

تحلیل فرکانسی اثر مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل

بر صدای یک موتور تک‌سیلندر دیزلی

برات قبادیان استاد مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس ghobadib@modares.ac.ir	سیدرضا حسن‌بیگی دانشیار مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران rhbeigi@ut.ac.ir	غلامحسین نجفی* دانشیار مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس g.najafi@modares.ac.ir	نعمت کرامت سیاوش دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس nksiyavash@gmail.com
---	--	---	---

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۴

چکیده

بیودیزل سوختی است که از پسماندهای روغنی محصولات کشاورزی و صنایع غذایی و یا به‌صورت محصول اصلی دانه‌های روغنی مثل کرچک تولید می‌شود. نوع سوخت تأثیر مستقیمی بر پدیده احتراق موتورهای احتراق تراکمی دارد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی کارکرد موتور، که در اثر نوع سوخت تغییر می‌کند، صدای موتور است. تحقیق حاضر جهت بررسی تأثیر سوخت بیودیزل بر صدای موتور انجام شده است. برای این منظور صدای موتور تک‌سیلندر دیزلی با استفاده از هفت مخلوط متفاوت سوخت گازوئیل و بیودیزل اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرکانس غالب صدای موتور ۳۱۵ هرتز و با منشأ احتراق و ساختار آگزوز می‌باشد. در این فرکانس تراز فشار صدای موتور با سوخت B10، ۲۳ درصد کمتر از سوخت B30 (مخلوط ۳۰ درصد بیودیزل و ۷۰ درصد سوخت گازوئیل) است. کمترین صدای تولیدی موتور در مخلوط سوخت B10 و بیشترین صدای تولیدی در B30 اتفاق می‌افتد.

واژگان کلیدی: بیودیزل، تحلیل فرکانسی، تراز فشار صدا، صدای موتور دیزل

۱. مقدمه

صدا معیار بسیار مهمی در انتخاب یک ماشین است. تراز صدای ماشین‌ها تأثیر مستقیمی بر سیستم‌های بیولوژیک و روانی کاربر و اطرافیان دارد. همچنین از آنالیز سیگنال صدا می‌توان به چگونگی کارکرد یک ماشین پی برد. در تحقیقی که دیوانگن و همکاران روی ویژگی‌های نوفه و

منابع متعددی برای ایجاد صدا در یک محیط صنعتی و کشاورزی وجود دارد. ماشین‌های دوار یا رفت‌وبرگشتی مانند موتورها، کمپرسورها، وسائل نقلیه مانند کامیون‌ها، ترن‌ها و هواپیماها و ماشین‌های کشاورزی مانند تراکتورها و کمباین‌ها از منابع تولیدکننده صدا هستند.

آثار آن بر سلامتی راننده تراکتور انجام دادند، دو تراکتور با توان بالا (۱۸/۷ و ۲۰ کیلووات) و دو تراکتور کوچک (۴/۶ و ۶/۷ کیلووات) بررسی شدند. نتایج نشان داد که تراز فشار صدا با افزایش دور موتور و سرعت پیشروی زیاد می‌شود و همچنین تراز شدت صدا برای عملیاتی که به کشش بیشتری نیاز دارند بالاتر خواهد بود. آنها دریافتند که سطح صدای تراکتورهای مورد مطالعه بیشتر از مقداری است که یک کارگر بتواند طی ۸ ساعت کاری، که به وسیله استاندارد توصیه شده، تحمل کند [۱]. هونگ و بینگ نیز منابع ایجاد صدا در قسمت جلوی یک موتور دیزل را بررسی کردند و نشان دادند که با استفاده از اندازه‌گیری تراز شدت صدا می‌توان منابع ایجاد صدا را مشخص نمود [۲]. حسن‌بیگی بیدگلی نیز طی تحقیقی، سروصدای تراکتور دو چرخ را در حالت حمل‌ونقل و شرایط مختلف مزرعه‌ای بررسی کرد و نشان داد که با افزایش سرعت دورانی موتور از ۱۳۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه، تراز فشار صدای تیلر ۱۲ دسی‌بل در محدوده فرکانسی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز افزایش می‌یابد. همچنین در دور موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه، شدت صدا به ۹۲ dB(A) می‌رسد که بسیار بیشتر از حد استاندارد (۸۵ دسی‌بل) است [۳].

گوانگ‌پو و همکاران طی تحقیقاتی که روی موتور دیزل هشت‌سیلندر یک خودروی نظامی انجام دادند دریافتند که وقتی دور موتور به ۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه می‌رسد به ترتیب تأثیر صدای سیستم هوای ورودی و آگزوز بیشتر می‌شود. سطح تراز صدا در نزدیکی لوله ورودی هوا و آگزوز به ۱۲۰ دسی‌بل می‌رسد و با توجه به تصاویر طیف‌های فرکانسی، فرکانس صدای موتور با فرکانس عملکرد موتور انطباق نزدیکی دارد [۴]. حسن‌بیگی بیدگلی و همکاران نیز طی تحقیقات خود بر روی نوفه تراکتور در حال حرکت روی جاده آسفالت روستایی نشان دادند که صدا در موقعیت گوش راننده در مقایسه با موقعیت اطرافیان (۷/۴ dB(A) تا ۱۰/۷۵ dB(A) بیشتر است. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که سرعت موتور نقش تعیین‌کننده‌ای بر شدت سروصدا

دارد [۵]. پروست و همکاران صدای ناشی از احتراق موتور را از صدای ناشی از فرایندهای مکانیکی موتور جدا نمودند و دریافتند که هم دور موتور و هم بار روی آن بر شدت صدای ایجادشده مؤثر خواهد بود. همچنین پیشنهاد کردند که تحقیقات ادامه یابد تا مشخص گردد در شرایط مختلف در چه سطح فشار صدا و در چه مقیاس سروصدا شنوایی از دست می‌رود [۶]. یوشیدا و همکاران نیز روش کنترل فعال صدا را برای کاهش تراز صدای دو تراکتور میتسوبیسی به کار گرفتند و به‌طور میانگین تراز فشار صدا را تا ۱۰ dB(A) کاهش دادند [۷]. باتاچاریا و همکاران نیز در تحقیق خود دریافتند که سرعت دورانی موتور و زمان پاشش سوخت از عوامل مهم و مؤثر در تراز صدای تولیدی می‌باشند. گشتاور موتور تأثیر چندانی بر صدای تولیدی ندارد و احتراق بیشترین سهم در تولید صدای موتور را دارد [۸].

آلباربارا و همکاران با استفاده از روش توزیع وینگر - وایل^۱ و با به‌کارگیری روش فیلترهای وقفی، صدای ناشی از سوزن انژکتورهای موتور را شناسایی نمودند. روش توزیع وینگر - وایل در مقایسه با روش‌های مشابه، جذابیت بیشتری دارد؛ بدین دلیل که این روش فرضیه ایستایی کوتاه‌مدت سیگنال را نادیده می‌گیرد و به مشکل تفکیک‌پذیری بین زمان و فرکانس غلبه می‌کند. اما این روش عیب‌هایی را در نمایش طیف‌های به‌دست آمده دارد که همپوشانی طیفی نامیده می‌شود. گاهی تداخل حاصل از همپوشانی طیفی به عدم شناسایی فرکانس‌های ارتعاشی می‌انجامد [۹-۱۰]. آنیو و همکاران روش تبدیل موجک پیوسته^۲ را برای تحلیل سیگنال‌های موتور، تحلیل فرکانسی مناسبی ندیده و از روش A-Weighted CWT برای تحلیل زمان - فرکانس استفاده کردند. این روش تصویر بهتری از صداهای ناپایدار به‌دست می‌دهد که برای معرفی منابع صدا بسیار مؤثر است [۱۱]. گیاکومیس و همکاران نیز صدای یک موتور دیزل با توربوشارژر را در شرایط مختلف از جمله حالت رانندگی در جاده، شتاب‌گیری و افزایش بار آزمایش کردند. برای به‌دست آوردن آثار

توربوشارژر در موتور، یک بستر آزمون با تمامی امکانات فراهم شد. برای تعریف چگونگی انتشار صدای احتراق، از اندازه‌گیری فشار درون سیلندرها، عکس‌العمل توربوشارژر و گاورنر / پمپ سوخت استفاده کردند. نتایج این آزمون بدین قرار گزارش شده است [۱۲]: جواب با تأخیر پرخوران به تغییرات دریچه گاز، بیشترین تاثیر را در تولید صدا دارد. دقت کالیبره کردن زمان پاشش سوخت تأثیر به‌سزایی بر سطح صدای تولیدی موتور دارد. دمای دیواره سیلندر با تغییر شرایط سوخت نمی‌تواند خود را تطبیق دهد، که همین امر باعث تولید صدا می‌گردد.

راکپلوس و همکاران در پژوهشی سروصدای احتراق با استفاده از سوخت بیودیزل در شروع کار یک موتور پرخوران‌شده را بررسی کردند. این آزمایش با سه نوع سوخت دیزل، بیودیزل B25 و بیودیزل B30 انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سوخت بیودیزل تأثیر چندانی در کاهش صدای ناشی از احتراق موتور ندارد [۱۳]. با توجه به اهمیت موضوع صدای ماشین‌های کشاورزی و سوخت‌های زیستی جدید، مطالعه آنها ضروری به‌نظر می‌رسد. تراکتورهای دوچرخ (تیلر) از جمله ماشین‌های مهم کشاورزی هستند که به‌دلیل کوچکی، ارزانی و انعطاف در انواع استفاده (از قبیل حمل‌ونقل، شخم زمین مخصوصاً شالیزارها، کاشت محصول‌های ردیفی، استفاده به‌عنوان محرک پمپ آب و ژنراتور برق و جز این‌ها) به‌وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، تحقیقات چندانی روی این ماشین‌ها در رابطه با صدای تولیدی به‌هنگام استفاده از سوخت بیودیزل صورت نگرفته است. این تحقیق جهت بررسی آثار سوخت بهینه از لحاظ صدای تولیدی موتور است.

۲. مواد و روش‌ها

موتور تراکتور دوچرخ مورد استفاده در تحقیق حاضر ساخت شرکت صنایع تولیدی اشداد ایران است. در زمان آزمون از چرخ‌های لاستیکی استفاده شد. در این تحقیق از شاسی

خود تراکتور دوچرخ به‌عنوان استند استفاده شد و صدای تولیدی در واقع فقط صدای موتور می‌باشد. تراکتور مورد آزمون دارای یک موتور دیزل تک‌سیلندر آب‌خنک با پاشش مستقیم است که توان نامی آن ۷/۵ اسب بخار در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. آزمون در موقعیت گوش چپ راننده و براساس استانداردهای ایزو ۳۵۱۳۱ و اس. ای. ای. جی. ۱۱۷۴ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری دور موتور از دورسنج مدل Lurton 2364 استفاده شد. دقت اندازه‌گیری این دستگاه برای دورهای بیشتر از ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، ۱ دور بر دقیقه است. برای کسب بیشترین دقت در اندازه‌گیری دور موتور از قسمت اندازه‌گیری تماسی آن استفاده شد. برای این منظور قطعه‌ای چوبی تراش داده شده و درون سوراخ پولی بزرگ موتور جاگذاری شد. با مرغی که در وسط قطعه چوبی ایجاد گردید، امکان تماس بدون لغزش دورسنج و قطعه چوبی فراهم آمد. میکروفن مورد استفاده در تحقیق حاضر از نوع خازنی با امپدانس پایین و الگوی دریافت تک‌جهتی می‌باشد. حساسیت میکروفن ۵۰ میلی‌ولت بر پاسکال و دامنه فرکانسی آن ۱۰ تا ۲۰ کیلوهرتز به‌صورت تخت می‌باشد. صدای موتور با استفاده از میکروفن دستگاه صداسنج مدل HT157 اندازه‌گیری و با استفاده از نرم‌افزار Sound View ذخیره و داده‌برداری شد. آزمون تحت آزمایش فاکتوریل و با طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. تحلیل‌ها به‌کمک نرم‌افزار PASW Statistics 18 و مایکروسافت اکسل ۲۰۱۰ انجام گرفت. ترازهای کلی فشار صدا در مراکز فرکانسی باند ۱/۳ اکتاو با توجه به رابطه ۱ در تیمارهای مختلف محاسبه و مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس بر آنها اعمال شد [۱۴].

$$L_{p_{total}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{p}{p_0} \right)_i^2 \right] = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_{p_i}/10} \right) \quad (1)$$

مطلب اصلی در انتخاب ترکیب‌های مختلف سوخت‌ها، براساس تحقیقات انجام‌شده برای بررسی پارامترهای موتور و آلایندگی انجام شد. بر این اساس ۷ سطح ترکیب دیزل و

بیودیزل با گام ۵ انتخاب شد، که ابتدای آن B00؛ یعنی دیزل خالص، و انتهای آن B30 (۳۰ درصد بیودیزل و ۷۰ درصد دیزل) در نظر گرفته شد. محل قرارگیری میکروفن نیز براساس استانداردهای سازمان بین‌المللی استانداردها و انجمن مهندسان خودرو انتخاب شد [۱۵-۱۷]. در تمامی آزمون‌ها، که در محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد، کف محل آزمون آسفالت انتخاب شد.

۳. جدول آزمون‌ها

آزمون با چهار تکرار برای هر تیمار انجام شد. جدول آزمون به صورت جدول ۱ است. در هر ترکیب تیماری حداقل ۱۰ ثانیه سیگنال صدا ضبط شده و در مراحل اولیه تحلیل، از هر سیگنال به طول ۲ ثانیه نمونه‌برداری شد. انتخاب یک چرخه کاری جهت تحلیل، احتمال خطا را بسیار بالا می‌برد؛ بنابراین برای ۲ ثانیه نمونه‌برداری بسته به دور موتور چندین سیکل کاری انتخاب شد. در جدول ۱ تمامی فاکتورهای مورد استفاده ذکر شده است که در این مقاله فقط اثر نوع سوخت در دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه و در موقعیت گوش چپ راننده مورد مطالعه قرار گرفت.

۴. تحلیل داده‌ها در حوزه فرکانس

تحلیل در حوزه فرکانس به دو دلیل انجام می‌گیرد؛ دلیل نخست وابستگی پاسخ گوش انسان و احساس صدا به فرکانس صداست و دلیل دوم بستگی فرایندهای فیزیکی مانند انتشار، تفرق و انتقال صدا به فرکانس. از طرف دیگر شناسایی و کمی‌کردن اثر هر یک از متغیرها بر صدای منتشرشده از دستگاه با بررسی سیگنال صدا در حوزه زمان بسیار مشکل است؛ به همین دلیل سیگنال‌ها از حوزه زمان به حوزه فرکانس منتقل می‌شوند. در این مقاله برای انتقال سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس، از روش تبدیل فوریه سریع^۶ استفاده شد. تبدیل حوزه زمان به فرکانس، طیف باند باریک تراز فشار صدا را نتیجه می‌دهد. مشاهده تغییرات در طیف باند باریک، به جز در فرکانس‌های پایین

کار نسبتاً مشکلی است. برای مشاهده واضح‌تر تغییرات فرکانس و تراز فشار صدا از فیلتر ۱/۳ اکتاو استفاده شد. قله‌های بسیار مرتفع و دره‌های بسیار عمیق که در سیگنال‌های باند باریک وجود دارند، در طیف باند پهن دیگر وجود نخواهد داشت. لذا تغییرات گذرا در این طیف خودبه‌خود حذف می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد، مهم‌ترین گام در انتقال سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس، تبدیل فوریه سریع است. این تبدیل با سیگنال همان کاری را می‌کنند که منشور بلورین با نور؛ یعنی تجزیه به اجزای سازنده.

۵. نتایج و بحث

۵-۱. تحلیل فرکانسی طیف باند باریک

طیف باند باریک تراز فشار صدا سیگنالی است که تراز فشار صدا را در هر فرکانسی نشان می‌دهد. طیف باند باریک بر مبنای روش تبدیل فوریه سریع محاسبه گردید. برای این منظور برنامه‌ای تحت زبان فرترن نوشته شد. طیف باند باریک با تمام اطلاعاتی که در خود به همراه دارد، اما اطلاعات بصری آن روی نمودار فقط در فرکانس‌های پایین (کمتر از ۱۰۰ هرتز) قابل استفاده می‌باشد.

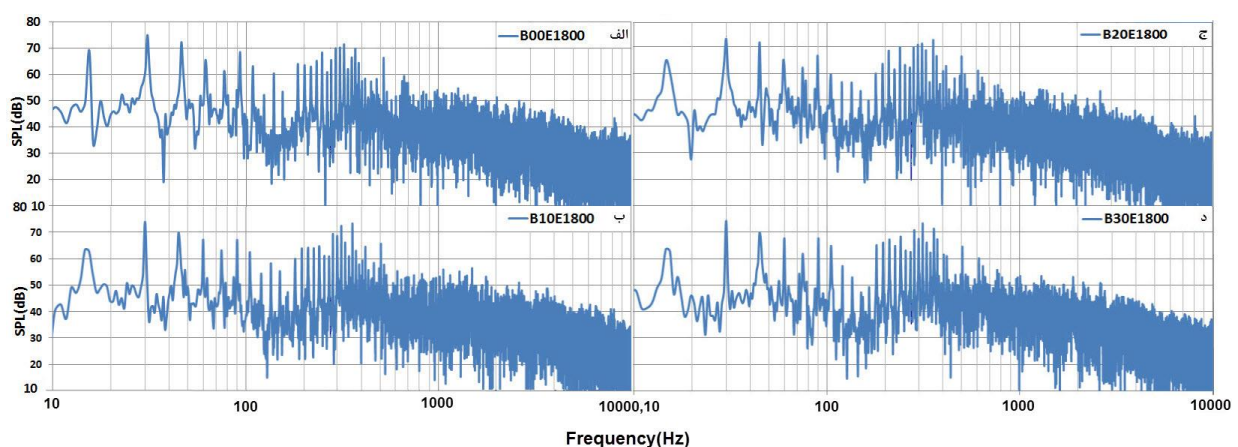
در شکل ۱ محتوای فرکانسی طیف باند باریک در دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه برای چهار سوخت B10، B00، B20 و B30 نمایش داده شده است. در دوره‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز به دلیل تراکم منحنی طیف، تشخیص نقاط مهم تقریباً غیرممکن است، اما در فرکانس‌های پایین این امر راحت‌تر و دقیق‌تر می‌باشد. با توجه به دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه چند فرکانس پایه قابل محاسبه است. از جمله این فرکانس‌ها فرکانس احتراق (فرکانسی که تعداد احتراق در هر ثانیه را نشان می‌دهد) می‌باشد که با تقسیم دور موتور بر ۱۲۰ به دست می‌آید. عدد ۱۲۰ حاصل ضرب ۶۰ (تبدیل دور بر دقیقه به دور بر ثانیه) و ۲ (به خاطر چهارزمانه بودن موتور) می‌باشد. بنابراین یکی از پایه‌ای‌ترین محتوای فرکانسی‌ها ۱۲۰/۱۸۰۰ یعنی ۱۵ هرتز خواهد بود. بدیهی

است موده‌های بالاتر این فرکانس با توان پایین‌تر در طیف فرکانسی دیده خواهد شد. در شکل ۱ اولین نقطه پیک در تمامی شکل‌ها همین نقطه مذکور را نشان می‌دهد. در این پیک دیزل خالص نسبت به سوخت‌های بیودیزل دار تقریباً ۵ دسی‌بل تراز فشار صدای بلندتری دارد که می‌تواند نشان از احتراق کوبش‌دار سوخت دیزل باشد. سه ترکیب بیودیزل‌دار در پیک مذکور تقریباً دارای یک تراز فشار صدا هستند. شکل ۲ که طیف‌های نشان داده شده در شکل ۱ را برای فرکانس‌های کمتر از ۱۰۰ هرتز نشان می‌دهد، مقایسه دقیق‌تری از تراز فشار صدا برای پیک مذکور را نمایش می‌دهد. پیک مهم بعدی که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، پیکی با فرکانس ۳۰ هرتز می‌باشد. این پیک دو منشأ تولید دارد؛ نخستین منبع آن همان تعداد احتراق است که مود دوم فرکانس اصلی (۱۵ هرتز) است و

دومین منبع، تمام اعضای از موتور مانند میل‌لنگ و پیستون و سوپاپ‌ها که در هر دور میل‌لنگ یک سیکل کاری را کامل می‌کنند، می‌باشند. هر سوپاپ در دور میل‌لنگ (یک سیکل ترمودینامیکی) یک بار باز می‌شود که دو سوپاپ سر جمع در هر دقیقه به تعداد دور موتور باز و بسته می‌شوند. مهم‌ترین صدا در این بخش صدای برخورد سوپاپ‌ها به سیت مربوطه می‌باشد. بنابراین تراز فشار صدای این فرکانس جمع برداری دو صدای حاصل از احتراق و دینامیک موتور می‌باشد. با توجه به اینکه تراز فشار صدا در این پیک برای سوخت‌های مختلف برابر می‌باشند، بنابراین تأثیر احتراق روی این پیک کم بوده و منشأ اصلی آن دینامیک موتور از جمله صدای برخورد سوپاپ به سیت می‌باشد.

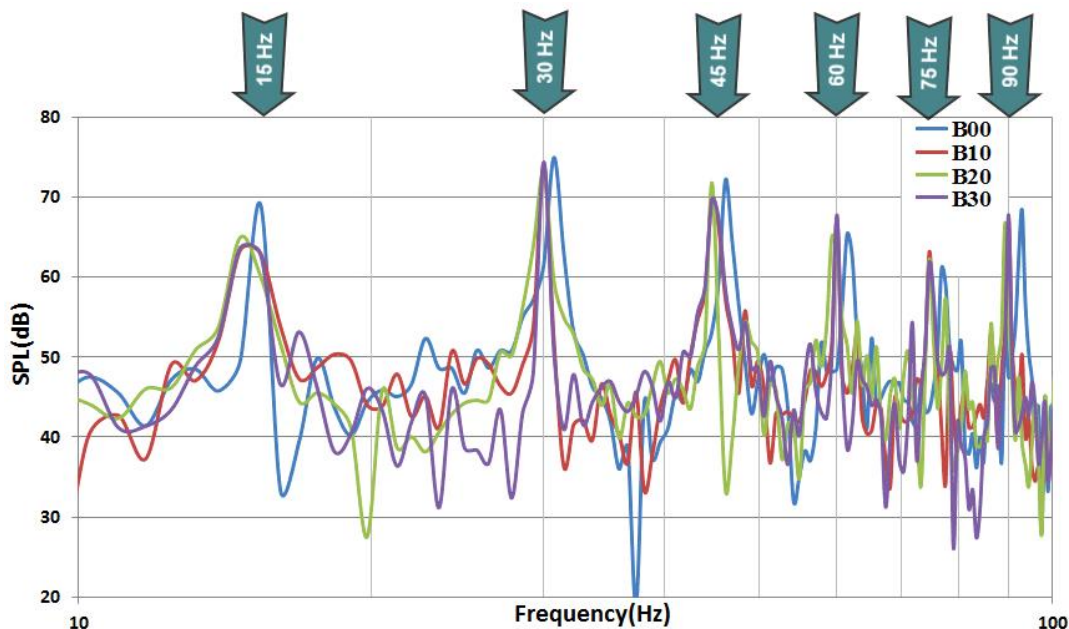
جدول ۱. جدول آزمون‌ها

۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	سطوح متغیرها
B30	B25	B20	B15	B10	B05	B00	نوع سوخت
-	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۱۶۰۰	۱۴۰۰	۱۲۰۰	دور موتور (دور بر دقیقه)
-	-	-	-	۷/۵ متری موتور	۱/۵ متری اگزوز	گوش چپ راننده	مکان میکروفن



شکل ۱. طیف باند باریک تراز فشار صدا در دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه و در موقعیت گوش راننده برای چهار سوخت

(الف) B00 (ب) B10 (ج) B20 (د) B30



شکل ۲. طیف باند باریک تراز فشار صدا در دور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه، در موقعیت گوش راننده برای چهار سوخت در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ هرتز

نقطه اوج چهارم دارای فرکانس ۶۰ هرتز است که مجموع مودهای دو منبع تولید صدا می‌باشد. منبع اول همان احتراق است که مود چهارم آن در اینجا ظاهر می‌شود و منبع دوم که اصلی‌ترین عامل تولید این پیک شده است، مود دوم فرکانس کاری اجزای دینامیکی موتور می‌باشد. باید توجه داشت که مودهای بالاتر دارای اثر کمتری در پیک‌ها بوده و تجمیع چند منشأ روی یک فرکانس خاص، لزوماً تراز فشار آن را بالاتر از بقیه پیک‌ها نخواهد برد. بنابراین دو پیک مهم بعدی که در شکل‌های ۱ و ۲ به وضوح پیدا هستند، با اینکه تراز فشار صدایشان حاصل جمع سه منبع بیان شده در خطوط بالا می‌باشند، تراز فشار صدایشان کمتر از پیک ۴۵ هرتزی است. پیک ۷۵ هرتزی نیز فرکانس مادر نبوده و مود پنجم فرکانس ۱۵ هرتزی می‌باشد و برای همین تراز آن به شدت افت کرده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پیک بعدی، که دارای فرکانس ۹۰ هرتز است، تراز فشار صدای بالاتری نسبت به دو پیک قبلی‌اش دارد که علت آن تجمع مودهای ششم فرکانس ۱۵ هرتزی با منشأ احتراق، مود سوم فرکانس ۳۰ هرتزی با منشأ دینامیک موتور و مود دوم عامل ناشناخته

موتور چهارزمانه دو نوع سیکل دارد؛ یکی سیکل ترمودینامیکی که هر دو دور میل‌لنگ کامل می‌شود. با توجه به اینکه دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد، فرکانس پایه رویدادهای ترمودینامیکی موتور تک‌سیلندر ۱۵ هرتز بوده و مودهای بالاتر آن با وزن کمتر عبارت‌اند از: مود دوم ۳۰ هرتز، مود سوم ۴۵ هرتز، مود چهارم ۶۰ هرتز و جز این‌ها که همگی ضرایب صحیحی از عدد ۱۵ می‌باشند. سیکل دیگری که در موتور باید بررسی شود، سیکل دینامیکی موتور است که با توجه به تعداد سیلندر و سیکل کاری موتور مورد آزمایش ۳۰ هرتز می‌باشد و مودهای بالاتر آن عبارت‌اند از: مود دوم ۶۰ هرتز، مود سوم ۹۰ هرتز، مود چهارم ۱۲۰ هرتز و جز این‌ها که همگی ضریب عدد صحیحی از ۳۰ می‌باشند. با توجه به مطالب فوق فرکانس پیک ۴۵ هرتز که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، نمی‌تواند منشأ دینامیکی داشته باشد. چون تراز فشار صدای این پیک از پیک ۱۵ هرتزی بیشتر است، این پیک باید مجموع مود سوم تعداد احتراق و یک یا چند عامل دیگر باشد که با توجه به تراز بالای این پیک شناسایی آنها بسیار مهم است.

با فرکانس ۴۵ هرتز می‌باشد. آنچه در مورد شش پیک بیان شده باید گفت، این است که با تعویض نوع سوخت که کیفیت احتراق را تحت تأثیر قرار می‌دهد تغییری در تراز فشار (به جز پیک اول که علتش بیان شد) ایجاد نمی‌گردد که به این معناست در پیک‌های بیان شده احتراق نقش تأثیرگذاری ندارد. مطلب دیگر اینکه در مورد فرکانس ۱۵ هرتزی منظور تعداد احتراق است نه کیفیت احتراق. صدایی که احتراق تولید می‌کند و در واقع کیفیت احتراق روی آن تأثیر می‌گذارد، جدای از فرکانس بیان شده می‌باشد و به همین دلیل در این فرکانس با تغییر سوخت، تراز فشار صدا تغییر نمی‌کند.

طیف باند باریک، همان‌گونه که شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند، در فرکانس‌های بالاتر متراکم شده و قابل بحث نیستند. بنابراین برای تحلیل فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز از طیف باند پهن که توسط اعمال فیلتر ۱/۳ اکتاو به دست آمده، استفاده شده است. این باند سیگنال‌ها را به گونه‌ای نمایش می‌دهد که به اندازه کافی پهن بوده و وضوح لازم را دارد و از طرف دیگر حد این پهن‌شدگی بیش از اندازه نیست تا اطلاعات سیگنال مخدوش گردد. باند ۱/۳ اکتاو در واقع میانگین هندسی یک کران بالا و پایین فرکانسی را به عنوان فرکانس آن محدوده بیان می‌کند. در فرکانس‌های پایین که امکان استفاده از باند باریک وجود دارد، بهتر است از این باند استفاده شود؛ چون باند باریک فرکانس‌ها را همان‌گونه که هستند نشان می‌دهند، اما باند پهن یک محدوده مشخص را فقط با یک عدد نشان می‌دهد هر چند به عنوان مثال در آن فرکانس خاص تراز فشار صدا بسیار ناچیز باشد. به عنوان مثال در باند باریک ذکر شده در بالا فرکانس ۱۵ هرتزی در نمودار نشان داده شده بود، اما در نمودار مربوط به باند پهن (باند ۱/۳ اکتاو) (شکل ۳) به هیچ وجه فرکانس ۱۵ هرتزی قابل مشاهده نیست؛ زیرا در این باند محدوده فرکانسی ۱۴/۱ تا ۱۷/۸ هرتز فقط با عدد ۱۶ هرتز نشان داده می‌شود. بنابراین دقت باند پهن در محدوده‌ای که باند باریک هنوز

متراکم نشده، کمتر از باند باریک است. اما در فرکانس‌های بالاتر چاره‌ای جز استفاده از باند پهن نبوده و کمی خطا وجود خواهد داشت. در فرکانس‌های بالاتر این خطا بیشتر خواهد شد؛ به عنوان مثال محدوده فرکانسی ۴۴۷۰ تا ۵۶۲۰ هرتز با فرکانس ۵۰۰۰ هرتز می‌شود، بنابراین هر چند تا پیک که در این محدوده وجود داشته باشد فقط با یک عدد نشان داده خواهد شد و مقدار تراز فشار صدا در فرکانس مرکزی برابر مقدار متوسط این محدوده خواهد بود.

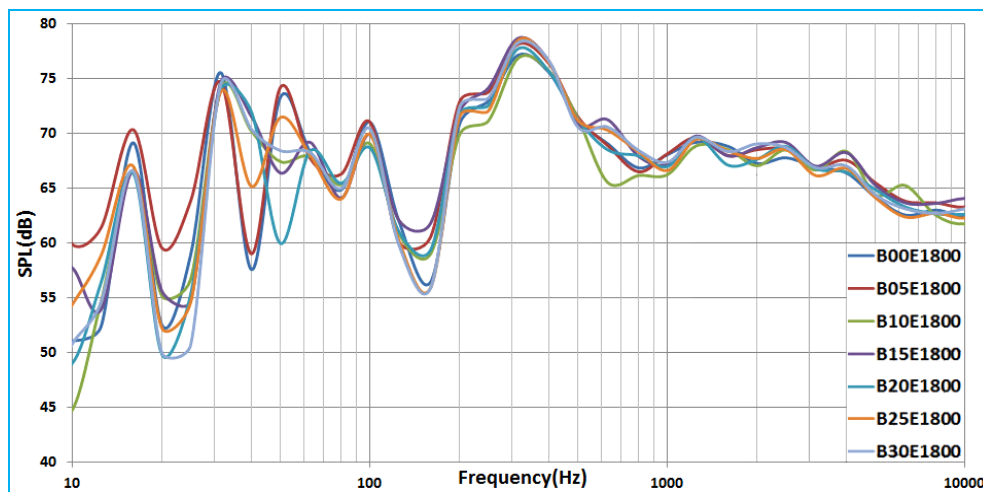
۵-۲. تحلیل فرکانسی طیف ۱/۳ اکتاو مخلوط‌های

مختلف سوخت

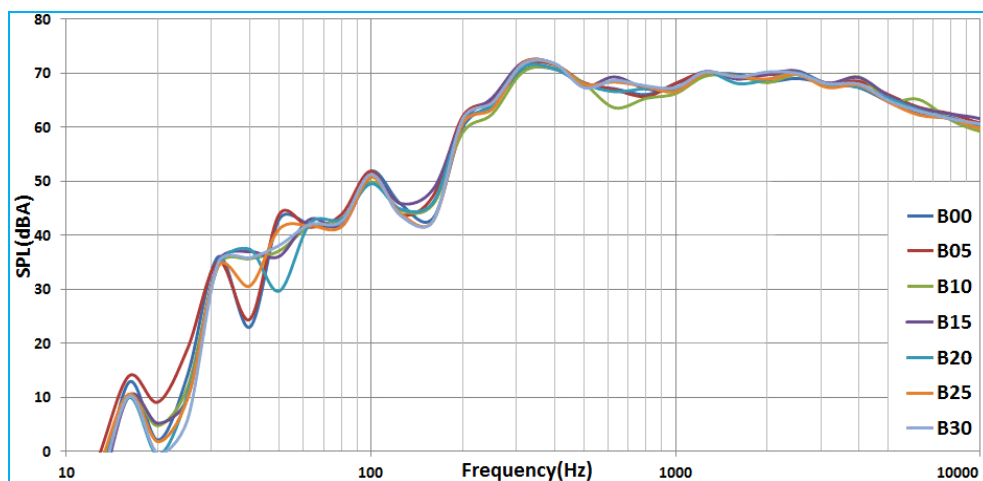
در شکل ۳ آثار مخلوط‌های مختلف سوخت در موقعیت گوش چپ راننده^۷ بر باندهای فرکانسی نمایش داده شده است. مهم‌ترین پیک فرکانسی که در شکل‌های ۱ و ۲ قابل تحلیل نبود، فرکانس ۳۱۵ هرتزی است که در شکل ۳ نمایش داده شده است. منشأ پیک‌های فرکانسی بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ هرتز آگزوز می‌باشد [۱۸]. این پیک فرکانسی نمایشگر تمام اعضای محدوده فرکانسی ۲۸۲ تا ۳۵۵ هرتز است. البته این پیک فرکانسی شامل مودهای بالاتر سه فرکانس مادر (مودهای ۱۹ تا ۲۳ فرکانس مادر ۱۵ هرتزی، مودهای ۱۰ و ۱۱ فرکانس مادر ۳۰ هرتزی و مود ۷ ام فرکانس مادر ۴۵ هرتزی) بیان شده نیز می‌باشد. ناگفته نماند که تأثیر مودهای بیان شده بسیار ناچیز خواهد بود. تفاوت سوخت‌ها در این پیک ظاهر شده و به طور معناداری نمود پیدا کرده‌اند. در پیک مذکور سوخت B10 کمترین و B15 بیشترین تراز فشار صدا را دارند. تفاوت ترازاها ۱/۸۳ دسی‌بل می‌باشد که با توجه به لگاریتمی بودن اعداد، تفاوت قابل توجهی می‌باشد. به صورت دقیق‌تر این تفاوت در تراز؛ یعنی فشار صدا در این پیک، برای B15، ۲۳ درصد بیشتر از B10 است. این تفاوت فاحش در فشار صدا منشأ احتراق و رزونانس آگزوز دارد. هر چه سوخت کامل‌تر بسوزد، گازهای خروجی فشار و در نتیجه سرعت گاز

بالاتری حاصل خواهد شد. احتراق کامل دمای گاز خروجی را هم بالاتر خواهد برد. بنابراین صدای گاز خروجی از آگزوز در احتراق‌های کامل بیشتر خواهد بود. ساختار آگزوز به‌گونه‌ای است که فرکانس طبیعی آن در این محدوده قرار دارد، بنابراین وقتی صدای گاز خروجی دارای فرکانسی در این محدوده باشد پدیده تشدید رخ داده و در نتیجه پیکی به این قدرت پدید می‌آید. پیک‌های کوتاه ظاهر شده در

محدوده ۱ تا ۴ کیلوهرتز منشأ احتراق در موتور دیزلی دارند [۱۹]. احتراق فرکانس‌های صفر تا ۴ کیلوهرتز را تولید می‌کند که البته ۱ تا ۲/۵ کیلوهرتز تراز فشار بسیار بالایی داشته و به‌عنوان عضو اصلی صدای احتراق محسوب می‌شود [۱۰]. چون منشأ پیک‌های مهم تا فرکانس ۱ کیلوهرتز تشریح شد، آنچه در محدوده ۱ تا ۴ کیلوهرتز مشاهده می‌شود، در واقع کوبش‌های موتور را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۳. الف) طیف باندها ۱/۳ اکتاو برای سوخت‌های مختلف در موقعیت DLEP و دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه

ب) طیف باندها ۱/۳ اکتاو با وزن A برای سوخت‌های مختلف در موقعیت DLEP و دور موتور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه

آنچه در بالا به آن اشاره شد، تحلیلی بر سیگنال‌هایی بود که فیلتری روی آن اعمال نشده بود، اما گوش انسان آنچه

را که موتور تولید می‌کند عیناً نمی‌شنود؛ بلکه آن را در برخی فرکانس‌ها تضعیف و در بعضی دیگر تقویت می‌نماید.

۶. نتیجه‌گیری

در موقعیت گوش راننده و دور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه غالب‌ترین فرکانس (۳۱۵ هرتز) سوخت B10، از بقیه سوخت‌ها تراز صدای کمتری دارد و همین امر سبب شده است که پایین‌ترین تراز صدای کلی موتور متعلق به این سوخت باشد. فرکانس ۳۱۵ هرتز متعلق به احتراق و ساختار آگزوز است که با انتخاب سوخت مناسب و بهینه‌سازی آگزوز می‌توان صدای موتور را تا حد قابل قبولی کاهش داد. با اعمال فیلتر A مشخص شد که صدای غالبی که به مغز انسان از موتور آزمایش می‌رسد، متعلق به فرکانس‌های ۳۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز است که منشأ احتراق و تشدید آگزوز دارد.

فیلتری که این تغییرات را بتواند شبیه‌سازی نماید به فیلتر A موسوم است. در شکل ۵ فرکانس‌های شنیده‌شده توسط گوش انسان نشان داده شده است. با مقایسه این شکل با شکل ۳ مشخص می‌شود که فرکانس‌های زیر ۱۰۰۰ هرتز با اعمال فیلتر A به شدت تضعیف می‌گردد. با اینکه سیگنال خام در فرکانس‌های پایین دارای پیک‌های قدرتمندی بود، اما انسان این پیک‌ها را با شدت بسیار کمتری دریافت می‌کند و در چنین حالتی است که نقش فرکانس‌های بالا (فرکانس‌های تولیدی احتراق) مشخص می‌شود. همان‌گونه که در این شکل پیداست، در فرکانس‌های مؤثر B10 تراز فشار کمتری دارد.

۷. مأخذ

- [1] Dewangan, K. N., G. V. Kumar, V. K. Tewari. "Noise characteristics of tractors and health effect on farmer." Department of Agricultural Engineering, North Eastern Regional Institute of Science. 2005.
- [2] Hong, Zh. J., H. Bing. "Analysis of engine front noise using sound intensity techniques." *Mechanical Systems and Signal Processing* 19 و 2005, pp. 213-221.
- [3] Hassan-Beigi, S. R. "Investigation and Analysis of Power Tiller Noise", PhD Thesis, TMU, Tehran, Iran, 2003.
- [4] Guangpu, L., B. Shihua, P. Hongxia. "Analysis of Noise Characteristics for Diesel Engine." 1-4244-0529-7/06 IEEE. 2006.
- [5] Hassan-Beigi, S. R., B. Ghobadian. "Noise attenuation characteristics of different road surfaces during power tiller transport." *Agricultural Engineering International*, 2005.
- [6] Pruvost, L., Q. Leclere, E. Parizet. "Diesel engine combustion and mechanical noise separation using an improved spectrofilter." *Mechanical Systems and Signal Processing* 23(7), 2009, pp. 2072-2087.
- [7] Yoshida, T., R. Miyamoto, M. Takada, K. Suzuki. "Adaptive noise canceller", Google Patents. 1995.
- [8] Bhattacharya, M., B. Ghobadian, S. C. Jain, N. Singh, P. S. Mehta. "An estimation of combustion and mechanical noise components of a small DI diesel", Proceeding of the National Symposium on Acoustics, Madras, India, 1992.
- [9] Taghizade, A. "Parametric Investigation of Vibration Signals for MF 399 Tractor Using Diesel and Biodiesel Fuels." PhD thesis. TMU, Tehran, Iran, 2012.
- [10] Albarbara, A., F. Gub, A. D. Ball. "Diesel engine fuel injection monitoring using acoustic measurements and independent component analysis." *Measurement* 43, 2010, pp. 1376-1386.

- [11] Anyu, C., J. Jide, D., Xiliang, Z. Andzhongkui. “Transient Sound Visualization and Application to Analysis of Engine Acoustic Characteristics by Continuous Wavelet Transform”, Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE 978-0-7695-4296-6/11. 2011.
- [12] Giakoumis, E. G., A. M. Dimaratos, C. D. Rakopoulos. “Experimental study of combustion noise radiation during transient turbocharged diesel engine operation.” *Energy* 36, 2011.
- [13] Rakopoulos, C. D., A. M., Dimaratos, E. G. Giakoumis. “Study of turbocharged diesel engine operation, pollutant emissions and combustion noise radiation during starting with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends.” *Applied Energy* 88, 2011, pp. 3905-3916.
- [14] Rossing, T. D., *Springer Handbook of Acoustics*, Springer, 1st edition, 2007.
- [15] Anonymous. “Operator ear sound level measurement procedure for small engine powered equipment.” *SAE J1174*. 1985.
- [16] Anonymous. “Acoustics: Tractors and machinery for engineering and forestry.” *Measurement of noise at operator’s position*, ISO 5131, 1996.
- [17] Anonymous. “National stationary exhaust noise test procedures for in-service motor vehicles”, National transport commission on behalf of the land transport environment committee, 2006.
- [18] Suggs, C. “Noise characteristics of field equipment.” *American Society of Agricultural Engineers*, 1987.
- [19] Harrison, M. “Vehicle Refinement Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles.” SAE International press, 1st edition, 2004.

پی نوشت

-
1. Winger-Ville Distribution
 2. Continuous Wavelet Transform
 3. ISO5131
 4. SAE J1174
 5. Microsoft Excel 2010
 6. Fast Fourier Transform
 7. DLEP