییدگی در فانوسی و خرابی لایه‌های سیستم آب‌بندی و پدیده کاویتاسیون در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱- راست. آب‌بند معیوب؛ چپ. پروانه معیوب.



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 وسیله‌ی پروب مغناطیسی به بدنه چسبانده شد (شکل ۳). در این پژوهش داده‌های ارتعاشی به صورت وقفه‌ای اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا مسیری به کمک نرم افزار SpectraPro4 تعریف و به سیستم تحصیل داده‌ها یعنی دستگاه Easy\_Viber منتقل شد. دستگاه Easy\_Viber ساخت شرکت VMI سوئد است. این دستگاه دارای یک شتاب سنج پیزوالکتریکو یک تاکومتر برای اندازه‌گیری 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 نرم افزار Matlab<sup>R2011b</sup> بارگذاری شدند. پنج حالت پمپ به عنوان متغیر به صورت زیر در نظر گرفته شد:

۱. پمپ در شرایط سالم
۲. پمپ در شرایط پروانه شکسته
۳. پمپ در شرایط پروانه ساییده
۴. پمپ در شرایط خرابی آب‌بند
۵. ایجاد پدیده کاویتاسیون در پمپ

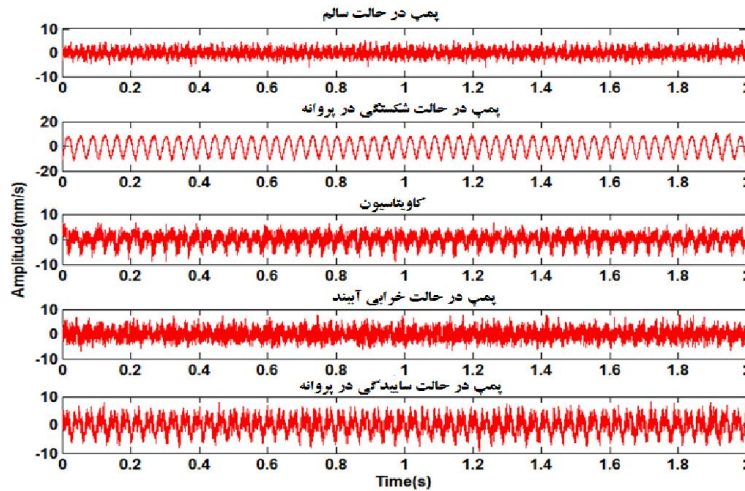
پس از هر بار تغییر حالت قطعه معیوب تعویض و قطعه سالم جایگزین آن شد.



شکل ۲- محل قرار گیری حسگر.

### پردازش سیگنال

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 فوریه سریع صورت پذیرفت. همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است سیگنال‌های جمع‌آوری شده توسط سنسورها در مرحله اول، تماما در حوزه‌ی زمان هستند.



شکل ۳- سیگنال‌های ارتعاشی در حالت‌های مختلف پمپ

اگرچه داده‌های ارتعاشی اطلاعات بسیار مهم و سودمندی از وضعیت ماشین را حمل می‌کنند، اما آنها تنها سیگنال عیوب را شامل نمی‌شوند بلکه نویزهای فراوانی نیز در آنها وجود دارد. وجود این نویزها در سیگنال‌های حوزه زمان تشخیص عیب به صورت مستقیم را با مشکلات جدی مواجه می‌کند. حل این مشکل نیازمند آن است که سیگنال‌ها از حوزه‌ی زمان به حوزه فرکانس یا زمان فرکانس انتقال یابند تا علاوه بر حذف نویز، بتوان اطلاعات سودمندتری نیز از آنها به دست آورد. روش‌های فراوانی برای پردازش سیگنال معرفی شده‌اند که از جمله‌ی آنها می‌توان به تبدیل سریع فوریه، تبدیل زمان کوتاه فوریه و غیره اشاره نمود. تبدیل فوریه وظیفه‌ی تبدیل سیگنال از حوزه زمان به بسامد را انجام می‌دهد. تبدیل فوریه، یک سیگنال را به مجموعه‌ای نامتناهی از تابع نمایی مختلط افراز می‌کند که هر کدام از آنها دارای فرکانس‌های مختلفی می‌باشند. طبق تعریف، تبدیل فوریه سیگنال  $x(t)$  به صورت زیر به دست می‌آید که در آن  $t$  زمان و  $f$  فرکانس است (تاندون و چودهری، ۱۹۹۹)

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

در عمل سیگنال زمانی ارتعاشات که به وسیله‌ی تجهیزات الکترونیکی ثبت شده‌است، برای پردازش به صورت گسسته نمونه برداری می‌شود. اگر سیگنال زمانی یک سیگنال گسسته باشد، تبدیل فوریه آن نیز گسسته خواهد بود و انتگرال تبدیل به یک سری خواهد شد. در این حالت تبدیل فوریه به شکل (۲) می‌باشد که  $k$  یک عدد صحیح،  $f_k = \frac{k}{T}$  بیانگر بسامد و  $N$  تعداد تقسیمات یک سیگنال است.

$$X(f_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) e^{-j2\pi \frac{k}{N} t_n} \quad (2)$$



تبدیل فوریه سریع کاربرد همان مفاهیم تبدیلی لافوریه معمولی را دارد، ولی برای کاربری در تجهیزات الکترونیکی به خصوص آنالایزرها دارای اهمیت فراوانی است. در این حالت، تعداد نمونه برداری‌ها به صورت توانی از دو به صورت  $2^N$  انتخاب شده و تبدیل فوریه، با الگوریتم خاصی محاسبه می‌گردد که حجم محاسبات را از  $n^2$  به  $5n \log_2 n$  کاهش می‌دهد ( $n=2N$ ). در نتیجه سرعت پردازش افزایش می‌یابد (حیدریگی، ۱۳۸۷).

### استخراج ویژگی طیف‌های ارتعاشی

استفاده از خروجی‌های تبدیل فوریه سریع به صورت مستقیم در سامانه‌های هوشمند امکان پذیر نیست. به همین دلیل بایستی با استفاده از توابعی، ویژگی‌های سیگنال اولیه محاسبه و استفاده گردند. ویژگی‌های آماری و بعضی توابع مورد استفاده در پایش وضعیت که به منظور استخراج ویژگی‌ها استفاده شدند عبارتند از: میانگین  $F^1$ ، انحراف معیار  $F^2$ ، مربع میانگین خطا  $F^3$ ، چولگی  $F^4$ ، واریانس  $F^5$ ، کورتوسیس  $F^6$ ، مومنتوم چهارم  $F^7$  و پنجم  $F^8$  و ششم  $F^9$ ، ضریب شکل  $F^{10}$ ، مقدار دامنه قله سیگنال  $F^{11}$ ، ضریب پراکندگی  $F^{12}$ ، حاصل تقسیم ممان مرکزی سوم بر مکعب میانگین  $F^{13}$ ، حاصل تقسیم ممان مرکزی چهارم بر توان چهارم میانگین  $F^{14}$ ، حاصل تقسیم مقدار دامنه قله سیگنال بر مربع میانگین جذر مقدار سیگنال  $F^{15}$ ، حاصل تقسیم جذر میانگین مربعات بر میانگین مقدار سیگنال  $F^{16}$ ، میانگین هندسی  $F^{17}$ ، ضریب تیزی  $F^{18}$ ، میانگین هارمونیک  $F^{19}$  و لغزش  $F^{20}$ .

### سامانه هوشمند تشخیص عیب

#### درخت تصمیم

درخت‌های تصمیم به عنوان بخشی از سیستم‌های داده کاوی، ابزار قدرتمندی برای طبقه بندی محسوب می‌شوند. در تحقیق حاضر به منظور طبقه بندی عیوب پمپ گریزازمرکز با به کارگیری ویژگی‌های مستخرج از طیف‌های ارتعاشی ناشی از عیوب، از نرم افزار Weka و الگوریتم J48 استفاده شد. نرم افزار Weka مجموعه‌ای از الگوریتم‌های ماشین یادگیری و ابزارهای پیش‌پردازنده است. این نرم افزار تمامی جنبه‌های کامل داده کاوی (آماده سازی داده‌های ورودی، ارزیابی آماری یادگیری و نموداری نمودن داده‌های ورودی و نتایج خروجی) را شامل می‌شود (ملازاده، ۱۳۸۸). به منظور کلاس بندی عیوب به هر یک از حالت‌های مختلف پمپ یک برچسب اختصاص داده شد (جدول ۲). از هرکدام از حالت‌های پمپ، ۵۰ طیف تحصیل گردید که به صورت کاملاً تصادفی ۷۰٪ از هرکدام از ویژگی‌ها برای آموزش و استخراج طبقه بند و ۳۰٪ مابقی برای سنجش نهایی مدل فازی به کار گرفته شد.

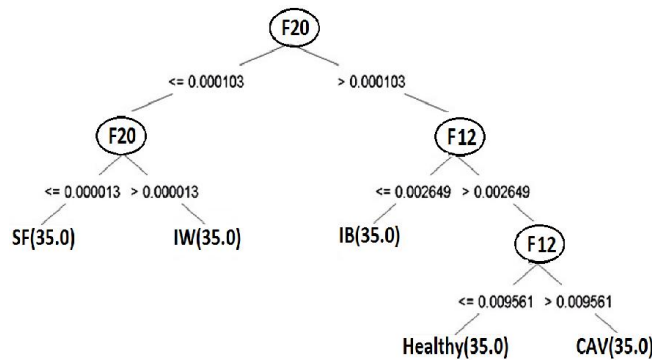
جدول ۲- برچسب‌های به کار برده شده برای طبقه بندی عیوب

شماره	وضعیت پمپ	برچسب طبقه بندی
۱	پمپ در شرایط سالم	Healthy
۲	شکستگی در پروانه	IB
۳	سایش در سطح پروانه	IW



SF	خرابی آب‌بند	۴
CAV	کاویتاسیون	۵

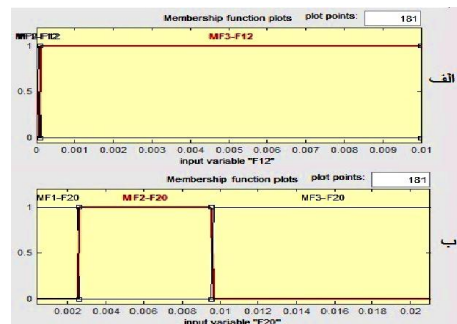
همانطور که قبلاً اشاره شد، شکل ۵ درخت تصمیم خروجی الگوریتم J48 برای حالت‌های تبدیل فوریه سریع را نشان می‌دهد. ردیابی یک شاخه از گرهی اصلی تا برگ به یک وضعیت پمپ منتهی می‌شود و رمزگشایی اطلاعات موجود در هر شاخه‌ی درخت به صورت جملات اگر-آنگاه فازی، قوانین لازم برای طبقه بندی فازی عیوب پمپ را فراهم می‌آورد. بدیهی است که در هر کدام از درخت‌ها، بالاترین گره، بهترین گره برای طبقه بندی است. سایر ویژگی‌ها در گره‌های درخت تصمیم به ترتیب نزولی اهمیت قرار می‌گیرند.



شکل ۴- درخت تصمیم.

### توابع عضویت

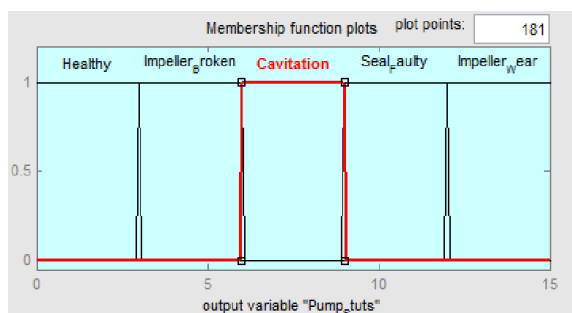
با توجه به اینکه هر شاخه از درخت تصمیم نشان دهنده‌ی یک وضعیت پمپ می‌باشد، لذا با توجه به ویژگی‌های آماری حالت‌های خاص تحلیل سیگنال، توابع عضویت برای آن ویژگی‌های مذکور در نرم افزار Matlab<sup>R2011b</sup> به صورت زیر مشخص گردیدند. برای هر تابع عضویت یک مقدار آستانه عددی وجود دارد که برای مقادیر کوچک‌تر از مقدار آستانه، تابع عضویت مقدار عددی صفر را تولید می‌نماید و برای مقادیر بزرگ‌تر از آن تابع عضویت مقدار عددی یک را تولید می‌نماید. تابع عضویتی که چنین رفتاری دارد تابع عضویت ذوزنقه‌ای می‌باشد. در این پژوهش از تابع عضویت ذوزنقه‌ای برای ترسیم نمودن تمامی نقاط در فضای ورودی استفاده شد. شکل ۶ تابع عضویت ورودی ایجاد شده برای پمپ با توجه به درخت تصمیم را نشان می‌دهد.





شکل ۵- تابع عضویت برای ویژگی‌های  $F^{20}$  و  $F^{12}$

خروجی‌های طبقه بند فازی در واقع همان وضعیت‌های پمپ می‌باشد که به صورت Healthy، Impeller Broken، Cavitation، Seal Faulty و Impeller Wear برچسب گذاری شده‌اند. بنابراین پنج خروجی برای طبقه بند فازی وجود دارد و برای آن‌ها پنج تابع عضویت دوزنقه‌ای با محدوده‌ی مساوی در بازه ۰ تا ۱۵ ایجاد گردید. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است محدوده ۰-۳ برای وضعیت Healthy، محدوده ۳-۶ برای وضعیت Impeller Broken، محدوده ۶-۹ برای وضعیت Cavitation، محدوده ۹-۱۲ برای وضعیت Seal Faulty و محدوده ۱۲-۱۵ برای وضعیت Impeller Wear در نظر گرفته شد.



شکل ۶- توابع عضویت برای خروجی فازی

قوانین فازی

با استفاده از درخت تصمیم قوانین فازی به صورت عبارت اگر-آنگاه ایجاد گردید. در تمامی این قوانین تربیت قرارگیری این قوانین اهمیت ندارد و تمامی قوانین از درجه‌ی اهمیت یکسانی برخوردار می‌باشند. در زیر قوانین ایجاد شده آورده شده است:

If (F20 is MF1-F20) then (Pump\_Status is Seal\_Faulty) (1)

If (F20 is MF2-F20) then (Pump\_Status is Impeller\_Wear) (1)

If (F12 is MF1-F12) and (F20 is MF3-F20) then (Pump\_Status is Impeller\_Broken) (1)

If (F12 is MF2-F12) and (F20 is MF3-F20) then (Pump\_Status is Healthy) (1)

If (F12 is MF3-F12) and (F20 is MF3-F20) then (Pump\_Status is Cavitation) (1)

خروجی فازی

خروجی‌های سامانه ایجاد شده را می‌توان در ادیتور Rule Viewer مشاهده نمود. Rule Viewer ایجاد شده در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل هرکدام از ردیف‌ها متناظر با یکی از وضعیت‌های پمپ می‌باشد. هر کدام از ستون‌ها به ترتیب بیانگر توابع عضویت F12 و F20 می‌باشد. ستون‌سوم نیز متناظر با توابع عضویت ایجاد شده برای خروجی فازی می‌باشد. با





حرکت دادن لغزنده‌ای که روی بلوک‌های هر کدام از توابع عضویت ورودی قرار دارد، می‌توان خروجی‌های مختلفی به دست آورد. به کمک نمونه‌های ورودی برای F12 و F20 قوانین به صورت زیر آزمایش گردید. برای مقادیر ورودی F12 برابر با ۰/۰۰۵ و F20 برابر با ۰/۰۱۰۷ که با پنجمین قانون مطابقت دارد و خروجی متناسب با آن حالت Cavitation می‌باشد.



شکل ۷- Rule Viewer ایجاد شده برای نمونه از داده‌ها

### بررسی عملکرد سیستم

عملکرد سیستم به وسیله‌ی برخی پارامترهای آماری از قبیل حساسیت، اختصاصی بودن و درجه‌ی انطباق طبقه بندی کل محاسبه گردید.

### نتایج

در مرحله داده‌برداری داده‌های ارتعاشی به وسیله یک شتاب سنج پیزوالکتریک اندازه گیری شد. هریک از چهار کلاس مورد بررسی در این پژوهش دارای ۵۰ نمونه ارتعاشی بودند که در مجموع تعداد تمامی نمونه‌ها بالغ بر ۲۵۰ عدد گشت. داده‌های هرکلاس به دو بخش تقسیم شدند: ۳۵ نمونه به صورت تصادفی برای آموزش و ۱۵ نمونه نیز برای آزمایش عملکرد سامانه عیب یابی مورد استفاده قرار گرفت. ماتریس اغتشاش حاصل از آزمون مدل نهایی در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- ماتریس اغتشاش

IW	SF	CAV	IB	Healthy	برچسب طبقه بندی
0	1	0	0	14	Healthy
0	1	0	13	1	IB
0	0	15	0	0	CAV
0	13	0	2	0	SF
14	1	0	1	0	IW

مقادیر پارامترهای آماری برای ارزیابی نهایی سامانه با توجه به ماتریس اغتشاش در جدول ۴ نشان داده شده است.



نتایج کلی حاصل از این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

\* با مقایسه‌ی دامنه‌ی تغییرات در سیگنال‌های ارتعاشی حاصل از شرایط مختلف پمپ، تشخیص پمپ معیوب از پمپ سالم به وضوح قابل مشاهده است.

\* در مورد طبقه بندی عیوب پمپ، درخت‌های تصمیم به علت سادگی ساختار و ایجاد قوانین فازی و مقادیر آستانه‌ای توابع عضویت، باعث آسان و ساده نمودن ساخت سامانه استنتاج فازی با دقت بالا می‌گردد.

\* دقت طبقه بندی مدل نهایی فازی ارئه شده ۹۲٪ می‌باشد

جدول ۴- پارامترهای آماری ارزیابی سامانه.

برچسب طبقه بندی	حساسیت (%)	اختصاصی بودن (%)	درجه‌ی انطباق طبقه‌بندی کل (%)
Healthy	93.33	98.33	
IB	86.67	96.67	
CAV	100	100	92
SF	86.67	96.67	
IW	93.33	93.33	

### نتیجه گیری

هدف از این تحقیق، تشخیص چند نوع عیب پمپ آب گریز از مرکز به صورت هوشمند با دقت و سرعت است. داده‌های ارتعاشی از پمپ آب در حالت‌های سلامت و خرابی با استفاده از سنسور شتاب سنج پیزوالکتریک و سیستم تحصیل داده جمع شدند. ویژگی‌های آماری از حوزه فرکانس برای تعیین عیب‌های مختلف پمپ گریز از مرکز استخراج شدند. در این پژوهش روشی برای پایش وضعیت پمپ گریز از مرکز آب بر پایه‌ی سامانه استنتاج فازی (FIS) به همراه درخت‌های تصمیم ارائه گردید. از الگوریتم J48، که یکی از روش‌های ایجاد درخت تصمیم است، به عنوان ابزاری برای طراحی طبقه بندی و انتخاب ویژگی‌های موثر در عیب یابی بهره گرفته شد. نتایج ارزیابی مدل FIS با استفاده از داده آزمایشی بیانگر دقت طبقه بندی کلی ۹۲ درصد است. نتایج قابلیت کاربرد و موثر بودن این روش را در تشخیص عیب‌های پمپ نشان می‌دهد.

### منابع



۱. حیدریگی، ک. ۱۳۸۷. پایش وضعیت ارتعاشی گیربکس تراکتور مسی فرگوسن ۱۶۵ و طبقه بندی ویژگی‌های عیوب آن به کمک شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲. عسکری، ع. ا. آل کثیر، ج. مطور، ف. رضازاده، ا. ۱۳۸۶. عیب یابی و تشخیص پدیده کاویتاسیون در پمپ گریزازمرکز با استفاده از روش آنالیز ارتعاشی و ارائه راهکارهای رفع آن. دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین‌آلات. دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ص ۲۷۹-۲۷۰.

۳. مختاری کرچگانی، ا. محمد مهدی پور، م. ستاری منش، م. ۱۳۸۷. عیب یابی شکست شافت پمپ‌های سانتریفیوژ واحد EO/EG پتروشیمی مارون. سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین‌آلات، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ص ۳۲۳-۳۱۶.

۴. ملازاده، ک. ۱۳۸۸. پایش وضعیت ارتعاشی پمپ هیدرولیک فرمان تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ و طبقه بندی عیوب آن به کمک منطق فازی. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

5. Azadeh, A. Ebrahimipour, V. & Bavar P. 2010. A fuzzy inference system for pump failure diagnosis to improve maintenance process: The case of a petrochemical industry. Expert Systems with Applications. Vol 37, 627-639.
6. Bagheri, B. Ahmadi, H. & Labbafi, R. 2011. Implementing discrete wavelet transform and artificial neural networks for acoustic condition monitoring of gearbox. Elixir Mechanical Engineering. Vol 35, 2909-2911.
7. Farokhzad, S. Ahmadi, H. Jaefari, A. Asadi Asad Abad, M. R. & Ranjbar Kohan. M. 2012. Artificial neural network based classification of faults in centrifugal water pump. Vibroengineering, Vol 14(4), 1734-1744.
8. Hancock, K. M. & Zhang, Q. 2006. A hybrid approach to hydraulic vane pump condition monitoring and fault detection. American Society of Agricultural & Biological Engineers. Vol 49(4), 1203-1211.
9. Kong, F. & Chen, R. 2004. A combined method for triplex pump fault diagnosis based on wavelet transform, fuzzy logic and neuro-networks. Mechanical Systems & Signal Processing. Vol 18, 161-168.
10. Ming Yang, V. M. 2010. ARX model-based gearbox fault detection and localization under varying load conditions. Sound and Vibration. Vol 329, 5209-5221.
11. Mollazade, K. Ahmadi, H. Omid, M. & Alimardani, R. 2008. An intelligent combined method based on power spectral density, decision trees and fuzzy logic for hydraulic pumps fault diagnosis. World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol 44, 895-907.



12. Niu, G. Han, T. Yang, B. S. & Andy, C. C. T. 2007. Multi-agent decision fusion for motor fault diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol 21, 1285-1299.
13. Qiang Miao, V. M. 2007. Condition monitoring and classification of rotating machinery using wavelets and hidden Markov models. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol 21, 840-855.
14. Succi, G. P. & Chin, H. 1996. Helicopter hydraulic pump condition monitoring using neural net analysis of the vibration signature. *Aerospace Atlantic Conference*, Dayton, Paper No. 691307.
15. Tandon, N. & Choudhury, A. 1999. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. *Tribology International*. Vol 32, 469–480.
16. Yuan, S. & Chu, F. 2007. Fault diagnosis based on support vector machines with parameter optimisation by artificial immunisation algorithm. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol 21, 1318-1330.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Fault Diagnosis of Centrifugal Water Pump Based on Vibrational Signals Using by Fuzzy Inference System

### Abstract

The undeniable importance of maintenance and keeping product line up and running is improving during recent years. Non-destructive tests are one of the common techniques for condition monitoring industrial equipment which can prevent machineries from breakage and catastrophic faults. Vibration signals carry rich information about machinery health, therefore vibration based condition monitoring in the frequency domain are the most useful methods for fault classification in industries. This paper presents a fault diagnosis method based on fuzzy inference system (FIS) in combination with decision trees. The J48 algorithm which is one of the decision tree methods is used as a feature selection procedure to select pertinent features from data set. The output of J48 algorithm is decision tree that was employed to produce the crisp if-then rule and membership function sets. Results showed that the total classification accuracy for this model is 92%. The results indicated that the combined J48-FIS model has the potential for fault diagnosis of centrifugal water pumps.

**Keywords:** Centrifugal Water Pump, Decision Tree, Fault Diagnosis, Fuzzy Inference System.