

بررسی و تحلیل سروصدای یک تراکتور دوچرخ در حال کشیدن یک تریلر در جاده آسفالت روستایی

سید رضا حسن بیگلی بیدگلی^۱، برات قبادیان^۱، پروین نصیری^۲ و نصرا...^۳ کمالیان

چکیده

در ایران علاوه بر به کارگیری تراکتورهای دوچرخ در انجام عملیات مزرعه‌ای، از آنها برای حمل و نقل بار و مسافر در جاده‌های آسفالت روستایی نیز استفاده می‌شود. علی‌رغم مشکلات ناشی از سروصدای این ماشین‌ها و آثار سوء همه جانبه آن بر کاربران و اطرافیان، تاکنون تحقیقات جامعی از نظر ارایه مدل‌های پیشگویی صدا روی آنها انجام نگرفته است. بررسی‌های اولیه در پژوهش حاضر بیانگر آن بود که تراز سروصدای تراکتور دوچرخ با توان ۱۳ اسب بخار در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه به 92 dB(A) می‌رسد که در مقایسه با حد استاندارد 85 dB(A) نگران‌کننده است. از این‌رو، مقاله حاضر نتیجه پژوهشی است که روی تراکتور دوچرخ با توان ۱۳ اسب بخار صورت گرفت، مکان آزمون براساس استانداردهای بین‌المللی مهیا گردید و سیگنال‌های سروصدای ساطع شده از دستگاه اندازه‌گیری شده و سپس در حوزه زمان و فرکانس در محدوده شنوایی انسان (۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز) مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که شدت صدا در موقعیت گوش راننده در مقایسه با موقعیت اطرافیان $7/74 \text{ dB(A)}$ تا $10/75 \text{ dB(A)}$ بیشتر است و سرعت موتور نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید سروصدا دارد که باید در کاربری‌های مختلف تراکتور دوچرخ مورد توجه قرار گیرد، زیرا تغییرات آن تا $8/5 \text{ dB(A)}$ در افزایش سروصدا تأثیر دارد. در نهایت مدل‌های پیشگویی تراز فشار صدای تراکتور دوچرخ در موقعیت گوش راننده و اطرافیان با استفاده از داده‌های آزمایش تعیین گردیده است.

واژه‌های کلیدی: سروصدا، تراکتور دوچرخ، تحلیل تراز فشار صدا، مدل پیشگویی سروصدا

مقدمه

مزرعه به وجود آورده است که از آن جمله می‌توان به سروصدای حاصل از کار این ادوات اشاره نمود (۹ و ۲۲). بنا به تعریف، هر صدای ناخواسته در گوش شنونده را سروصدا (Noise) می‌گویند. با توجه به هدفی که در این

ورود تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی به مزرعه مشکلات بسیاری را در ارتباط با ایمنی و سلامت شغلی حاصل از کار این دستگاه‌ها برای کاربران آنها و نیز کارگران مشغول به کار در

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
 ۲. استاد انستیتو تحقیقاتی بهداشتی، دانشگاه تهران
 ۳. استادیار مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

مقاله دنبال می‌شود، ترازهای صداهای بلند به حدی که به سیستم شنوایی انسان آسیب می‌رساند را به عنوان سروصدا تعریف کرده، می‌خواهد این صداها خوشایند باشند یا نباشند (۹، ۱۲ و ۲۰). مهم‌ترین آثار نامطلوب سروصدا بر روی انسان مواردی مانند افت شنوایی دائم و موقت، اثر روی سیستم بینایی، اثر بر سیستم تعادلی بدن (ایجاد حالت‌های گیجی، تهوع و اختلال در راه رفتن)، ایجاد ناراحتی‌های عصبی، ایجاد ناراحتی‌های روانی، کاهش بازده کار و افزایش ریسک حوادث، آثار فیزیولوژیکی روی بدن مانند افزایش ضربان قلب، فشار خون، مصرف اکسیژن و تعداد تنفس می‌باشد (۱۲، ۱۷ و ۲۰).

از آن جایی که سروصدا سلامتی انسان را به مخاطره می‌اندازد، انجمن‌ها و سازمان‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در کشورهای مختلف قوانینی را برای محدود کردن ساعت کار افراد در چنین محیط‌هایی وضع نموده‌اند. از جمله این مقررات می‌توان به قوانین انسیتیتو حفاظت و بهداشت حرفه‌ای (National Institute for Occupational Safety and Health) (NIOSH) اشاره نمود (۴). بنا به تعریف در معرض تراز سروصدای 85 dB(A) به مدت ۸ ساعت در روز یا در معرض تراز سروصدای 88 dB(A) به مدت ۴ ساعت در روز را یک دوز مجاز سروصدا (Noise dose) می‌گویند (۵). باید توجه داشت که در قوانین NIOSH دو عامل مهم وجود دارد، یکی تراز فشار صدا که بیانگر انرژی صوتی است و دیگری مدت زمانی است که شخص در معرض این انرژی صوتی قرار گرفته است. پژوهش‌های انجام شده توسط سلکی (۲۲) مشخص کرد که میانگین میزان سروصدای روزانه در ماه‌های مختلف سال در محدوده $1/8$ تا $5/7$ دوز می‌باشد. با توجه به موارد بیان شده و این که مدت زمان کارهای مزرعه در روز معمولاً بیشتر از ۸ ساعت می‌باشد، توصیه شده، تراز صدا بیشتر از 80 dB(A) نباشد و رساندن این مقدار به 75 dB(A) هدف کشورهای آمریکا، ایتالیا و نروژ است (۱۱).

بررسی‌های برسته و همکاران (۸) هم‌چنین دنیس و می (۱۳) نشان داد که تراز فشار صدا در موقعیت گوش راننده

تراکتورهای بدون اتاقک یا با اتاقک با پنجره‌های باز بسیار بیشتر از حد استاندارد بوده و در مواردی تراز سروصدا بالاتر از 95 dB(A) بوده است. در پژوهش دیگری بین (۶) گزارش کرد که اکثر تراکتورهای امروزی، تراز سروصدای بالاتر از 90 dB(A) تولید می‌کنند، در حالی که سایر ماشین‌های مزرعه مانند کمباین‌های خود محرک، ماشین ذرت چین، آسیاب چکشی و خشک‌کن‌ها ترازهای صدای بالاتر از 100 dB(A) تولید می‌کنند. تحقیقات انجام شده (۱۱) مشخص کرد که 20% از رانندگان تراکتور مشکل افت شنوایی دارند و از بین 2204 راننده تراکتوری که در نمایشگاه کشاورزی معاینه شدند، 33% دارای اختلال در سیستم شنوایی بوده‌اند، هم‌چنین بر اساس نتایج محققان ایتالیایی، افرادی که در حدود ۲۰ سال راننده تراکتور بوده‌اند، عملاً همه (93% از این افراد) دارای مقداری افت شنوایی هستند که 34% از آنها اختلالات شنوایی مهمی را تحمل می‌کنند و وضعیت در 3% از آنها بسیار وخیم بوده است. تحقیقات سلکی (۲۱) مشخص کرد که 56% از رانندگان تراکتور تحت مطالعه دارای افت شنوایی غیر قابل تحمل بیشتر از 20 dB(A) در محدوده فرکانس‌های ۳ تا ۶ کیلوهرتز در مقایسه با گروه شاهد با همان سن بوده‌اند و این مسئله بیشتر برای رانندگان با سن بالای ۳۰ سال بوده است.

در تحقیقی (۱۸) که پیرامون مسایل ارگونومیکی حاصل از استفاده از تراکتورهای دوچرخ با توان ۸ اسب بخار در بین ۲۰۰ کشاورز و ۱۰۰ آموزش‌دهنده ماشین‌های کشاورزی انجام گرفت، مشخص شد که ارتعاش و سروصدا سهم عمده‌ای در ایجاد صدمات در افراد تحت بررسی داشته‌اند. در پژوهش دیگری (۷) بیان شده که تراز بالای سروصدای ایجاد شده توسط تراکتورهای دوچرخ سبب شده که محققان به تحقیق پیرامون استفاده از موتورهای الکتریکی به جای موتورهای احتراق داخلی در این گونه تراکتورها بپردازند.

در ایران علاوه بر به کارگیری تراکتورهای دوچرخ در انجام عملیات مزرعه‌ای، از آنها برای حمل و نقل بار و مسافر به خصوص در جاده‌های آسفالت روستایی استفاده می‌شود.

انتخاب شود.

ج) ابزارها و تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده حتی الامکان داده‌های ضروری را به طور دقیق اندازه‌گیری و ضبط نماید.

مشخصات پیست آزمون

ویژگی‌های مکان آزمون تراکتور دوچرخ بر اساس استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد (۳ و ۵) و انجمن مهندسان خودرو (۱ و ۲) انتخاب گردید تا ناحیه اندازه‌گیری مکانی مسطح و باز و دارای پوشش عاری از خاکستر یا برف باشد. سطوح منعکس کننده بزرگ مانند ساختمان‌ها، ماشین‌های دیگر، تابلوهای تبلیغاتی و درختان در فاصله‌ای با شعاع حداقل ۱۵ متر از تراکتور دوچرخ مورد آزمون یا میکروفون (R در شکل ۱) قرار داشته و سرعت باد در هنگام اندازه‌گیری کمتر از ۵ m/s یا ۱۹ km/h باشد. علاوه بر این ممنوعیت اندازه‌گیری در هنگام باریدن برف یا باران یا رعد و برق و این که تراز صدای محیط باید حداقل ۱۰ dB(A) کمتر از تراز صدای مورد اندازه‌گیری باشد، رعایت شد. برای بررسی آثار سروصدای تراکتور دوچرخ بر روی راننده و اطرافیان اندازه‌گیری‌ها به دو صورت زیر انجام شد:

الف) اندازه‌گیری طیف سروصدای ساطع شده از تراکتور دوچرخ در موقعیت گوش راننده.

ب) اندازه‌گیری طیف سروصدای ساطع شده از تراکتور دوچرخ در موقعیت گوش راننده، میکروفون در ارتفاع ۱/۷ متر از سطح مسیر آزمون به صورت افقی و به فاصله ۱۰۰ میلی‌متر از گوش راست راننده نصب گردید (۱). شکل ۱ ابعاد ناحیه اندازه‌گیری صدا و تجهیزات اندازه‌گیری صدای نصب شده روی تراکتور دوچرخ در حال انجام آزمایش را نشان می‌دهد. در شکل ۱، فاصله R حداقل ۱۵ متر، L (طول مسیر حرکت تراکتور دوچرخ) حداقل ۱۰ متر و W (عرض جاده) حداقل ۲ متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری طیف تراز سروصدای تراکتور دوچرخ در موقعیت اطرافیان، میکروفون در ارتفاع ۱/۲ متر از

آزمایش‌های انجام شده اولیه در پژوهش حاضر بیانگر آن بود که تراز سروصدای تراکتور دوچرخ با توان ۱۳ اسب بخار در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه، به ۹۲ dB(A) می‌رسد که در مقایسه با حد استاندارد ۸۵ dB(A) نگران کننده است. از طرف دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداقل تاکنون این موضوع در ایران بررسی نشده است.

با توجه به مواردی که بیان شد مشخص می‌شود که تولید سروصدا از مشکلات اساسی ماشین‌های کشاورزی است و این مسئله به ویژه در مورد ماشین‌های دارای موتورهای کوچک که وزن، فضا و محدودیت‌های دیگر، اجازه نصب تجهیزات کافی جاذب سروصدا بر روی آنها را نمی‌دهد بیشتر صدق می‌کند. تراکتورهای دوچرخ کشاورزی در گروه این ماشین‌ها قرار دارند، زیرا محدودیت‌های تراکتور دوچرخ اجازه نصب اتاقک راننده را نمی‌دهد (۹). بنابراین هرگونه تلاشی در جهت کاهش تراز سروصدای آن باید در جهت کاهش سروصدای منابع تولید سروصدا باشد. به همین دلیل، نخست باید منابع عمده تولید سروصدای دستگاه، مورد شناسایی و تحقیق قرار گیرد. با شناسایی منابع عمده تولید سروصدای دستگاه و طراحی مجدد یا ایجاد تغییرات در طراحی منابع عمده تولید سروصدا می‌توان سروصدای دستگاه را کاهش داد. پیش‌زمینه این تلاش‌ها بررسی، تحلیل و ارایه مدل‌های پیشگویی سروصدا است که در این تحقیق مورد توجه بوده و نتایج آن اساس این مقاله را تشکیل می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش سیگنال‌های سروصدای تراکتور دو چرخ میتسویشی نو و در وضعیت سالم که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است، اندازه‌گیری و ضبط شد (۱۴). برای انجام این کار تلاش گردید تا:

الف) قبل از انجام آزمون‌ها، متغیرها و محدوده تغییرات آنها به طور دقیق بررسی شود.

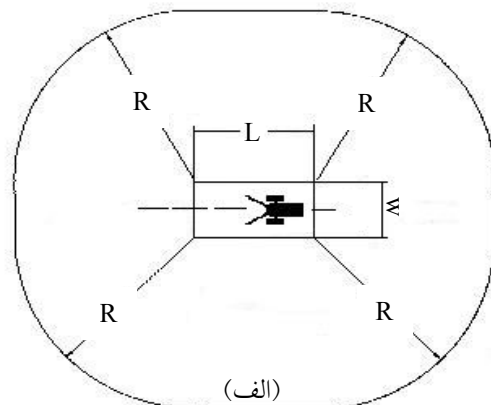
ب) پیست (مکان) آزمون به طور دقیق و صحیح طراحی و

جدول ۱. مشخصات تراکتور دوچرخ مورد آزمون

مشخصات موتور	مشخصات سایر مشخصات
سیستم احتراق	نوع کلاچ
تعداد سیلندر	سرعت حرکت رو به جلو
سیکل کاری	عقب فرمان
سیستم تغذیه هوا	فاصله بین چرخ‌ها
نسبت تراکم	
سیستم خنک کاری	
دور اسمی موتور	
توان در دور اسمی	
پاشش غیر مستقیم	خشک، چند صفحه‌ای
یک سیلندر	
۴ زمانه	
تنفس طبیعی	
۲۰ به ۱	
آب خنک	
۲۲۰۰ rpm	
۱۳ hp	
	۶ مرحله
	۲ مرحله
	کلاچ‌های تعبیه شده در چرخ‌ها
	۶۱ - ۴۹ cm



(ب)



(الف)

شکل ۱ (الف) ابعاد ناحیه اندازه‌گیری صدا (ب) تراکتور دوچرخ و تجهیزات اندازه‌گیری صدا در موقعیت گوش راننده

نسبت به طول مسیر حرکت تراکتور دوچرخ) حداقل ۷/۵ متر می‌باشد.

تجهیزات اندازه‌گیری تجهیزات، وسایل، ابزارهای اندازه‌گیری و ضبط سروصدای تراکتور دوچرخ در حوزه زمان که در این پژوهش استفاده شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

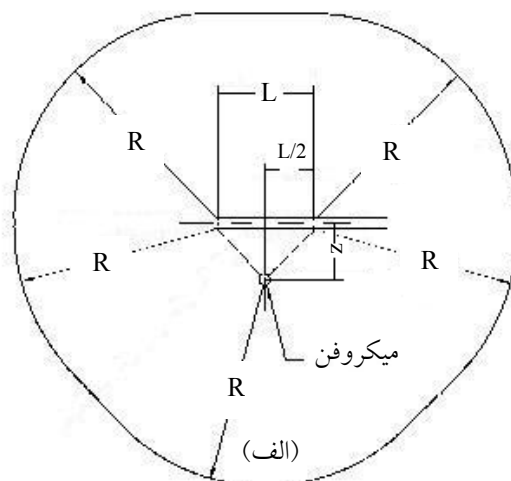
تجهیزات اندازه‌گیری

سطح مسیر آزمون و به فاصله ۷/۵ متر از خط مرکزی عبور تراکتور دوچرخ (Z در شکل ۲) در حالی که میکروفون افقی است، نصب گردید (۲). شکل ۲ ابعاد ناحیه اندازه‌گیری صدا، هم‌چنین تراکتور دوچرخ همراه با تجهیزات اندازه‌گیری و ضبط صدای نصب شده بر پایه در حال انجام آزمایش را نشان می‌دهد. در شکل ۲ نیز R حداقل ۳۰ متر، L (طول مسیر حرکت تراکتور دوچرخ) حداقل ۱۴/۵ متر و Z (موقعیت میکروفون

۲۲۸



(ب)



(الف)

شکل ۲ الف) ابعاد ناحیه اندازه‌گیری صدا ب) تراکتور دوچرخ و تجهیزات اندازه‌گیری صدا در موقعیت اطرافیان

جدول ۲. مشخصات ابزارهای اندازه‌گیری

نام ابزار اندازه‌گیری	حساسیت	گستره / ظرفیت	دقت	مدل و ساخت
میکروفن	۵۰ mV/Pa	۲۰-۱۴۶ dB	-	B&K 4415 دانمارک
صداسنج	-	۳۰-۱۴۰ dB	۰/۱ dB	B&K 2230 دانمارک
دورسنج	-	۰/۵-۱۹۹۹۹ rpm	۱ rpm بیشتر از ۱۰۰۰ rpm	Lutron DT-2236 تایوان
دماسنج	-	-۱۰-۵۰ °C	۰/۱ °C	آلمان Testo
بادسنج	-	۰-۱۵ m/s	۰/۰۱ m/s	آلمان Testo
کامپیوتر قابل حمل	-	-	-	Toshiba Satellite D 2235 مالزی
کارت صدا	-	-	۱۶ بیت	Yamaha OPL3-SAX ژاپن
حافظه RAM	-	۶۴ مگا بایت	-	ژاپن NEC
دیسک سخت	-	۸ گیگا بایت	-	ژاپن NEC

انتخاب محدوده تغییرات متغیرها و جدول آزمون‌ها

قبل از مبادرت به انجام آزمون‌ها، لازم بود در مورد محدوده تغییرات متغیرها یعنی: سرعت دورانی موتور، نسبت دنده در جعبه دنده و موقعیت میکروفون تصمیم‌گیری شود. محدوده تغییرات متغیرها طوری انتخاب شد، که بیشترین حالت‌های کار عادی تراکتور دوچرخ روی سطح آسفالت را در برگیرد. پس از تعیین محدوده تغییرات متغیرها، جدول آزمون‌ها بر اساس آزمایش کرت‌های خرد شده فاکتوریل (Split Plot Factorial) با

طرح پایه کاملاً تصادفی استخراج گردید (۱۹) که در جدول ۳ آورده شده‌اند. مجموع ترکیب‌های تیماری با ۴ تکرار برای آزمون‌ها به ۱۲۸ مورد رسید. برای واقعی بودن هرچه بیشتر آزمایش‌ها ۷۵۰ کیلوگرم وزنه درون تریلر قرار داده شد که با احتساب وزن راننده و کاربر کامپیوتر در مجموع باری به میزان ۹۰۰ کیلوگرم در هنگام انجام آزمایش‌ها توسط تراکتور دوچرخ کشیده شد. با توجه به بررسی‌ها و انجام آزمایش‌های مقدماتی مشخص گردید که سیگنال‌های صدای ساطع شده از تراکتور

جدول ۳. ماتریس اندازه‌گیری سیگنال‌های سروصدای تراکتور دوچرخ

سطوح متغیرها				متغیرها
۴	۳	۲	۱	
۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۶۵۰	۱۳۰۰	سرعت موتور (دور بر دقیقه)
۳ سنگین	۳ سبک	۲ سنگین	۲ سبک	نسبت دنده در جعبه دنده
-	-	اطرافیان	گوش راست راننده	موقعیت میکروفن

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقادیر تراز صدای کلی

میانگین مربعات تراز صدای کلی	درجه آزادی	منبع تغییرات
۰/۰۲۲ NS	۳	تکرار
۲۹۸۱/۸۵۰ **	۱	موقعیت میکروفون
۰/۰۴۹	۳	خطا
۳۴۷/۲۳۱ **	۳	سرعت موتور
۱۴/۱۶۴ **	۳	موقعیت میکروفون × سرعت موتور
۱/۰۸۰ **	۳	نسبت دنده
۰/۷۵۴ **	۳	موقعیت میکروفون × نسبت دنده
۰/۱۵۷ **	۹	سرعت موتور × نسبت دنده
۰/۱۸۶ **	۹	موقعیت میکروفون × سرعت موتور × نسبت دنده
۰/۰۲۲	۹۰	خطا

*: معنی‌دار در سطح ۱٪ / NS: یعنی معنی‌دار نیست.

(۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز) به همراه دستگاه صداسنج برای اندازه‌گیری فشار صدا استفاده شد. تغییرات فشار هوا توسط میکروفون نصب شده روی دستگاه صداسنج به تغییرات ولتاژ تبدیل شد. ولتاژ آنالوگ خروجی دستگاه صداسنج به کارت صدای کامپیوتر وصل شده تا عمل تبدیل آنالوگ به رقمی (A/D) روی آن انجام شود. برای انجام صحیح عمل تبدیل آنالوگ به رقمی طبق معیار نایکوئیست (Nyquist criteria) لازم بود، سرعت نمونه برداری حداقل ۲ برابر حداکثر فرکانس باشد (۱۲ و ۱۷). از آن جایی که حداکثر فرکانس طیف شنوایی انسان ۲۰۰۰۰ Hz می‌باشد، بنابراین در این پژوهش سرعت نمونه‌برداری ۴۸۰۰۰ Hz در نظر گرفته شد. انتقال داده‌ها نیز به صورت ۱۶ بیتی انجام پذیرفت تا خطای کوانتیزه کردن (Quantisation error) داده‌ها در حد ۰/۰۰۰۰۱۵ در صد یعنی عملاً نزدیک به صفر باشد. سپس سیگنال‌های رقمی ایجاد شده

دوچرخ به طور متناوب تکرار می‌شوند. از این‌رو در هر آزمون حداقل به مدت ۱۰ ثانیه، سیگنال صدا ضبط شد. در مرحله تحلیل اولیه داده‌ها در حوزه زمان از ۱۰ ثانیه سیگنال ضبط شده، بین ۱/۵ تا ۳ ثانیه سیگنالی انتخاب گردید که تقریباً یکنواخت بوده و کمترین تغییرات ممکن در بین قله‌های سیگنال مورد انتخاب وجود داشته باشد تا دقت آزمایش‌ها بیشترین مقدار ممکن باشد.

اخذ (Data Acquisition) و پردازش داده‌ها

اغتشاشات فشار هوا که به وسیله گوش انسان احساس می‌شود، صدا را تشکیل می‌دهند. فشار صدا را به طور عمده با استفاده از یک حسگر آکوستیکی به نام میکروفون می‌توان اندازه‌گیری نمود. در این پژوهش از میکروفونی با پاسخ فرکانسی تخت (Flat frequency response) در کل محدوده شنوایی انسان

استفاده از رابطه ۱ انجام گرفت، نمونه‌ای از این تبدیل در شکل ۴ نشان داده شده است.

$$SPL = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0} \quad [1]$$

در این رابطه :

SPL = تراز فشار صدا (dB)

P = فشار صدا (Pa)

P₀ = فشار مبنا یعنی ۲۰ μ Pa

عدم قطعیت‌های موجود در سیگنال‌های بانده باریک تراز فشار صدا که در اثر تغییرات نسبتاً زیاد لحظه‌ای، خطاهای حاصل از تبدیل آنالوگ به رقمی و غیر خطی بودن رفتار دستگاه‌های اندازه‌گیری سبب می‌شود، نوعی ناپایداری در داده‌ها به وجود آید که باعث کم شدن قابلیت اطمینان داده‌ها در این حالت می‌شود. برای غلبه بر این موارد نیاز است سیگنال‌های بانده باریک حوزه فرکانس صدا به طیف ۱/۳ اکتاو و اکتاو تبدیل گردد (۱۲، ۱۵ و ۱۷)، که این عمل با اضافه کردن زیر برنامه‌ای به برنامه کامپیوتری نوشته شده انجام پذیرفت. با مقایسه طیف سیگنال‌های یک سوم اکتاو و اکتاو حاصل از آزمایش‌ها می‌توان به تأثیر متغیرهای مختلف در تراز سروصداهای تولید شده توسط دستگاه در حالت‌های کاری پی برد.

در بانده اکتاو جزئیات تغییرات سیگنال‌ها به خوبی نمایان نمی‌شود، به همین علت در کارهای تحلیلی از سیگنال‌های ۱/۳ اکتاو استفاده می‌شود که علی‌رغم دارا بودن پایداری، جزئیات بیشتری را مشخص می‌کنند، بنابراین در این پژوهش داده‌ها بر اساس طیف ۱/۳ اکتاو تحلیل شده‌اند. علاوه بر تحلیل ۱/۳ اکتاو سیگنال‌های صدا، در این پژوهش سیگنال‌ها به صورت تراز سروصدای کلی (Overall sound pressure level) که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد، نیز تحلیل شدند.

$$O.A.SPL = 10 \cdot \log(10^{spl_1} + 10^{spl_2} + \dots) \quad [2]$$

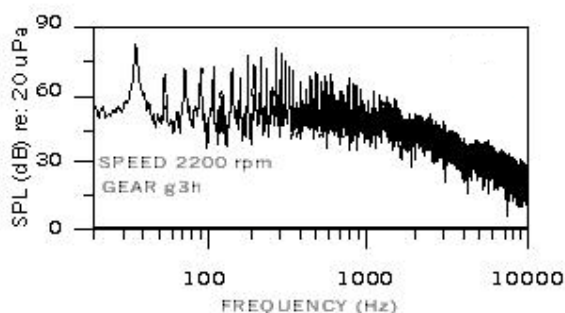
در این رابطه:

O.A.SPL = تراز فشار صدای کلی (dB)

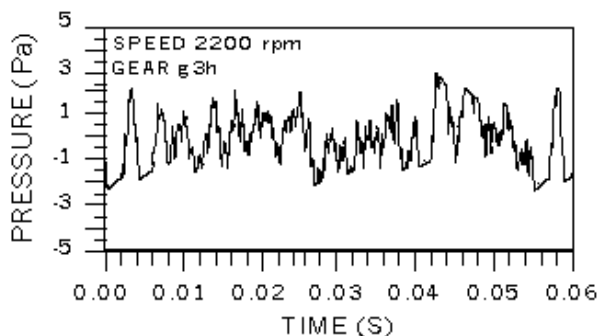
Spl_i = تراز فشار صدا در فرکانس‌های مختلف (dB)

توسط کارت صدا با استفاده از نرم افزار CoolEdit 2000 نصب شده روی کامپیوتر قابل حمل، بر روی دیسک سخت کامپیوتر ذخیره گردید.

سیگنال‌های صدای ساطع شده از تراکتور دوچرخ متناوب بوده، دارای تعداد زیادی فرکانس می‌باشد که در کل گستره شنوایی انسان قرار دارند. بررسی‌های قبادیان و همکاران (۱۵) نشان داد که دوره تناوب سیگنال‌های صدا متناسب با سرعت دورانی موتور می‌باشد. بنابراین افزایش سرعت دورانی موتور باعث می‌شود که احتراق در موتور سریع‌تر صورت پذیرد و این بدین معنی است که دوره تناوب سیگنال صدا کمتر می‌شود که این پدیده محدودیت‌های بسیاری را در جهت اخذ و پردازش سیگنال‌های صدا به وجود می‌آورد. با توجه به این که اندازه‌گیری و پردازش سیگنال‌های فشار صدا ابزار مفیدی را در اختیار طراحان قرار می‌دهد تا تراکتوری با کارایی بهتر و از نظر سروصدا ساکت‌تر طراحی کنند، تلاش گردید تا اندازه‌گیری‌ها و پردازش سیگنال‌های صدا با دقت زیادی انجام پذیرد. هدف از تحلیل داده‌ها به دست آوردن اطلاعات کافی از سیگنال‌های فشار صدا در حوزه زمان است، شکل ۳ نمونه‌ای از سیگنال صدا در حوزه زمان را نشان می‌دهد. با توجه به این که تنها اطلاعات محدودی را می‌توان از سیگنال‌های حوزه زمان به دست آورد و این نکته که پاسخ گوش و احساس صدا در انسان بستگی زیادی به فرکانس دارد، لازم است سیگنال‌های صدا را از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل نمود (۱۲). برای این کار نخست نیاز است که سیگنال‌های پیوسته در حوزه زمان به سیگنال‌های گسسته تبدیل شوند. برای تبدیل سیگنال‌های حوزه زمان به حوزه فرکانس از روش تبدیل فوریه سریع (Fast Fourier Transform) (FFT) استفاده شد (۱۲ و ۱۷). به همین جهت برنامه کامپیوتری برای انجام این کار نوشته شد. با استفاده از این برنامه طیف بانده باریک (Narrow band) فشار صدا در حوزه فرکانس به دست آمد. برای بررسی بهتر و دقیق‌تر لازم است طیف بانده باریک فشار صدا در حوزه فرکانس به طیف بانده باریک تراز فشار صدا تبدیل شود که این کار با



شکل ۴. نمونه‌ای از طیف باند باریک تراز فشار صدا در حوزه فرکانس، سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه و دنده ۳ سبک



شکل ۳. نمونه‌ای از سیگنال فشار صدا در حوزه زمان، سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه و دنده ۳ سبک

برهمکنش اثر سرعت دورانی موتور و موقعیت میکروفون برهمکنش اثر سرعت دورانی موتور و موقعیت میکروفون بر مقادیر تراز صدای کلی در جدول ۵ ارایه شده‌اند. با افزایش سرعت موتور میانگین تراز صدای کلی دستگاه در موقعیت گوش راست راننده و اطرافیان افزایش یافته و تفاوت بین هر ۴ سطح سرعت موتور در سطح ۱٪ معنی‌دار است، به جز میانگین مربوط به سرعت موتور ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه در موقعیت راننده که تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان نمی‌دهد. داده‌های این جدول هم‌چنین نشان می‌دهد که حداکثر افزایش معنی‌دار تراز صدای کلی در اثر افزایش سرعت موتور از ۱۳۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه برای میکروفون در موقعیت گوش راننده و اطرافیان به ترتیب ۶/۰۸ dB(A) و ۸/۶۴ dB(A) بوده و نسبت تغییرات به نحوی است که افزایش سرعت موتور از ۱۳۰۰ به ۱۶۵۰ دور بر دقیقه در موقعیت گوش راننده و اطرافیان میانگین‌های تراز صدای کلی به ترتیب ۳/۴۹ dB(A) و ۳/۰۴ dB(A) افزایش می‌یابند. با افزایش سرعت موتور از ۱۶۵۰ به ۲۰۰۰ دور بر دقیقه در موقعیت گوش راننده و اطرافیان، میانگین‌های تراز صدا به ترتیب ۲/۴۸ dB(A) و ۳/۴۱ dB(A) افزایش می‌یابد و در آخر افزایش سرعت موتور از ۲۰۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه در موقعیت گوش راننده سبب افزایش معنی‌دار تراز صدای کلی دستگاه در سطح ۱٪ نمی‌شود،

داده‌های به دست آمده در این پژوهش، به کمک نرم افزار اس. پی. اس. اس (SPSS) آنالیز رگرسیون شدند تا مدل‌های پیشگویی تراز صدای کلی تراکتور دوچرخ در حال کشیدن یک تریلر در جاده آسفالت روستایی برای میکروفون قرار گرفته در موقعیت گوش راست راننده و اطرافیان بر اساس متغیرهای سرعت دورانی موتور و نسبت دنده جعبه دنده به دست آیند. در ضمن کلیه آزمون‌های مقایسه میانگین‌های سطوح آثار اصلی و متقابل متغیرها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفتند.

نتایج و بحث

در این قسمت نخست آنالیز واریانس داده‌های حاصل از تحلیل صدای منتشر شده از تراکتور دوچرخ به صورت تراز کلی سروصدا ارایه و در ادامه به تحلیل صدا در طیف ۱/۳ اکتاو پرداخته می‌شود. جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس مقادیر تراز صدای کلی در حالت حمل و نقل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود اثر متغیرهای موقعیت میکروفون، سرعت موتور و نسبت دنده بر مقادیر تراز صدای کلی تراکتور دوچرخ در سطح ۱٪ و آثار متقابل متغیرها نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند. در ادامه برهمکنش اثر متغیرها بر مقادیر تراز صدای کلی به تفکیک مورد بحث قرار می‌گیرد.

۹/۸۶، ۹/۶۱ dB(A)، ۹/۹۱ dB(A) و ۹/۲۴ dB(A) می‌باشد.

برهمکنش اثر سرعت موتور و نسبت دنده

برهمکنش اثر سرعت موتور و نسبت دنده در جدول ۷ گزارش شده است. از این جدول پیداست که در هر ۴ سطح نسبت دنده نیز با افزایش سرعت موتور، میانگین‌های تراز صدای کلی دستگاه به طور معنی‌داری افزایش صعودی یافته و در کلیه سطوح نسبت دنده اختلاف بین ۴ سطح سرعت موتور در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. با افزایش سرعت موتور از ۱۳۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه در نسبت دنده‌های ۲ سنگین، ۳ سنگین، ۲ سبک و ۳ سبک میانگین‌های تراز صدا به ترتیب ۷/۱۸ dB(A)، ۷/۲۶ dB(A)، ۷/۵۵ dB(A) و ۷/۴۶ dB(A) افزایش داشته‌اند. از جدول ۷ دریافت می‌شود که در سرعت‌های موتور ۱۳۰۰ و ۱۶۵۰ دور بر دقیقه تفاوت میانگین‌های تراز صدای کلی در دنده‌های ۲ سنگین، ۳ سنگین و ۲ سبک در سطح ۱٪ معنی‌دار نمی‌باشد ولی تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ بین میانگین مربوط به دنده ۳ سبک با سایر سطوح نسبت دنده دیده می‌شود. در سرعت موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه بین میانگین‌های تراز صدا در دنده‌های ۲ سنگین و ۳ سبک با هم در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود، در حالی که تفاوت میانگین‌های دنده‌های ۲ سنگین و ۳ سبک با سایر سطوح نسبت دنده در سطح ۱٪ معنی‌دار است. تفاوت میانگین‌های مربوط به دنده‌های ۳ سنگین و ۲ سبک با هم در سطح ۱٪ معنی‌دار نیست در صورتی که تفاوت میانگین‌های مذکور با سایر سطوح نسبت دنده در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ بین میانگین‌های دنده‌های ۲ سنگین و ۳ سنگین با هم وجود ندارد، ولی تفاوت‌های میانگین‌های نامبرده با سایر سطوح نسبت دنده در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه تفاوت میانگین‌های دنده‌های ۲ سبک و ۳ سبک با هم و با سایر سطوح نسبت دنده در سطح ۱٪ معنی‌دار است. داده‌های جدول ۶ هم‌چنین نشان می‌دهد که در سرعت‌های موتور

اما در موقعیت اطرافیان میانگین تراز صدا ۲/۱۹ dB(A) و افزایش می‌یابد. از جدول ۵ پیداست که در کلیه سطوح سرعت موتور تفاوت بین میانگین‌های تراز صدای کلی دستگاه برای میکروفون در موقعیت گوش راننده و اطرافیان در سطح ۱٪ معنی‌دار است. داده‌های جدول ۵ هم‌چنین نشان می‌دهد که در سرعت‌های موتور ۱۳۰۰، ۱۶۵۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه حداکثر تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های تراز صدای کلی در موقعیت راننده و اطرافیان به ترتیب ۱۰/۳۰ dB(A)، ۱۰/۷۵ dB(A)، ۹/۸۲ dB(A) و ۷/۷۴ dB(A) می‌باشد.

برهمکنش اثر نسبت دنده جعبه دنده و موقعیت قرارگیری میکروفون

برهمکنش اثر نسبت دنده جعبه دنده و موقعیت قرارگیری میکروفون در جدول ۶ گزارش شده‌اند. از این جدول پیداست که برای میکروفون در موقعیت گوش راننده تفاوت بین میانگین‌های تراز صدای کلی دستگاه برای نسبت دنده‌های ۲ سنگین، ۲ سبک و ۳ سبک در سطح ۱٪ معنی‌دار نیست و تفاوت بین میانگین مربوط به دنده ۳ سنگین با میانگین سایر دنده‌های دیگر در سطح ۱٪ معنی‌دار است. برای میکروفون در موقعیت اطرافیان تفاوت بین میانگین‌های مربوط به نسبت دنده‌های ۲ سنگین، ۳ سنگین و ۲ سبک در سطح ۱٪ معنی‌دار نیستند، در صورتی که تفاوت معنی‌داری بین میانگین مربوط به دنده ۳ سبک با سایر سطوح نسبت دنده در سطح ۱٪ دیده می‌شود. داده‌های جدول ۶ نشان می‌دهد که برای میکروفون در موقعیت گوش راننده و اطرافیان حداکثر تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های تراز صدای کلی در سطوح مختلف نسبت دنده به ترتیب ۰/۲۹ dB(A) و ۰/۶۶ dB(A) است. داده‌های این جدول هم‌چنین نشان می‌دهد که در کلیه سطوح مختلف نسبت دنده تفاوت میانگین‌های تراز صدا در موقعیت راننده و اطرافیان در سطح ۱٪ معنی‌دار است. هم‌چنین در دنده‌های ۲ سنگین، ۳ سنگین، ۲ سبک و ۳ سبک تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های تراز صدای کلی در موقعیت راننده و اطرافیان به ترتیب dB(A)

جدول ۵. تأثیر موقعیت میکروفن و سرعت موتور بر مقادیر تراز صدای کلی بر حسب dB(A)

سرعت دورانی موتور (دور بر دقیقه)				موقعیت میکروفن راننده
۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۶۵۰	۱۳۰۰	
۹۱/۴۲ a	۹۱/۳۱ a	۸۸/۸۳ b	۸۵/۳۴ c	اطرافیان
۸۳/۶۸ d	۸۱/۴۹ e	۷۸/۰۸ f	۷۵/۰۴ g	

میانگین‌های موجود در هر ردیف یا ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۶. تأثیر موقعیت میکروفن و نسبت دنده بر مقادیر تراز صدای کلی بر حسب dB(A)

نسبت دنده جعبه دنده				موقعیت میکروفن راننده
۳ سبک	۲ سبک	۳ سنگین	۲ سنگین	
۸۹/۲۸ a	۸۹/۳۴ a	۸۹/۰۵ b	۸۹/۲۴ a	اطرافیان
۸۰/۰۴ c	۷۹/۴۳ d	۷۹/۴۴ d	۷۹/۳۸ d	

میانگین‌های موجود در هر ردیف یا ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۷. تأثیر سرعت موتور و نسبت دنده بر مقادیر تراز صدای کلی

نسبت دنده جعبه دنده				سرعت موتور (دور بر دقیقه)
۳ سبک	۲ سبک	۳ سنگین	۲ سنگین	
۸۰/۴۷ h	۸۰/۱۳ i	۸۰/۰۸ i	۸۰/۰۸ i	۱۳۰۰
۸۳/۷۴ f	۸۳/۴۶ g	۸۳/۲۸ g	۸۳/۳۶ g	۱۶۵۰
۸۶/۵۱ d	۸۶/۲۷ e	۸۶/۲۸ e	۸۶/۵۴ d	۲۰۰۰
۸۷/۹۳ a	۸۷/۶۸ b	۸۷/۳۴ c	۸۷/۲۶ c	۲۲۰۰

میانگین‌های موجود در هر ردیف یا ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری ندارند.

ساکس (۲۴) نیز نشان دهنده کاهش تراز صدای تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی در موقعیت اطرافیان نسبت به موقعیت گوش راننده است. افزایش سرعت موتور در هر ۴ سطح در کلیه سطوح نسبت دنده و موقعیت قرارگیری میکروفن (به جز سطح ۳ و ۴ سرعت موتور در موقعیت راننده) اثر معنی‌داری در سطح ۰/۱ بر افزایش تراز صدای کلی دستگاه داشته است، به طوری که افزایش سرعت موتور از ۱۳۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه در سطوح مختلف نسبت دنده و موقعیت میکروفن باعث افزایش معنی‌دار تراز صدای کلی در محدوده dB(A) ۶/۰۸ تا dB(A) ۸/۴۶ شده است. نتایج تحقیقات کروکر (۱۰)، میر و همکاران (۱۹)، قبادیان و همکاران (۱۵) و ساکس (۲۴) نیز نشان دهنده افزایش تراز صدای کلی تراکتورها و ماشین‌های

۱۶۵۰، ۱۳۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه، حداکثر تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های تراز صدا بین سطوح مختلف نسبت دنده به ترتیب dB(A) ۰/۴۰، dB(A) ۰/۴۶، dB(A) ۰/۲۷ و dB(A) ۰/۶۷ می‌باشد.

به طور کلی می‌توان بیان داشت که تغییر موقعیت قرارگیری میکروفن از گوش راست راننده به اطرافیان در کلیه سطوح سرعت موتور و نسبت دنده اثر معنی‌داری در سطح ۰/۱ در کاهش تراز صدای کلی دستگاه در محدوده dB(A) ۷/۷۴ تا dB(A) ۱۰/۷۵ داشته است که علت آن مربوط به افزایش فاصله میکروفن تا منابع تولید صدای دستگاه و نیز آثار میرایی محیط و جاده می‌باشد (۱۱ و ۱۲). پژوهش‌های انجام شده توسط کروکر (۱۰)، کروکر و ایوانف (۱۱)، میر و همکاران (۱۹) و

کلی منتشر شده از تراکتور دوچرخ در هریک از موقعیت‌های گوش راست راننده و اطرافیان نشان داد که متغیر مستقل نسبت دنده تأثیر معنی‌دار آماری بر تراز صدای کلی دستگاه ندارد. بنابراین، در نظر گرفتن متغیر سرعت دورانی موتور به تنهایی در هنگام ارائه مدل‌های پیشگویی تراز صدای کلی دستگاه کافی است. با چنین هدفی، مدل‌هایی برای داده‌های نشان داده شده در شکل ۷ بر اساس تحلیل رگرسیون ارائه شد که در روابط ۳ و ۴ آمده‌اند. مقایسه مقادیر پیشگویی شده تراز صدای کلی با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که خطای مدل‌ها کمتر از ± 0.6 dB(A) می‌باشد و مدل‌ها در عین سادگی دارای دقت بسیار خوبی هستند (۱۶).

الف) مدل پیشگویی تراز فشار صدای کلی تراکتور دوچرخ در موقعیت گوش راننده:

$$L_A = -6/424 \times 10^{-6} N^2 + 0.0295N + 57/722 \quad [3]$$

ب. مدل پیشگویی تراز فشار صدای کلی تراکتور دوچرخ در موقعیت اطرافیان:

$$L_A = 2/757 \times 10^{-6} N^2 + 7.0/356 \quad [4]$$

در این روابط:

L_A = تراز فشار صدای کلی منتشر شده از تراکتور دوچرخ (dBA)

N = سرعت موتور تراکتور دوچرخ (rpm)

به طور خلاصه می‌توان بیان داشت که سهم زیادی از سروصدای تولید شده توسط تراکتور دوچرخ مربوط به موتور دستگاه می‌باشد که مدلی قدیمی است و در طراحی آن ملاحظات آکوستیکی لحاظ نگردیده است. بنابراین به منظور کاهش سروصدای دستگاه در درجه اول باید با استفاده از سکوی آزمون در محیط‌های آکوستیک مخصوص آزمایش موتور، بر روی موتور تنها، بررسی‌های لازم صورت گرفته و با استفاده از نتایج این پژوهش‌ها در طراحی موتور از نظر تضعیف صدا تغییراتی ایجاد گردد تا سروصدای موتور کاهش یابد.

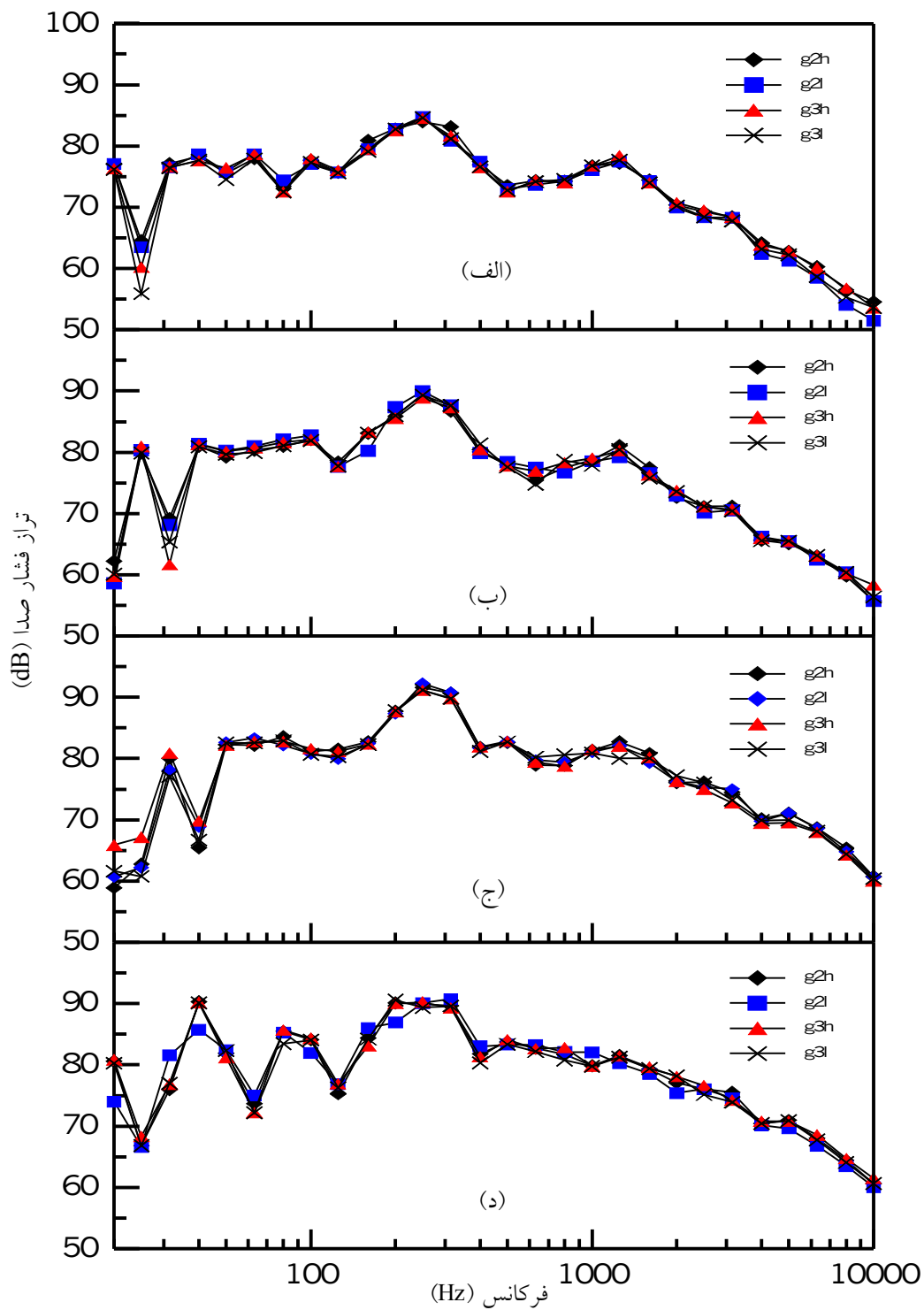
مقادیر تراز صدای کلی اندازه‌گیری شده در این پژوهش نشان داد که شدت صدا در موقعیت گوش راننده در کلیه

خود محرک کشاورزی در اثر افزایش سرعت موتور می‌باشد. اثر کلیه سطوح متغیر نسبت دنده بر تغییرات تراز صدای کلی در بعضی از سطوح سرعت موتور و موقعیت میکروفون با تفاوت‌های در محدوده 0.27 dB(A) تا 0.67 dB(A) در سطح $1/1$ معنی‌دار بود، ولی در بیشتر موارد این اثر معنی‌دار نبود. نتایج پژوهش‌های میر و همکاران (۱۹) و ساکس (۲۴) نیز نشان دهنده اثر کم متغیر نسبت دنده در ایجاد تغییرات در تراز صدای کلی تراکتورها و ماشین‌های خود محرک کشاورزی می‌باشد.

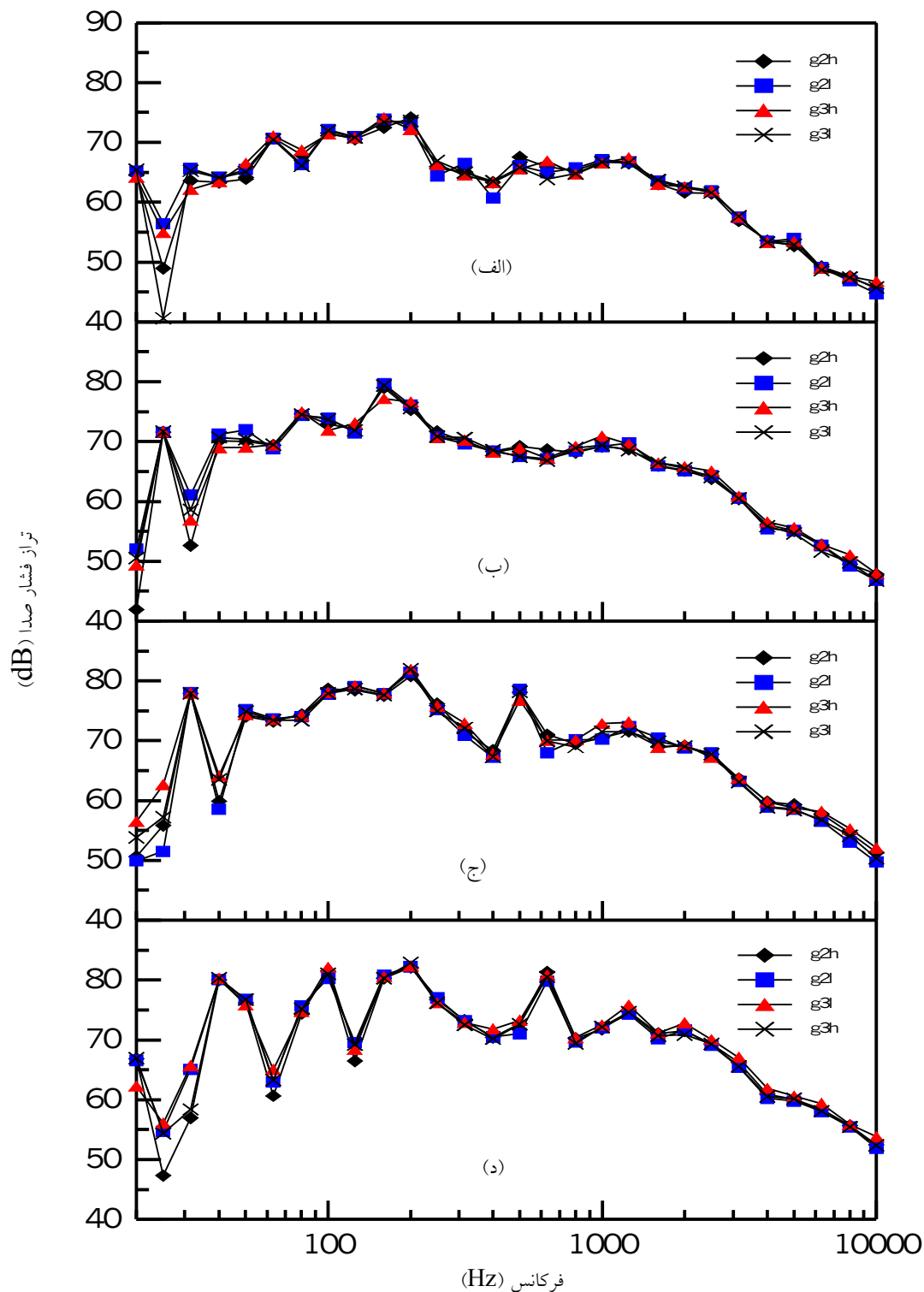
قسمت‌های الف تا د در شکل ۵ تغییرات طیف $1/3$ اکتاو تراز فشار صدای دستگاه در نسبت دنده‌های مختلف جعبه دنده در سرعت‌های مختلف موتور با میکروفون نصب شده در موقعیت گوش راننده را نشان می‌دهد. در قسمت‌های مختلف این شکل دیده می‌شود که طیف تغییرات تراز فشار صدا در دنده‌های مختلف تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند، مگر در فرکانس‌های به طور کلی کمتر از 200 Hz که این پدیده می‌تواند مربوط به اثر آگروز موتور تراکتور دوچرخ باشد (۲۳). نکته قابل توجه در این شکل این است که با افزایش سرعت موتور دستگاه نوسانات مربوط به اثر آگروز در گستره فرکانسی بزرگ‌تری دیده می‌شود.

در قسمت‌های الف تا د، شکل ۶ تغییرات طیف $1/3$ اکتاو تراز فشار صدای دستگاه در نسبت دنده‌های مختلف جعبه دنده در سرعت‌های مختلف موتور و با میکروفون نصب شده در موقعیت اطرافیان نشان داده شده است. روند تغییرات در این شکل‌ها مشابه روند تغییرات در شکل ۵ می‌باشد با این تفاوت که به علت بیشتر بودن فاصله میکروفون تا دستگاه، تراز فشار صدا در فرکانس‌های مختلف در قسمت‌های با شرایط مشابه در حدود 10 dB کمتر نسبت به حالتی است که میکروفون در موقعیت گوش راست راننده است که علت این پدیده نیز مانند تراز فشار صدای دستگاه در حالت کلی می‌تواند مربوط به آثار میرایی محیط و جاده باشد (۱۲).

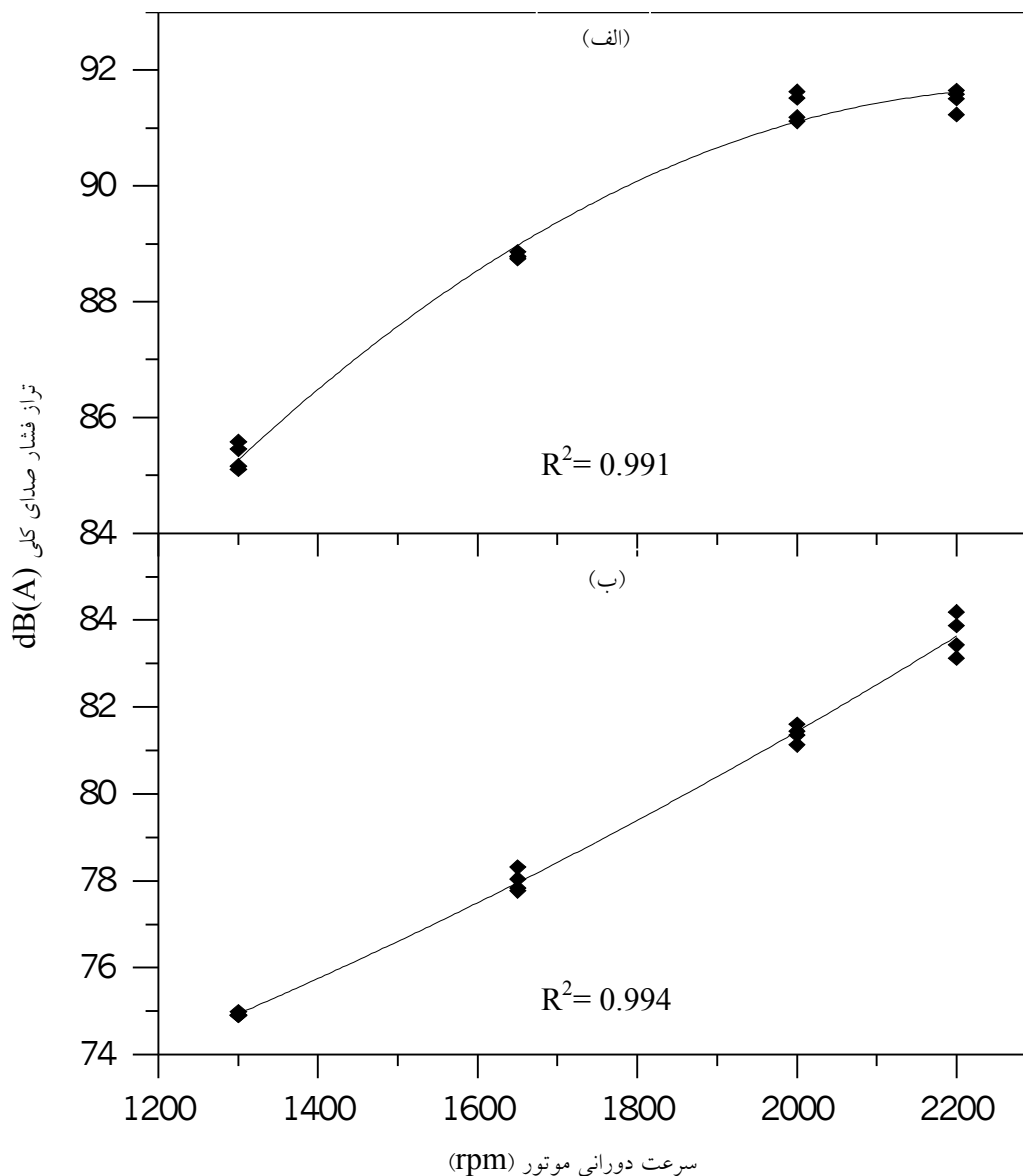
تحلیل رگرسیون دو متغیره خطی بین متغیرهای مستقل سرعت دورانی موتور و نسبت دنده با تابع، یعنی تراز صدای



شکل ۵. طیف ۱/۳ اکتاو تراز فشار صدای تراکتور دوچرخ در نسبت دنده‌های مختلف جعبه دنده و در سرعت‌های مختلف موتور، میکروفن نصب شده در موقعیت گوش راننده: الف) سرعت موتور ۱۳۰۰ دور بر دقیقه، ب) سرعت موتور ۱۶۵۰ دور بر دقیقه، ج) سرعت موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و د) سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه. در این شکل g2h یعنی دنده ۲ سبک، g2l یعنی دنده ۲ سنگین، g3h یعنی دنده ۳ سبک و g3l یعنی دنده ۳ سنگین



شکل ۶. طیف ۱/۳ اکتاو تراز فشار صدای تراکتور دوچرخ در نسبت دنده‌های مختلف جعبه دنده و در سرعت‌های مختلف موتور، میکروفن نصب شده در موقعیت اطرافیان: (الف) سرعت موتور ۱۳۰۰ دور بر دقیقه، (ب) سرعت موتور ۱۶۵۰ دور بر دقیقه، (ج) سرعت موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و (د) سرعت موتور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه. در این شکل g2h یعنی دنده ۲ سبک، g2l یعنی دنده ۲ سنگین، g3h یعنی دنده ۳ سبک و g3l یعنی دنده ۳ سنگین.



شکل ۷. منحنی رگرسیونی تراز فشار صدای کلی تراکتور دوچرخ با میکروفن نصب شده در موقعیت، (الف) گوش راست راننده و (ب) اطرافیان

می‌گردد کارگران شاغل به کار در مزارع مجاور جاده‌های آسفالت روستایی که از محافظ‌های گوش استفاده نمی‌نمایند حداقل در فاصله ۷/۵ متری از مسیر عبور تراکتور دوچرخ قرار گیرند. برای افرادی که در فاصله کمتر از ۷/۵ متر از مسیر عبور تراکتور دوچرخ قرار دارند نیز استفاده از محافظ‌های گوش پیشنهاد می‌گردد.

سطوح نسبت دنده و سرعت موتور، بیشتر از حد استاندارد dB(A) ۸۵ می‌باشد، بنابراین راننده و سرنشینان همیشه در معرض آسیب‌های حاصل از صدا می‌باشند، بنابراین استفاده از محافظ‌های گوش برای راننده و سرنشینان توصیه می‌شود. از طرف دیگر اندازه‌گیری‌ها در این پژوهش نشان داد که شدت صدا در موقعیت اطرافیان در کلیه سطوح سرعت موتور و نسبت دنده، همیشه کمتر از dB(A) ۸۵ می‌باشد، بنابراین توصیه

منابع مورد استفاده

1. Anonymous. 1985. Operator ear sound level measurement procedure for small engine powered equipment. SAE J1174.
2. Anonymous. 1985. Bystander sound level measurement procedure for small engine powered equipment. SAE J1175.
3. Anonymous. 1992. Acoustics: Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines. Measurement of noise emitted when in motion. ISO 7216.
4. Anonymous. 1996. Criteria for a recommended standard occupational noise exposure revised criteria. NIOSH.
5. Anonymous. 1996. Acoustics: Tractors and machinery for agriculture and forestry measurement of noise at operator's position. ISO 5131.
6. Bean, T.L. 1995. Noise on the farm can cause hearing loss. Ohio Cooperative Extension Service Report AEX-590. Columbus, Ohio, USA.
7. Bordia, L. and M. Fiala. 1995. Design and testing of electric-powered walking tractor. J. Agric. Eng. Res. 60:57-62.
8. Broste, S.K., D.A. Hansen, R.L. Stand and D.T. Stueland. 1989. Hearing loss among high school farm students. Amer. J. Public. Health 619-622.
9. Brown, R.H. 1988. Handbook of Engineering in Agriculture. Vol. 2, 1st ed., Prentice & Hall pub. Inc., U.K.
10. Crocker, M.J. 1972. Noise sources, noise measurements and noise reduction. ASAE Paper No.72-812.
11. Crocker, M.J. and I.N. Ivanov. 1993. Noise and Vibration Control in Vehicles. 1st ed., St.Petersburg: Interpub. Ltd, Russia.
12. Crocker, M.J. 1998. Handbook of acoustics. 1st ed., John Wiley & Sons, New York.
13. Dennis, J.W. and J.J. May. 1995. Occupational noise exposure in dairy farming. J. Agric. Health and Safety 28: 333-367.
14. Ghobadian, B., N. Singh, M. Battacharya, P.S. Mehta and S.C. Jain. 1992. An effective instrumentation scheme for noise and vibration study in an I.C. engine. All India Applied Instrumentation Conference. Roorkee, India.
15. Ghobadian, B., M. Battacharya, S.C. Jain and P.S. Mehta. 1995. A parametric study of engine noise and its combustion components. SAE Paper No.951759.
16. Ghobadian, B., M. Battacharya, S.C. Jain and P.S. Mehta. 1997. Correlation based methods to predict engine combustion noise. International Conference on Advances in Mechanical and Industrial Engineering. Roorkee, India.
17. Irwin, J.D. and E.R. Graf. 1979. Industrial Noise and Vibration Control. 1st ed., Prentice-Hall, Inc, London:
18. Kang, C.II., N.J. Park, I.S. Oh and Y.B. Lee. 1988. Study on the handling of power tiller in view of ergonomics. Research Reports of the Rural Development Administration Agric. Eng. and Farm Manag. 30: 67-71.
19. Meyer, R.E., C.V. Schwab and C.J. Bern. 1993. Tractor noise exposure levels for bean-bar riders. ASAE Trans. 36: 1049-1056.
20. Montgomery, D.C. 1991. Design and Analysis of Experiments. 3rd ed., John Wiley & Sons, U. S. A.
21. Roth, O.L. and L.H. Field. 1991. Introduction to Agricultural Engineering. 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York.
22. Solecki, L. 1998. Occupational hearing loss among selected farm tractor operators employed on large multi-production farm in poland. Int. J. Occupational Medicine and Environmental Health 11(1): 69-80.
23. Solecki, L. 2000. Duration of exposure to noise among farmers as an important factor of occupational risk, Ann Agric. Environ. Med. 7: 89-93.
24. Suggs, C.W. 1987. Noise characteristics of field equipment. ASAE, Paper No.87-1598.21.