



تشخیص خرابی دریچه در اثر عیوب مختلف با استفاده از روش انتشار صدا و شبکه‌های عصبی

سید محمد جعفری^۱، حمید مهدیقلی^۲، مهدی بهزاد^{۳*}

^۱دانشگاه صنعتی شریف و شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اییکو)، تهران، ایران، sm_jafari@ip-co.com

^۲دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، library@sharif.ir

^۳دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، m_behzad@sharif.edu

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۲۱-۶۶۱۶۵۵۰۰

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۰۹ اسفند ۱۳۹۱
پذیرش: ۰۳ اردیبهشت ۱۳۹۲
کلیدواژه‌ها:
دریچه معیوب
انتشار صدا
موتور احتراق داخلی
نشئی دریچه
شبکه عصبی مصنوعی

هدف از این مقاله، تشخیص خرابی دریچه در اثر عیوب مختلف با استفاده از روش انتشار صدا است. در این مقاله، سه عیب لقی، ترک خوردگی و لب‌پریدگی دریچه در موتور احتراق داخلی بررسی می‌شود. این عیوب در دریچه‌های مختلف دود و هوا در استوانه‌های مختلف بررسی خواهند شد. آزمون‌ها روی بستار موتوری چهار استوانه انجام می‌شوند. روش آزمایش‌ها به طور خلاصه بدین شرح است که کف بستار بسته می‌شود و هوای فشرده از راه شمع به داخل محفظه احتراق فرستاده می‌شود. علامت‌های انتشار صدا به سبب نشئی و خرابی دریچه، به توسط چهار حسگر انتشار صدا دریافت می‌شوند. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که روش انتشار صدا توانایی بسیار بزرگی در تشخیص حالت سالم و معیوب در هر دو حوزه زمان و بسامد دارد. در ادامه برای تشخیص عیوب از یک شبکه مصنوعی عصبی به عنوان سامانه خبره استفاده می‌شود. این شبکه می‌تواند بخوبی عیوب مختلف را تشخیص دهد و حتی در عیب‌های مشابه در دریچه‌های مختلف، بازده بزرگی دارد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

پایش وضعیت فرایندی است که در آن متغیرهای مختلف دستگاه دیده‌بانی می‌شوند؛ به طوری که هر تغییر عمده در هر یک از این متغیرها، نشانه پیشرفت عیب در دستگاه است. با این تعریف، برای شناسایی یک خرابی باید مقدار آن متغیر از مقدار مبنای خود منحرف شود [۱]. در این حالت، سامانه‌های هوشمند عیب‌یابی به محض دریافت علائم نقص دستگاه، به کاربر هشدار می‌دهند [۲]. در میان روش‌های مختلف عیب‌یابی و پایش وضعیت، روش انتشار صدا به عنوان یکی از روش‌های غیرمخرب شناخته می‌شود. بر اساس تحقیق نویسنده، کاربرد این روش در موتورهای احتراق داخلی محدود و جدید می‌باشد که در ادامه تاریخچه مختصری از کاربرد روش انتشار صدا در موتور ارائه می‌شود.

پنتوپیدان و سیگوردسان [۳]، پدیده سایش میان سمبه و استوانه را مطالعه کردند. هدف آنها ایجاد الگویی نظری، برای نشان دادن حالت کارکرد صحیح روغن و حالت خراب آن بود. القمری و همکاران [۴]، سعی کردند تا با روش انتشار صدا و تطابق آن با فشار داخل استوانه، روشی برای محاسبه غیر مستقیم فشار بیابند. جیانگ و همکاران [۵] موتور دیزلی را به وسیله روش انتشار صدا بر روی مسیر خروجی پایش کردند. آنها فاصله حسگرها و اثر تغییر احتراق را مطالعه نمودند و توانستند روشی برای کم کردن اثرات نوفه پس زمینه ارائه کنند. القمری و همکاران [۶]، در پژوهش خود روشی برای آسیب‌شناسی در دستگاه‌های رفت و برگشتی ارائه کردند. این روش ذاتاً کلی و عمومی است و به دستگاه خاص و یا شرایط ویژه‌ای بستگی ندارد به طوری که آنها از آن برای جمع‌آوری علامت‌های انتشار صدا^۲ در سه نوع دستگاه رفت و برگشتی مختلف، در حالت عادی و حالات مختلف ناسالم استفاده کردند.

دوگلاس و همکاران [۷]، رفتار سایشی بین حلقه و دیواره استوانه را در موتور دیزل از طریق انتشار صدا را بررسی نمودند. اساس بررسی بر این پایه است که در موتور احتراق داخلی پدیده‌های مختلفی روی می‌دهند و هر یک از پدیده‌ها، مشخصه‌های مجزایی دارند. آنها در تحقیق دیگری [۸]، تخمین توان موتور از طریق روش انتشار صدا در دو موتور دیزل بزرگ را نیز مطالعه نمودند. در یک مطالعه تحقیقاتی، استیل و همکاران [۹]، مقاله‌ای تحقیقاتی در مورد کارهای انجام شده تا سال ۲۰۰۴ در زمینه کاربرد روش انتشار صدا در موتورهای احتراق داخلی انتشار دادند. آنها زمینه‌های مختلف کاربرد روش انتشار صدا را که می‌تواند در موتور به کار رود، بازگو کردند.

مطالعه عیوب دریچه از طریق روش انتشار صدا به وسیله نشتی عبوری از آنها تحقیقی جدید است که در این مقاله مطالعه می‌شود. در این تحقیق در آزمونی پایا سه نوع عیب اصلی دریچه در شرایط

مختلف روی بستر مطالعه شده است. در ادامه این تحقیق، آزمونهایی با موتور روشن و کامل در حال اجرا است که نتایج آن در مقالات آتی انتشار خواهد یافت. به منظور آشنایی با روش انتشار صدا، ابتدا این روش توضیح داده می‌شود و سپس سازوکار عملکرد دریچه‌ها و عیب‌های رایج در آن معرفی خواهند شد.

انتشار صدا به تولید امواج الاستیکی گذرا در مدت زمان آزاد شدن انرژی از یک منبع موجود در ماده، اشاره می‌کند. منبع این انتشار موج در فلزات تا حد زیادی به حرکت نابه‌جایی‌ها در اثر تغییر شکل‌های دائمی و یا به آغاز و گسترش رشد ترک در سازه تحت تنش وابسته است. عموماً دامنه بسامدهای کاربردی روش انتشار صدا فراصوتی است و در محدوده ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز قرار دارد [۱۰].

۲) سازوکار عملکرد دریچه‌ها و عیب‌های رایج

سازوکار دریچه‌ها، شامل قطعات مختلفی است که انرژی خود را از حرکت میل‌لنگ تأمین می‌کنند. دریچه‌ها به توسط قطعات میانی مختلفی مانند میل بادامک، اسبک، میله رابط، زنجیر، تسمه، یاتاقان غلتشی، یاتاقان لغزشی، فنر و لقی‌گیر با یکدیگر در تماس اند.

در این سازوکار عیب‌های مختلفی به وجود می‌آید که نهایتاً منجر به خرابی و نشتی دریچه می‌شود. در این میان، بیشترین آمار خرابی راجع به خرابی خود دریچه‌ها می‌باشد [۱۱]. عیوب رایج در دریچه‌ها به طور مختصر عبارتند از: فنجان شدن دریچه، خرابی دریچه در اثر لقی بسیار کم، سوختن دریچه به دلیل پیش احتراقی، ساییده شدن دریچه بر اثر عبور جریان سیال، ترک برداشتن قسمت قارچی شکل دریچه، تاب دار شدن ساق دریچه، حفره‌دار شدن سطح دریچه، اعوجاج نشیمنگاه دریچه، نشست رسوبات احتراق روی دریچه، شکستن و جدا شدن تکه‌ای از دریچه [۱۲]. از میان عیوب مختلف دریچه، سه عیب به عنوان نمونه انتخاب شدند تا در آزمایش‌های این مقاله بررسی شوند:

- لقی غیرمجاز دریچه: این عیب بر اثر ایجاد برخواستگی عمدی در دریچه ایجاد شد.
- شبه ترک در لبه دریچه: این عیب با شکاف بسیار نازک در لبه دریچه ایجاد شد.
- لب‌پریدگی دریچه: این عیب با برداشتن مقداری از لبه تماس دریچه با نشیمنگاه شبیه‌سازی شد.

۳) میز آزمون و روش آزمون

میز آزمون شامل یک بستر موتور چهار استوانه است که کف آن کاملاً به توسط یک صفحه صلب بسته شده است. از طریق محل شمع، هوای فشرده وارد محفظه احتراق می‌شود. با توجه به مسدود بودن فضای محفظه احتراق، تنها راه عبور هوا از محفظه از دریچه معیوب است. هر دریچه معیوب در استوانه خود قرار داده شد و در هر

¹ Background noise

² Acoustic emission signals

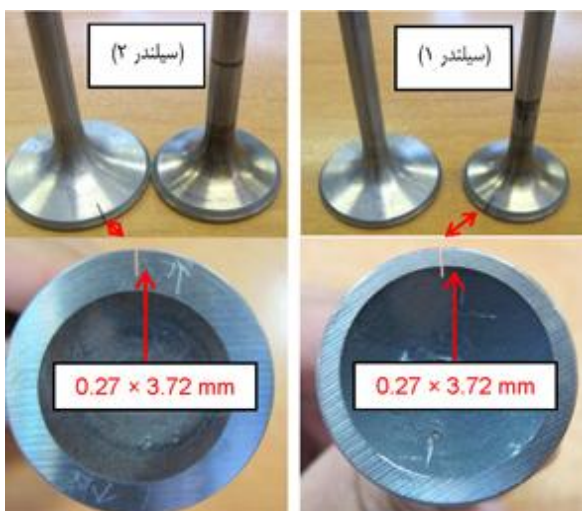
علامت‌ها به توسط پیش‌تقویت‌کننده‌ها تقویت شده و به توسط سامانه داده برداری شرکت پاک^۳ ذخیره شدند. داده‌های خام با نرخ داده برداری ۲ میلیون نمونه در ثانیه، برای هر حسگر ذخیره شد. محل حسگرها در هر استوانه، نزدیک محل شمع انتخاب شد. این محل علاوه بر این که برای نصب حسگر ساده و مناسب است، کمترین فاصله را با هر استوانه دارد.

۵ روش آزمون

هر دریچه معیوب در استوانه جداگانه‌ای قرار داده می‌شود:

- در استوانه ۱، دریچه دود ترکدار.
- در استوانه ۲، دریچه هوای ترکدار.
- در استوانه ۳، دریچه دود لب‌پر شده.
- در استوانه ۴، دریچه‌های سالم قرار داده شد. عیب لقی با ایجاد برخاستگی عمدی در هر یک از دریچه‌ها ایجاد شد. برخاستگی ایجاد شده برابر با ۰٫۱ میلی‌متر بود.

آزمون‌ها برای انواع دریچه‌های معیوب روی تمام استوانه‌ها به طور همزمان انجام نشدند. یکبار تمام دریچه‌های معیوب در استوانه‌های خود قرار داده شدند ولی هر بار تنها یک استوانه (یک عیب) مورد آزمون قرار گرفت. در مورد انتخاب عیوب و محل آنها توجه شود که نوع عیب‌ها بر اساس تحلیل بیشترین خرابی^۴ دریچه‌ها انتخاب شده‌اند [۱۱-۱۲]، به عنوان مثال سایش دریچه دود بیشتر از دریچه هوا است و عموماً عیوب در دریچه دود بیشتر از دریچه هوا به وجود می‌آیند. لذا دو عیب ترک و لب‌پریدگی روی دریچه دود ایجاد شد. در مورد انتخاب محل آنها اطلاعات آماری دقیقی در مراجع موجود نبوده و محل هر عیب بصورت اتفاقی انتخاب شده است. شکل‌های ۲-۴ راجع به دریچه‌های مختلف در این آزمون‌اند.

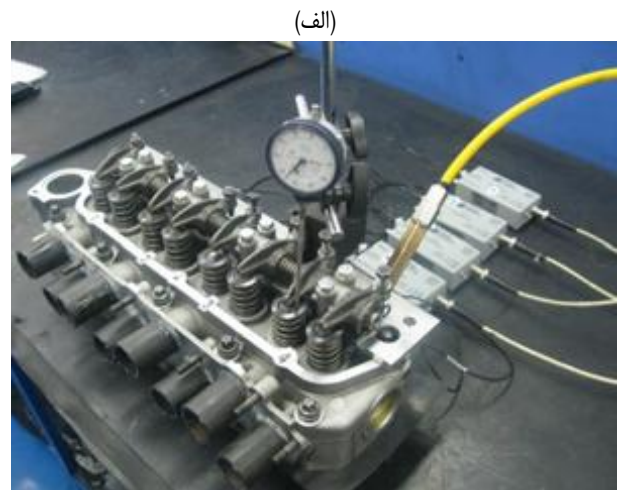


شکل ۲: عیب شبه ترک، استوانه ۱ دریچه دود و استوانه ۲ دریچه هوا

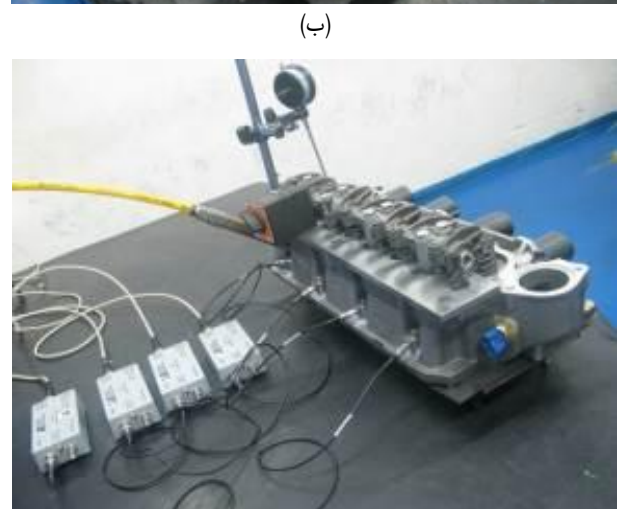
مرحله تنها یک استوانه تحت آزمون بود. در این حالت علامت‌های انتشار صدا در اثر عبور جریان نشتی از دریچه معیوب ذخیره می‌شوند. شکل ۱ میز آزمون را نشان می‌دهد.

۴ تجهیزات آزمون

تجهیزات انتشار صدا شامل چهار حسگر از نوع حسگرهای پهنای نوار (باند) وسیع^۱ هستند. بسامد کاری این حسگرها بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز و قله بسامد آنها بین ۴۲۰ تا ۵۲۰ کیلوهرتز است. حسگرها به توسط لایه نازکی از گریس آببندی^۲ روی سطح بستار متصل شدند. اگرچه آزمون‌ها در شرایط محیط ۲۵ درجه سانتیگراد انجام شد اما گریس واسط، این قابلیت را دارد که تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد همچنان حالت چسبندگی خود را حفظ کند. شکل ۱-ب محل قرارگیری و نصب حسگرها را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۱: میز آزمون در عیب‌یابی دریچه با روش انتشار صدا

³ PAC (Physical Acoustic Cooperation)

⁴ Potential failure mode analysis

¹ Wide band sensor (WSA)

² Vacuum grease

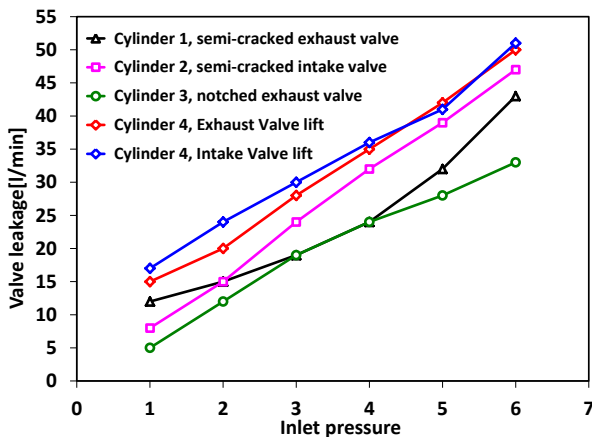
شکل امواج انتشار صدا در حوزه زمان در اثر نشتی دریچه‌های معیوب در فشار ۶ بار نشان می‌دهند. داده‌های هر شکل راجع به داده‌های نزدیکترین حسگر به آن دریچه مورد مطالعه بوده است. برای مقایسه حالت‌های معیوب با حالت سالم (بدون نشتی) داده‌های حالت سالم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. توضیح داده می‌شود که منظور از حالت سالم دریچه همان دریچه‌های سالم استوانه ۴ در حالت بدون برخاستگی است. زیرا در این حالت دریچه‌ها آب بند بوده و میزان نشتی تقریباً صفر است. نرخ داده برداری در این آزمون ۲ میلیون داده در ثانیه بوده است. همچنین مدت داده برداری در این آزمون ۰,۲ ثانیه در هر شکل موج می‌باشد.



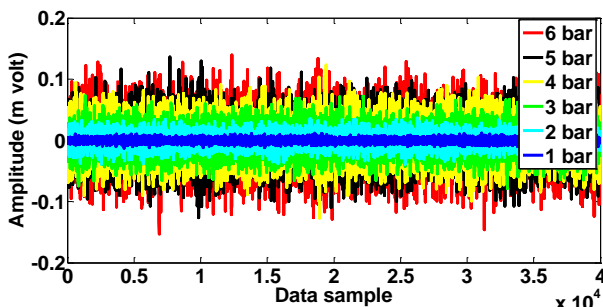
شکل ۳: عیب لب پریدگی دریچه دود در استوانه ۳



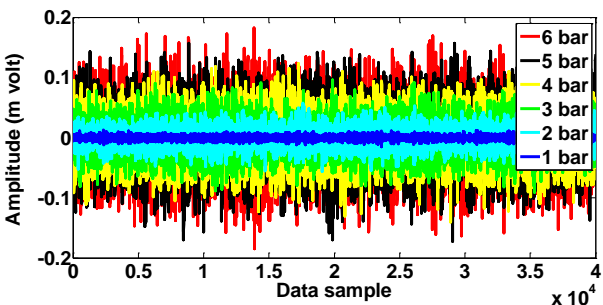
شکل ۴: عیب لقی غیر مجاز در دریچه‌های سالم استوانه ۴



شکل ۵: شار نشتی دریچه‌های معیوب در فشارهای مختلف



شکل ۶: شکل موج انتشار صدا به سبب نشتی از دریچه دود استوانه ۱ دارای عیب شبه ترک



شکل ۷: شکل موج انتشار صدا به سبب نشتی از دریچه هوا استوانه ۲ دارای عیب شبه ترک

با توجه به توضیحات قبلی، ۶ نوع حالت مختلف قابل بررسی است: حالت اول: بررسی حالت سالم و بدون نشتی. این بررسی زمانی قابل اجرا است که در استوانه ۴ دریچه‌ها کاملاً بسته باشند (یادآوری: دریچه‌های استوانه ۴ اگر برخاستگی نداشته باشند، نشتی ندارند). حالت دوم و سوم: بررسی عیب شبه ترک در دریچه دود استوانه ۱ و دریچه هوا استوانه ۲.

حالت چهارم: بررسی عیب لب پریدگی دریچه دود در استوانه شماره ۳. حالت‌های پنجم و ششم لقی در اثر برخاستگی اجباری در دریچه‌های دود و هوا در استوانه ۴.

۶ نتایج و بررسی‌ها

در این قسمت بررسی‌های مختلف زمان و بسامد داده‌های انتشار صدا ارائه می‌شوند.

۶-۱) شار نشتی دریچه‌ها

شکل ۵ شار نشتی دریچه‌های معیوب را در فشارهای مختلف هوای ورودی نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، با افزایش فشار هوای ورودی، شار نشتی دریچه در تمام حالات خرابی افزایش داشته است. همچنین مشاهده می‌شود، در برخی عیوب مانند شبه ترک و لب پریدگی در دریچه دود، رفتار نشتی دریچه خطی نبوده است. در دریچه هوا، نشتی در عیب شبه ترک تقریباً رفتار خطی داشته است.

۶-۲) تحلیل زمانی داده‌های انتشار صدا

در نخستین گام، در هر تحلیلی لازم است تا وضعیت شکل موج در حوزه زمان بررسی شود. در این بررسی نوع علامت، وضعیت متناوب بودن داده‌ها و دامنه کلی نوسانات مشخص می‌شود. شکل‌های ۶ تا ۹

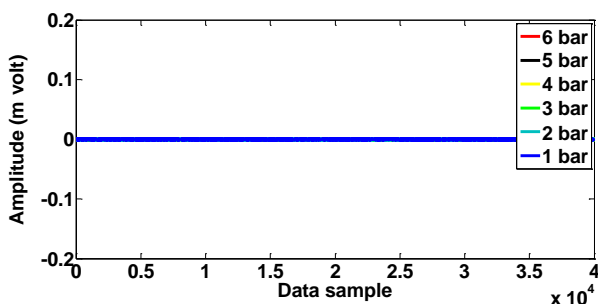
کمی دارد. در شکل ۱۰ نیز علامت انتشار صدا در حالت بدون نشتی برای دریچه‌های سالم نشان داده شده است. این علامت راجع به وجود هوای فشرده در داخل محفظه احتراق به اضافه نوبه پس زمینه در شرایط محیط آزمایش است.

۳-۶) تحلیل بسامد داده‌های انتشار صدا

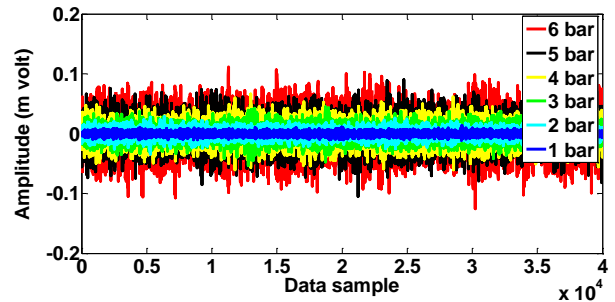
در تحلیل بسامد، بسامدهای موجود در داده‌ها و سهم هر بسامد مشخص می‌شود. شکل‌های ۱۱-۱۴، چگالی طیف توانی علامت‌های انتشار صدا مطابق با شکل‌های ۶-۹ را نشان می‌دهند. نخستین برداشت از مشاهده شکل‌های چگالی طیف توانی علامت‌های انتشار صدا نشان می‌دهد که با افزایش فشار، مقدار بیشینه در تحلیل بسامد هر شکل نیز افزایش می‌یابد. همچنین این افزایش مطابق با افزایش شار عبور (شکل ۵) است.

با بررسی مجدد شکل‌های راجع به عیوب شبه ترک و لب پریدگی دریچه (شکل‌های ۱۱ تا ۱۳) مشخص می‌شود طیف بسامدهای این دو عیب بسیار شبیه یکدیگرند. این شباهت در شکل موج این دو عیب (شکل‌های ۶ تا ۹) نیز مشاهده شد. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش فشار، بسامدهای بیشینه طیف تغییر جابه‌جا نشده‌اند و بسامد جدیدی به وجود نیامده است. در طول افزایش فشار تنها مقدار انرژی بسامدهای اولیه، با نسبت تقریباً یکنواختی افزایش یافته است.

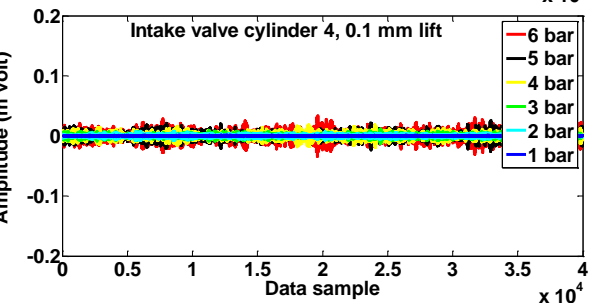
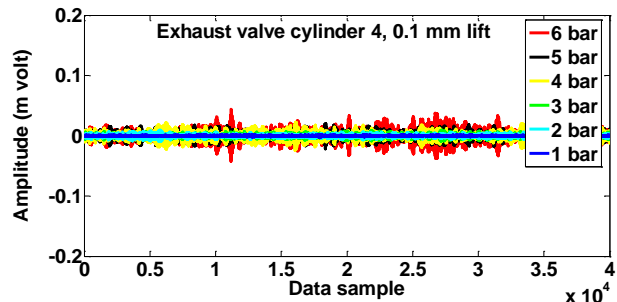
طیف بسامدی در عیب لقی شکل ۱۴ تفاوت زیادی با دو عیب قبل دارد. در عیب لقی محدوده بیشینه بسامد در ناحیه کمتر از ۲۰۰ کیلوهرتز بیشتر دیده می‌شوند. بسامدهای بزرگتر تقریباً در مقایسه با بسامدهای کمتر از ۲۰۰ کیلوهرتز عدد بزرگی نیستند. این موضوع در حالی است که در دو عیب شبه ترک و لب پریدگی دریچه بیشینه بسامد در بسامدهای بزرگتر از ۲۰۰ کیلوهرتز نیز وجود دارند. حتی این بسامدهای بزرگ با افزایش فشار و شار نشتی، روند افزایشی دارند. در حالی که در عیب لقی، بسامدهای بزرگتر از ۲۰۰ کیلوهرتز با افزایش فشار، روند تقریباً ثابتی دارند. شکل ۱۵ نتایج تحلیل بسامدی داده‌های دریچه سالم در حالت بدون نشتی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود مقدار نسبت "توان به بسامد" برای حالت دریچه سالم، در مقایسه با دریچه‌های معیوب بسیار کم و تقریباً بدون تغییر است.



شکل ۱۰: شکل موج انتشار صدا در حالت سالم و بدون نشتی دریچه‌های استوانه ۴



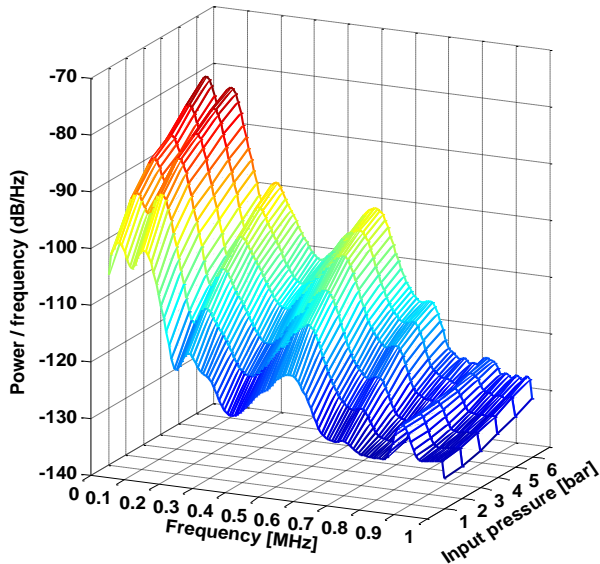
شکل ۸: شکل موج انتشار صدا به سبب نشتی از دریچه دود استوانه ۳ دارای عیب لب پریدگی



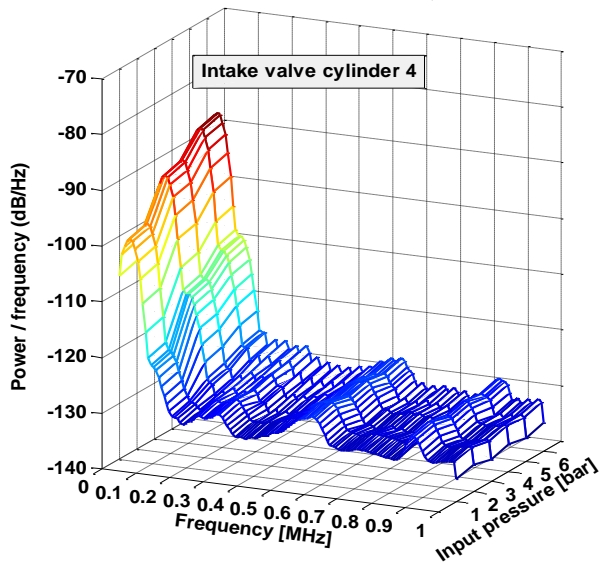
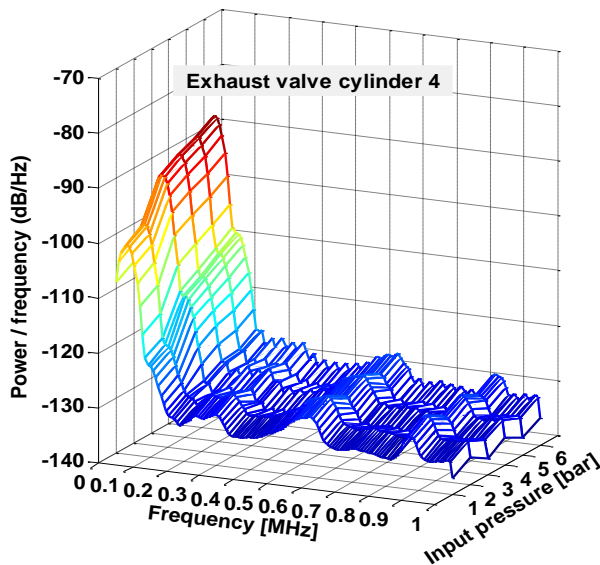
شکل ۹: شکل موج انتشار صدا به سبب نشتی از دریچه‌های استوانه ۴ دارای عیب لقی ۰,۱ میلی‌متر

توجه شود که محدوده پاسخ بسامد حسگرهای استفاده شده بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز است. لذا ضعیف‌ترین بسامد در داده‌ها ۱۰۰ کیلوهرتز معادل ۱۰ میکرو ثانیه است. همان گونه که اشاره شد مدت داده برداری در این آزمون ۲۰۰۰۰ میکروثانیه بوده است. لذا مدت داده برداری به اندازه کافی مناسب بوده است.

در تمام موارد یادشده، مشاهده می‌شود شکل موج انتشار صدا در نشتی دریچه جزء امواج پیوسته در روش انتشار صدا است. همچنین می‌توان مشاهده کرد با افزایش فشار، مقدار دامنه علامت انتشار صدا نیز افزایش می‌یابد. با دقت بیشتر در شکل موج دریچه‌های شبه ترک دار و لب پر شده (شکل‌های ۶ تا ۹)، مشاهده می‌شود شکل موج این دو عیب بسیار شبیه یکدیگرند و تقریباً از لحاظ دامنه علامت نیز برابرند. بنابراین تشخیص و جداسازی این دو نوع عیب بسادگی و یا از روی شکل موج آنها بسیار سخت و یا نشدنی است. در ادامه، با توجه به شکل ۹ درمی‌یابیم که علامت‌های انتشار صدا به سبب نشتی در دریچه‌های دود و هوا دارای لقی، بسیار شبیه یکدیگرند. در مقابل علامت عیب لقی با دو عیب دیگر (شبه ترک و لب پر) تفاوت ظاهری

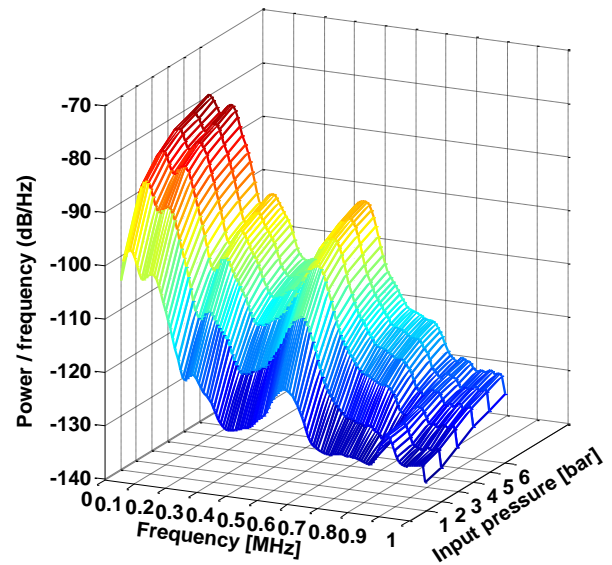


شکل ۱۳: چگالی طیف توان علامت انتشار صدا در حالت دریچه دود استوانه ۳ دارای عیب لب پریدیگی

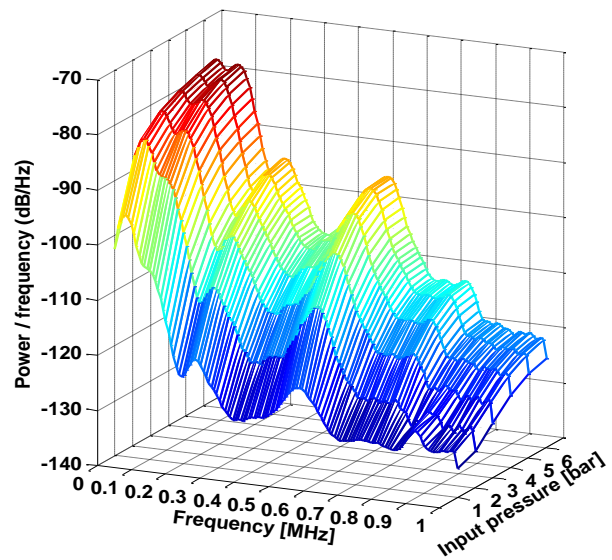


شکل ۱۴: چگالی طیف توان، عیب لقی در استوانه ۴، ۰٫۱ بر خاستگی

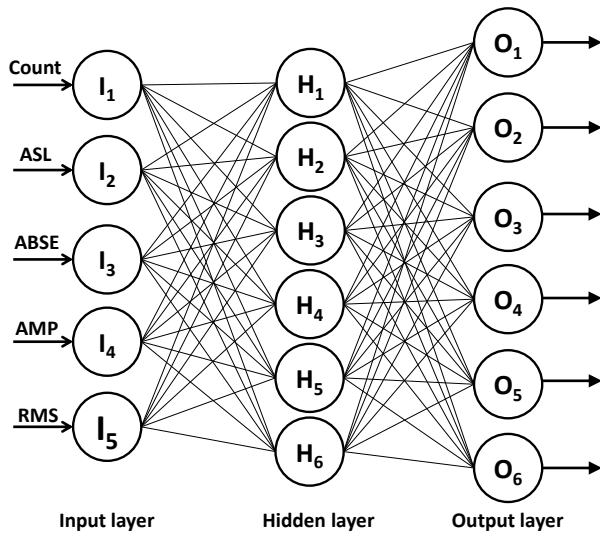
با توجه به شکل‌های قبلی، مشخص است که با روش انتشار صدا می‌توان بخوبی حالت سالم را از حالت معیوب دریچه تشخیص داد. در مقابل همان‌گونه که توضیح داده شد، تشخیص بین حالت‌های مختلف خرابی یعنی بین حالت شبه ترک، لب پر و لقی دریچه تفاوت تنها از روی تحلیل زمان و بسامد، بسیار مشکل است. چنانچه بخواهیم در یک عیب یکسان (مثلاً لقی) بین نوع دریچه که دود است یا هوا، نیز تفاوت ایجاد کنیم، مسأله دشوارتر خواهد شد. بنابراین برای جداسازی دقیق‌تر بین انواع خرابی‌ها و انواع دریچه‌ها لازم است تا روشی هوشمندانه و خودکار برای تفکیک داده‌ها بکار گرفته شود.



شکل ۱۱: چگالی طیف توان علامت انتشار صدا در حالت دریچه دود استوانه ۱ دارای عیب شبه ترک



شکل ۱۲: چگالی طیف توان علامت انتشار صدا در حالت دریچه هوا استوانه ۲ دارای عیب شبه ترک



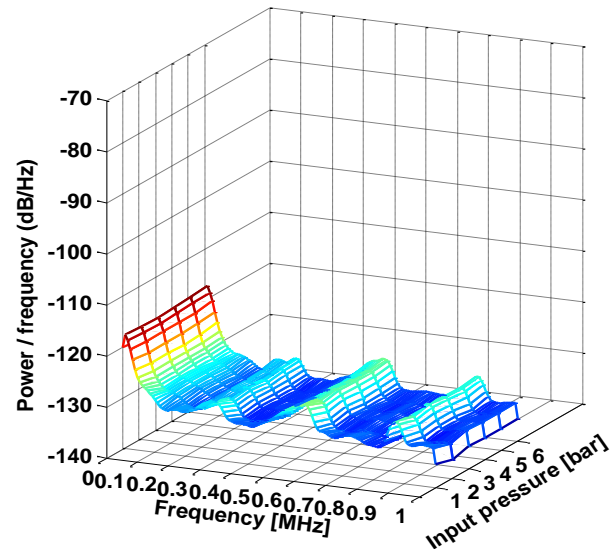
شکل ۱۶: الگویی از یک شبکه عصبی مصنوعی با یک لایه پنهان

جدول ۱: حالت‌های مختلف خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی

خروجی	حالت شرایط خروجی
O ₁	استوانه ۴، درجه‌ها سالم، بدون نشستی با برخاستگی صفر درجه
O ₂	استوانه ۱، شبه ترک در درجه دود
O ₃	استوانه ۲، شبه ترک در درجه هوا
O ₄	استوانه ۳، لب پریدگی در درجه دود
O ₅	استوانه ۴، لقی در درجه دود، ۰.۱ میلیمتر برخاستگی درجه دود
O ₆	استوانه ۴، لقی در درجه هوا، ۰.۱ میلیمتر برخاستگی درجه هوا

شکل ۱۷ به عنوان نمونه، پراکندگی پنج ویژگی داده‌های انتشار صدا (بیشینه مقدار دامنه علامت، جذر مجموع مربعات، تعداد ضربه‌ها، انرژی مطلق و متوسط سطح علامت‌های انتشار صدا) را در شش حالت شرایط خروجی نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان مشاهده کرد برخی حالت‌ها با چشم قابل جداسازی است اما برخی از حالت‌ها ویژگی‌های بسیار نزدیکی با یکدیگر دارند. بنابراین استفاده از یک سامانه خبره کارآمد برای جداسازی حالت‌های مختلف ضروری است. جدول ۲ عملکرد شبکه عصبی استفاده شده را در جداسازی و تشخیص حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. مواردی که از جدول ۲ می‌توان استنباط نمود عبارتند از:

۱- یکی از مهمترین عامل‌های ارزیابی یک سامانه هوشمند و کارآمد این است که نباید حالت معیوب را سالم تشخیص دهد. زیرا چنانچه دستگاه معیوبی به توسط سامانه هوشمند سالم تشخیص داده شود، دستگاه بدون هیچ هشدار یا تا مرز آسیب‌های جدی و حتی تخریب پیش می‌رود. با توجه به جدول نتایج در این شاخص، شبکه عملکرد بسیار خوبی داشته است و هیچ حالت معیوبی را به اشتباه جزء حالت سالم تشخیص نداده است. این مورد از این لحاظ اهمیت دارد که چنانچه عیبی وجود داشته باشد ولی سامانه آن را سالم تشخیص دهد، رسیدگی انجام نشده و منجر به خرابی‌های بیشتر و هزینه‌های



شکل ۱۵: چگالی طیف توان علامت انتشار صدا در حالت درجه سالم در استوانه ۴

به این منظور از روش شبکه عصبی مصنوعی برای آموزش و تشخیص ویژگی‌های علامت‌های انتشار صدا استفاده شد. پنج ویژگی که از داده‌های انتشار صدا راجع به حالت‌های مختلف استخراج شد عبارتند از: ۱- جذر مجموع مربعات داده‌های انتشار صدا، ۲- تعداد ضربه‌ها (تعداد دفعاتی که در یک زمان مشخص مقدار علامت از حد استانه بیشتر شده است)، ۳- انرژی مطلق داده‌های انتشار صدا، ۴- بیشینه مقدار دامنه علامت و ۵- سطح متوسط دامنه علامت

۶-۴) جداسازی انواع عیوب درجه به توسط شبکه عصبی

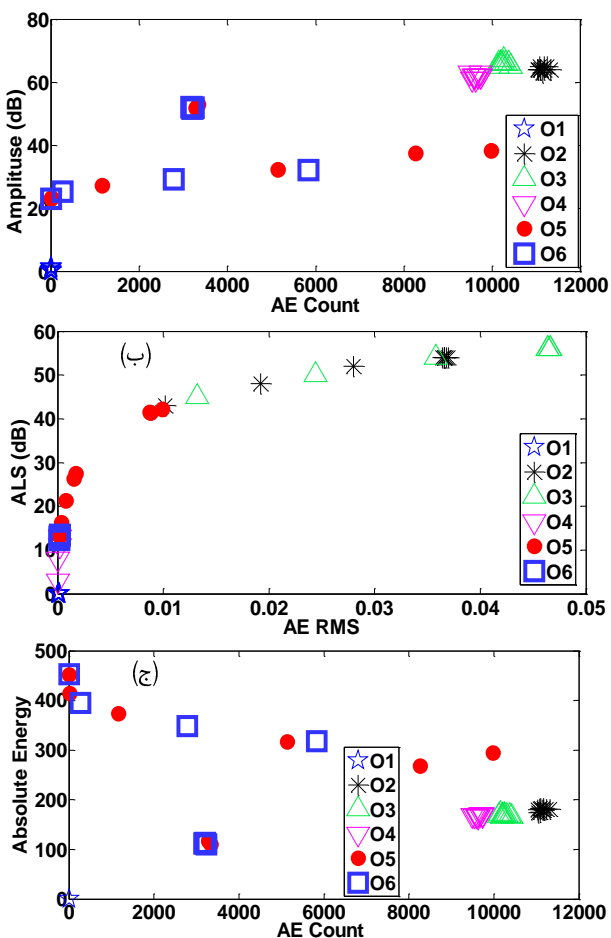
از ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی این است که می‌توانند الگوهای ارتباطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را دریابند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیشینی، تشخیص الگو و تصمیم‌گیری در مورد مجموعه داده‌ها، توانایی‌های فراوانی دارند [۱۳]. شکل ۱۶ نمای کلی قرارگیری لایه‌ها و تعداد گره‌های هر لایه را در این مقاله نشان می‌دهد. به منظور تشخیص نوع خرابی درجه، پنج ویژگی یادشده از داده‌های انتشار صدا در حالت‌های مختلف استخراج شد. این ویژگی‌ها در لایه ورودی در پنج گره عصبی، بترتیب وارد شدند. لایه پنهان شامل شش گره و لایه خروجی نیز شامل شش گره بود. گره‌های خروجی برای شش حالت مختلف برای حالت‌های مختلف معیوب و سالم تنظیم شدند.

کل داده‌ها برای هر حالت شامل ۲۰۰ نمونه بود. هر نمونه دارای ۴۰،۰۰۰ داده بود. این ۲۰۰ نمونه به طور تصادفی به دو گروه مساوی تقسیم شد. یک گروه برای آموزش و گروه دیگر برای ارزیابی عملکرد شبکه به کار رفت. جدول ۱ شش حالت مختلف شرایط خروجی شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

باز هم شبکه توانسته است تا ۷۵٪ نوع دریچه را نیز درست تشخیص دهد. توجه شود که اگر قرار بود فقط نوع عیب تشخیص داده شود، به احتمال زیاد عملکرد شبکه عصبی مانند عیوب دیگر بسیار قوی بود.

۷) نتیجه گیری

هدف اصلی از بررسی انواع عیوب دریچه بررسی توانایی تشخیص و جداسازی آنها به روش انتشار صدا بود. در این بررسی مشخص شد، روش انتشار صدا بخوبی به نشی دریچه پاسخ داده و انرژی آزاد شده از عیب‌های دریچه را دریافت می‌کند. عیب‌های بررسی شده در این بخش شامل لقی، ترک و لب پریدگی دریچه بودند. همچنین حالت سالم و بدون نشی نیز برای مقایسه با نتایج معیوب بررسی شد. بررسی‌های زمانی و بسامدی داده‌ها نشان داد برخی از عیوب شباهت‌های بسیار زیادی از لحاظ ظاهری دارند که امکان تفکیک آنها با بررسی‌های اولیه وجود ندارد. لذا با استفاده از شبکه‌های عصبی که به توسط ویژگی‌های داده‌های انتشار صدا آموزش داده شده بود، بخوبی عیب‌های مختلف دریچه جداسازی شد. متوسط بازده سامانه خیره بیشتر از ۹۲٪ بود.



شکل ۱۷: نمونه‌ای از پراکندگی ویژگی داده‌ها در فشار ۶ بار

سنگینی می‌شود. اما چنانچه حالت سالم، جزء حالت‌های معیوب تشخیص داده شود، فقط هزینه بررسی بیشتر و مجدد را سامانه به وجود می‌آورد.

۲- در مورد تشخیص عیب شبه ترک (در دریچه دود استوانه ۱ و دریچه هوای استوانه ۲)، نکته قابل توجه این است که علی‌رغم نزدیک بودن خصوصیات این دو دریچه (که مقطع شکاف ایجاد شده در هر دو دریچه برابر بوده است (شکل ۲) و ویژگی‌های نامنظم علامت‌های آنها (شکل ۱۷))، شبکه عملکرد بسیار خوبی داشته است. همچنین در بیشتر مواردی که شبکه اشتباه تشخیص داده است، تشخیص در نوع دریچه بوده است و نه در نوع عیب. این مسأله به سه مورد وابسته است: نخست دقت پیش‌بینی شبکه عصبی، دوم تکرارپذیری در اندازه‌گیری و سوم نزدیک بودن خصوصیات یک عیب در دو دریچه. دقت پیش‌بینی به کیفیت آموزش شبکه عصبی و وزن‌های آن بستگی دارد که سعی شده تا در هر مرحله از آموزش، با انتخاب وزن‌های مناسب اولیه برای شبکه عصبی بهترین پاسخ‌ها به دست آید. تکرارپذیری اندازه‌گیری نیز در این امر دخیل بوده است زیرا داده‌های آموزش و آزمون شبکه به صورت اتفاقی انتخاب شده اند و لذا ممکن است در مواردی برخی از داده‌های آموزشی ضعیفتر از داده‌های دیگر بوده باشند که موجب می‌شوند عملکرد شبکه ضعیف شود. همچنین به عنوان عامل سوم، نزدیک بودن خصوصیات یک عیب در دو دریچه (به عنوان مثال عیب شبه ترک در دو دریچه هوا و دود) موجب اشتباه در پیش‌بینی در محل عیب می‌شود. توجه شود که عیب درست تشخیص داده شده است تنها تفاوت در نوع دریچه بوده است. اما در انتها باید گفت اختلاف‌های موجود، در این نوع طبقه بندی داده‌ها، جزء خطای ذاتی مجموعه می‌باشد. این خطاها شامل دقت اندازه‌گیری و تکرارپذیری در اندازه‌گیری آنها است. اما با توجه به اینکه در تشخیص یک عیب (در فشارهای مختلف) اختلاف‌ها جزئی‌اند، می‌توان نتیجه گرفت دقت اندازه‌گیری و تکرارپذیری داده‌ها مناسب بوده است.

۳- در مورد تشخیص عیب لقی (در دریچه هوا و دود استوانه ۴)، علی‌رغم اینکه بازده شبکه کمتر از عیوب دیگر است اما باید توجه داشت که مانند مورد پیش، همچنان شبکه تنها در نوع دریچه تشخیص اشتباه داده است و نه در نوع عیب. این نکته بدین معنی است که شبکه توانسته است نوع عیب را از دیگر عیوب به طور ۱۰۰٪ درست تشخیص دهد اما به علت شباهت بسیار زیاد و نزدیک ویژگی‌های عیب لقی در دو دریچه در استوانه ۴ (شکل ۱۷)، بازده آن به طور متوسط تا ۷۵٪ است. این مطلب از بررسی ردیف‌های جدول ۲ در تشخیص عیب لقی قابل مشاهده است. تشخیص ناموفق نوع دریچه تنها در عیب لقی، در استوانه ۴ بوده است. همچنان که گفته شد علت این است که هر دو دریچه در یک استوانه قرار داشتند و ویژگی‌های علامت آنها بسیار شبیه به هم بوده است. اما با این حال

References

- [1] J. Mohammadpour, M. Franchek, K. Grigoriadis, A survey on diagnostics methods for automotive engines, American Control Conference, San Francisco, pp. 985-990, USA, 2011
- [2] N.K. Raghuwanshi, A. Pandey, R.K. Mandloi, Failure analysis of internal combustion engine valves: A review, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 173-181, 2012
- [3] N.H. Pontoppidan, S. Sigurdsson, Independent components in acoustic emission energy signals from large diesel engines, International Journal of COMADEM, 2005
- [4] M. El-Ghamry, J.A. Steel, R.L. Reuben, T.L. Fog, Indirect measurement of cylinder pressure from diesel engines using acoustic emission, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 19, pp. 751-765, 2005
- [5] J. Jiang, F. Gu, R. Gennish, D.J. Moore, G. Harris, A.D. Ball, Monitoring of diesel engine combustions based on the acoustic source characterization of the exhaust system, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 22, pp. 1465-1480, 2008
- [6] M. El-Ghamry, R.L. Reuben, J.A. Steel, The development of automated pattern recognition and statistical feature isolation techniques for the diagnosis of reciprocating machinery faults using acoustic emission, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 17, No. 4, pp. 805-823, 2003
- [7] R.M. Douglas, J.A. Steel, R.L. Reuben, A study of the tribological behavior of piston ring/cylinder liner interaction in diesel engines using acoustic emission, Tribology International, Vol. 39, pp. 1634-1642, 2006
- [8] R.M. Douglas, J.A. Steel, R.L. Reuben, T.L. Fog, On-line power estimation of large diesel engines using acoustic emission and instantaneous crankshaft angular velocity, Journal of Engine Research, Vol. 7, pp. 399-410, 2006
- [9] J.A. Steel, R.L. Reuben, Recent developments in monitoring of engines using acoustic emission, Journal of Strain Analysis, Vol. 40, No. 1, pp. 45-57, 2005
- [10] D.P. Lowe, W. Wu, A.C.C. Tan, R.J. Brown, Diesel engine problems, acoustic emission signals and simulated misfire faults, Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability Conference, pp. 587-598, 2012
- [11] Y. Wang, Introduction to engine valvetrains, SAE international, Warrendale, PA, UAS, ISBN: 13 978-0-7680-1079-4, 2007
- [12] Z.W. Yu, X.L. Xu, Failure analysis and metallurgical investigation of diesel engine exhaust valves, Engineering Failure Analysis, Vol. 13, pp. 673-682, 2006

جدول ۲: نتایج عملکرد شبکه عصبی مصنوعی

Valve condition	Pressure (bar)							Sensitivity (%)
		01	02	03	04	05	06	
01	1	100	0	0	0	0	0	100
	2	100	0	0	0	0	0	
	3	100	0	0	0	0	0	
	4	100	0	0	0	0	0	
	5	100	0	0	0	0	0	
	6	100	0	0	0	0	0	
02	1	0	98	1	1	0	0	99
	2	0	100	0	0	0	0	
	3	0	98	2	0	0	0	
	4	0	100	0	0	0	0	
	5	0	100	0	0	0	0	
	6	0	100	0	0	0	0	
03	1	0	1	99	0	0	0	100
	2	0	0	100	0	0	0	
	3	0	0	100	0	0	0	
	4	0	0	100	0	0	0	
	5	0	0	100	0	0	0	
	6	0	2	98	0	0	0	
04	1	0	3	0	97	0	0	100
	2	0	0	0	100	0	0	
	3	0	0	0	100	0	0	
	4	0	0	0	100	0	0	
	5	0	0	0	100	0	0	
	6	0	0	0	100	0	0	
05	1	0	0	0	0	88	12	79
	2	0	0	0	0	67	33	
	3	0	0	0	0	75	25	
	4	0	0	0	0	86	14	
	5	0	0	0	0	88	12	
	6	0	0	0	0	69	31	
06	1	0	0	0	0	7	93	75
	2	0	0	0	0	27	73	
	3	0	0	0	0	39	61	
	4	0	0	0	0	28	72	
	5	0	0	0	0	22	78	
	6	0	0	0	0	27	73	
Total average performance of ANN: 92%								

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از کارکنان شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، بویژه متخصصان آزمایشگاه مرکز تحقیقات موتور، بابت همکاری‌های فنی، علمی و حمایت مالی اعلام می‌دارند.

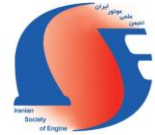
[14] S.K. Yadav, P.K. Kalra, Condition monitoring of internal combustion engine using EMD and HMM, Editors: D.K. Pratihari, L.C. Jain, Intelligent Autonomous Systems: Foundations and Applications, Vol. 275, Studies in Computational Intelligence, pp. 167-185, Springer, 2010

[13] M. Paliwal, U.A. Kumar, Neural networks and statistical techniques: A review of applications, Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 1, pp. 2-17, 2009



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



Valve fault diagnosis in internal combustion engines by acoustic emission method using artificial neural network

S.M. Jafari¹, H. Mehdigholi², M. Behzad^{3*}

¹Sharif University of Technology and Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, sm_jafari@ip-co.com

²Sharif University of Technology, Tehran, Iran, library@sharif.ir

³Sharif University of Technology, Tehran, Iran, m_behzad@sharif.edu

*Corresponding Author, Phone Number: +98-021-66165500

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27 February 2013

Accepted: 23 April 2013

Keywords:

Faulty valve

Acoustic emission

Internal combustion engine

Valve leakage

Artificial neural network

ABSTRACT

The purpose of this paper is the valve failure detection due to different faults by the acoustic emission method. Three fault types (the clearance, the semi-crack and the notch) were investigated. These faults would be examined on different exhaust and intake valves. Tests were done on a cylinder head of a four-cylinder spark ignited engine. The test procedure in brief was that the bottom of the cylinder head was closed and the pressurized air was interred through the spark plug location into the combustion chamber. Produced signals due to the leakage and the damage in valves were recorded by four sensors. Measured results from experiments showed that the acoustic emission could be an effective method to detect the healthy and faulty valves in both time and frequency domains. An artificial neural network was used in an expert system for the valve fault diagnosis. This technique could recognize different faults properly; even for the same fault type in various valves, has a high accuracy.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.