

Analysis and Prediction of Noise Pollution of Garden Tractor Using Statistical Methods, Artificial Intelligence and ANFIS

AHMAD JAHANBAKHSHI¹, KOBRA HEIDARBEIGI^{2*}

1. Ph.D. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
(Received: Jan. 28, 2019- Revised: Apr. 16, 2019- Accepted: May. 4, 2019)

ABSTRACT

Hearing loss due to harmful sound is one of the most important occupational illnesses. Agricultural mechanization with the use of a variety of machinery causes problems in occupational safety and health for those working in this field. In this study, some of the factors affecting the noise generated by a garden tractor (H.938 Model) were evaluated and predicted. The tests were performed according to international standards of sound such as ISO 5131 and ISO 7216 at different engine speeds, gear positions, road type and microphone distance. The total number of treatment combinations for extracting sound signals released by the garden tractor reached 216 with 72 treatments and three repetitions. The obtained data were analyzed in the form of a factorial test based on a completely random plan. Besides, Artificial Neural Network and ANFIS model was created to predict the sound level in the aforementioned tractor with 216 patterns for training and assessment. The results of the research showed that the effect of the main factors on the level of sound emitted by the garden tractor were significant at probability level of 1%. The results of frequency analysis showed that noise pressure level decreases according to increase in frequency and the sound intensity that reaches the driver's ear is equal to 77.93 dB at the frequency of 4000 Hz. The results of Artificial Neural Network and ANFIS model for forecasting the Sound pressure level of the garden tractor with the highest coefficient of determination (R^2) for this research were 99.73 and 99.91, respectively.

Keywords: Garden Tractor, Sound Pressure Level, Frequency Analysis, Exposure Time, Prediction.

تحلیل و پیش‌بینی آلاینده‌گی صوتی تراکتور گلدونی با استفاده از روش‌های آماری، هوش مصنوعی و انفیس

احمد جهان‌بخشی^۱، کبری حیدریگی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۱۴)

چکیده

افت شنوایی ناشی از تماس با صدای مضر یکی از مهم‌ترین بیماری‌های شغلی محسوب می‌گردد. مکانیزاسیون کشاورزی با به‌کارگیری انواع ماشین‌آلات سبب بروز مشکلاتی در خصوص ایمنی و سلامت شغلی برای افراد شاغل در این عرصه می‌شود. در این تحقیق، تعدادی از عوامل موثر بر سروصدای تولید شده در تراکتور باغی گلدونی مدل H. 938 مورد ارزیابی و پیش‌بینی قرار گرفته‌اند. آزمون‌های این پژوهش بر اساس استانداردهای بین‌المللی صدا ISO 5131 و ISO 7216 در سطوح مختلف دور موتور، موقعیت دنده، نوع جاده و فاصله میکروفن انجام شد. مجموع ترکیب‌های تیماری برای استخراج سیگنال‌های صوت منتشر شده از تراکتور گلدونی با ۷۲ تیمار و ۳ تکرار به ۲۱۶ مورد رسید. اطلاعات به‌دست آمده به صورت آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین مدل شبکه عصبی مصنوعی و انفیس برای پیش‌بینی سطح فشار صدا با ۲۱۶ الگو برای آموزش و ارزیابی ایجاد گردید. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد اثر عامل‌های اصلی در سطح احتمال ۱٪ بر سطح صدای منتشر شده از تراکتور گلدونی معنی‌دار بود. در تحلیل فرکانسی، تراز فشار صدا با افزایش فرکانس روند کاهشی داشته و در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز در موقعیت گوش راننده به میزان ۷۷/۹۳ دسی‌بل بود. نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و انفیس در پیش‌بینی سطح فشار صدای تراکتور گلدونی با بیشترین ضریب تعیین (R^2) برای این پژوهش به ترتیب برابر ۹۹/۷۳ و ۹۹/۹۱ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تراکتور باغی، تراز فشار صدا، تحلیل فرکانس، مدت زمان مواجهه، پیش‌بینی.

مقدمه

توسعه بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین سیاست‌های دولت به شمار می‌آید و امروزه توسعه کشاورزی بدون پرداختن به امر مکانیزاسیون تحقق نمی‌یابد. مکانیزه کردن کشاورزی سبب به‌کارگیری انواع ماشین‌ها، ادوات و تجهیزات می‌شود. بنابراین در سال‌های آینده به طور قطع بر تعداد و انواع ماشین‌ها و ادوات کشاورزی افزوده می‌شود. این در حالی است که ورود ماشین‌های کشاورزی به مزرعه و باغ، مشکل‌های فراوانی را در ارتباط با ایمنی و سلامت شغلی حاصل از کار آن‌ها برای کاربران و همچنین کسانی که در اطراف آن‌ها فعالیت می‌نمایند، به‌وجود خواهد آورد. ایجاد سروصدای زیان‌بار و نامطلوب یکی از مهم‌ترین مشکلات این ماشین‌ها و ادوات به‌شمار می‌آید.

کشاورزی به عنوان یکی از سه شغل دارای مواجهه بالا با تراز صدا در جهان شناخته شده است. استفاده از وسایل حفاظت شنوایی میان کشاورزان مرسوم نیست. این که در چه سنی کاهش شنوایی وابسته به صدا در کشاورزان شروع می‌شود، تا کنون ناشناخته باقی مانده است، اما شیوع آن میان مردانی که در مزرعه

در حال کار هستند، زیاد است (Ehlers and Graydon, 2011; Monazzam et al., 2012). آلودگی صوتی یکی از انواع آلودگی‌های زیست محیطی است که سلامت و بقای موجودات زنده را تهدید می‌کند. میزان عوارض جسمی و روحی این نوع آلودگی برای رانندگان و محیط‌های کاری به اندازه‌ای است که برای آن‌ها، استانداردهای فنی و بین‌المللی تعیین گردیده است (Jahanbakhshi, 2016; Lashgari and Maleki, 2015b). موضوع سروصدا و تاثیرات آن بر فعالان بخش کشاورزی از سالیان دور مورد توجه بوده و امروزه نیز همچنان ابعاد مختلف آن در دست بررسی محققان است.

(Jahanbakhshi et al. (2016) در تحقیقی به بررسی تأثیر دنده و دور موتور بر آلاینده‌گی صوتی کمباین جاندر مدل 1055I، پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد، اثر عامل‌های اصلی دور موتور، موقعیت دنده و فاصله میکروفن در سطح احتمال ۱ درصد بر سطح صدای منتشر شده از کمباین مذکور معنی‌دار بود. همچنین گزارش نمودند، با افزایش فاصله میکروفن از گوش راننده، سطح فشار صدا به علت تأثیر میرایی صدا در محیط کاهش

مصنوعی و انفیس که تا حدی عملکرد ذهن انسان را تقلید می‌کند برای حل مسائل مربوط به مدل‌سازی و پیش‌بینی سیستم‌ها و فرآیندها استفاده می‌شود. استفاد از شبکه‌های عصبی مصنوعی در ارزیابی و پیش‌بینی آلاینده‌گی صوتی ماشین‌های کشاورزی در مطالعات متعددی مورد استفاد قرار گرفته است. برای ارزیابی و پیش‌بینی آلاینده‌گی صوتی کمباین جان‌دیر مدل 1055I (Jahanbakhshi et al., 2017)، پیش‌بینی سطح صدای تیلر دوچرخ (Hassan-Beygi et al., 2009)، پیش‌بینی سطح صدای تراکتورهای کشاورزی (Emam, 2012) و ارزیابی و پیش‌بینی سطح صدای تراکتورهای MF285 و U650 (Jaliliantabar et al., 2013) از شبکه‌های عصبی مصنوعی و انفیس استفاده شده است.

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده و عدم انجام مطالعه کافی بر تراز صدای تراکتورهای باغی، پژوهشی برای بررسی تأثیر سطوح مختلف عامل‌های دور موتور، موقعیت دنده، نوع جاده و فاصله میکروفن بر تراز صدای تراکتور گلدونی مدل H. 938 و احتمال وجود خطرات صوتی حاصل از این وسیله بر کاربر و اطرافیان آن و تعیین زمان مجاز روبرو شدن با این دستگاه انجام شد. همچنین از شبکه‌های عصبی مصنوعی و انفیس جهت پیش‌بینی سطح فشار صدا با توجه به متغیرهای کاری تراکتور گلدونی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر صدای تراکتور گلدونی مدل H. 938 که مشخصات آن در جدول (۱) آمده است، در شرایط واقعی کاری ضبط و اندازه‌گیری شد. سطوح مختلف متغیرها جهت اندازه‌گیری سیگنال‌های صوت ساطع‌شده از تراکتور گلدونی در جدول (۲) آورده شده است. در این تحقیق مجموع کل آزمون‌های انجام‌شده با سه تکرار به ۲۱۶ مورد رسید.

جدول ۱- مشخصات فنی تراکتور گلدونی تحت آزمون

مدل	شرکت سازنده	نوع موتور	تعداد سیلندر	تعداد دنده	توان (hp)
H. 938	تراکتور سازی ارومیه	دیزلی	۲	۶ جلو و ۳ عقب	۳۸

جدول ۲- سطوح مختلف متغیرهای اندازه‌گیری شده

متغیرها	سطوح متغیرها
دور موتور (دور بر دقیقه)	۱۰۰۰
نسبت دنده	۱ سبک
فاصله میکروفن (متر)	۰/۱ (گوش راننده)
نوع جاده	آسفالت
	خاکی
	-
	۲ سبک
	۳ سبک
	۲۰
	-
	۱۳۰۰
	۱۶۰۰
	۲۰۰۰

یافت. (2012) Monazzam et al. مواجهه شغلی رانندگان و مجاورین تراکتور با صدا به هنگام عملیات با دور و دنده‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش نمودند، در حالت ثابت در اطراف تراکتور موقعیت خروجی آگزوز دارای بالاترین میانگین تراز صدا و در حالت متحرک نیز با افزایش دور موتور از ۸۵۰ به ۱۷۰۰ دور بر دقیقه، میانگین تراز فشار صوت در موقعیت گوش راننده از ۵/۸ دسی‌بل تا ۹/۳ دسی‌بل و در موقعیت اطرافیان از ۲/۳ دسی‌بل تا ۱۰/۳ دسی‌بل افزایش یافت. Maleki and Lashgari, (2014) در تحقیقی به تحلیل بسامدی طیف باند یک سوم اکتاو تراز فشار صدا در کمباین غلات پرداختند. آن‌ها گزارش نمودند بیشینه تراز فشار صدای کمباین‌های جان‌دیر و سمپو به ترتیب برابر ۱۱۶ دسی‌بل در بسامد ۲۵۰ هرتز و ۱۱۱/۱ دسی‌بل در بسامد ۴۰ هرتز می‌باشد که هر دو در موقعیت گوش کاربر و در حالتی که کمباین‌ها فاقد کابین باشند، به‌دست آمده‌اند. Ali Abadi et al. (2012) در مطالعه‌ای آلودگی صوتی تراکتورهای کشاورزی و میزان مواجهه شغلی رانندگان آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد، بیشترین و کمترین میزان آلودگی صدا در اطراف تراکتورها به ترتیب مربوط به تراکتور جان‌دیر و رومانی و برابر ۸۳/۸ و ۷۳/۹ دسی‌بل بود. همچنین گزارش نمودند، اختلاف معنی‌داری بین میزان تراز صدای تراکتور در دورهای مختلف موتور در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. (2013) Maleki and Lashgari به ارزیابی تراز فشار و تحلیل فرکانسی صدای ساطع‌شده از تراکتور باغی پرداختند. آن‌ها گزارش نمودند که بیشینه فشار صدای این تراکتور برابر ۹۴/۸۷ دسی‌بل بود. همچنین نتایج حاصل از تحلیل فرکانسی نشان داد که تراز فشار صدا با توجه به افزایش فرکانس، روند کاهشی داشته و در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز به میزان ۵۶/۶۵ دسی‌بل می‌باشد.

امروزه با توسعه سریع فناوری‌های پردازش رایانه‌ای و ایجاد نرم افزارهای مربوطه، از مزایای هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی

دستگاه صوت‌سنج مدل Lutron- SL 4013 ساخت کشور تایوان با دقت ۰/۱ dB استفاده گردید. تنظیم فرکانس در شبکه وزنی A و زمان در پاسخ‌گند (S) انتخاب گردید. پس از ۱۰ ثانیه کار یکنواخت که حالت پایدار ایجاد می‌گردد، عملیات اندازه‌گیری انجام گرفت. برای اندازه‌گیری صدا در موقعیت گوش راننده میکروفون در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از گوش چپ راننده قرار گرفت و در موقعیت اطرافیان میکروفون در ارتفاع ۱/۲ متری بالای سطح زمین و در فاصله ۷/۵ و ۲۰ متری از خط مرکزی عبور تراکتور گلدونی نصب شد (شکل ۱ و ۲).

برای ارزیابی صوت از شدت نوع (A)، که حد استاندارد آن ۸۵dB برای ۸ ساعت کار مفید در طول روز می‌باشد، استفاده گردید (جدول ۳).

میزان ساعت‌های مجازی که می‌توان در معرض یک سطح صدای خاص قرار گرفت توسط سازمان بهداشت جهانی مشخص گردیده است (جدول ۳). بر اساس این استانداردها با افزایش سطح صدا این زمان کاهش می‌یابد. مقادیر این زمان‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (NIOSH, 1998):

$$T = \frac{8}{2^{\left(\frac{SPL-85}{3}\right)}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

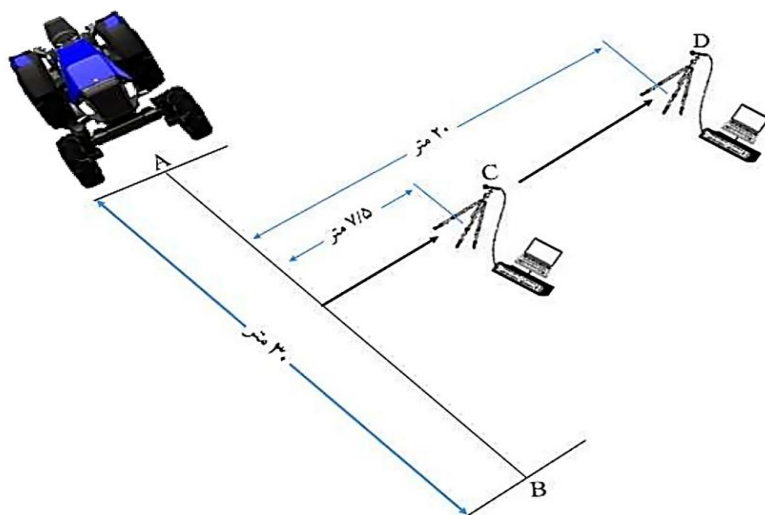
که در آن T، مدت زمان مواجهه روزانه با آلاینده‌گی صوتی (ساعت) و SPL، تراز صوت (دسی‌بل) می‌باشد.

پس از انجام آزمون‌ها و جمع‌آوری اطلاعات به‌دست آمده، داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. همچنین مقایسه میانگین سطوح آثار اصلی و برهمکنش متغیرها، بر اساس آزمون چندعاملی دانکن انجام گرفت.

در این پژوهش تراکتور گلدونی قبل از انجام آزمون‌ها مورد بازرسی فنی قرار گرفت و سرویس‌های دوره‌ای جهت آماده‌سازی برای انجام آزمون‌ها بر روی آن انجام گرفت. همچنین موتور تراکتور قبل از انجام آزمون‌ها برای رسیدن به دمای پایدار به میزان لازم کار کرده بود. ویژگی‌های مکان آزمون ماشین مورد نظر براساس استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد در نظر گرفته شد (ISO 5131, 1996; ISO 7216, 1992). برای این منظور محوطه‌ای باز در دانشگاه ایلام و با فاصله مناسب از انواع بازتاب‌کننده‌های صدا از قبیل ساختمان، درختان و غیره انتخاب شد. در زمان آزمون‌ها، سرعت باد و دمای محیط توسط بادسنج دیجیتالی مدل AM-4206 اندازه‌گیری شد که در تمامی آزمون‌ها سرعت باد و دمای محیط برابر $1 \pm 3/4$ متر بر ثانیه و $2 \pm 20/5$ درجه سانتی‌گراد و کاملاً مطابق با شرایط مندرج در مقررات استاندارد به ثبت رسید.

مطابق استاندارد که این آزمون‌ها براساس آن صورت گرفت، اختلاف میان تراز فشار صدای اندازه‌گیری شده با منبع صدای در حال کار و تراز فشار صدای زمینه باید حداقل ۶ دسی‌بل و ترجیحاً بیش از ۱۰ دسی‌بل باشد. به منظور اعتبار بخشی به اندازه‌گیری‌های انجام شده، تراز فشار صدای زمینه به تنهایی و قبل از راه اندازی تراکتور گلدونی اندازه‌گیری شد. از آنجایی که تراز فشار صدای زمینه اختلاف لازم را با صدای تراکتور داشت، لذا در این آزمون نیازی به اعمال تصحیح صدای زمینه نبود.

مسیری به طول ۳۰ متر برای حرکت تراکتورها در نظر گرفته شد. در فاصله زمانی سپری شده جهت عبور تراکتور در فاصله مذکور، سیگنال‌های صدای ساطع شده اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سروصدای تراکتور گلدونی در این پژوهش از



شکل ۱- شماتیک ناحیه اندازه‌گیری سروصدای تراکتور گلدونی در موقعیت اطرافیان



(الف)



(ب)

شکل ۲- اندازه‌گیری صدای ساطع شده از تراکتور گلدونی، (الف) موقعیت گوش راننده و (ب) موقعیت اطرافیان

جدول ۳- ساعات پیشنهادی در معرض آلاینده‌ی صوتی (NIOSH, 1998)

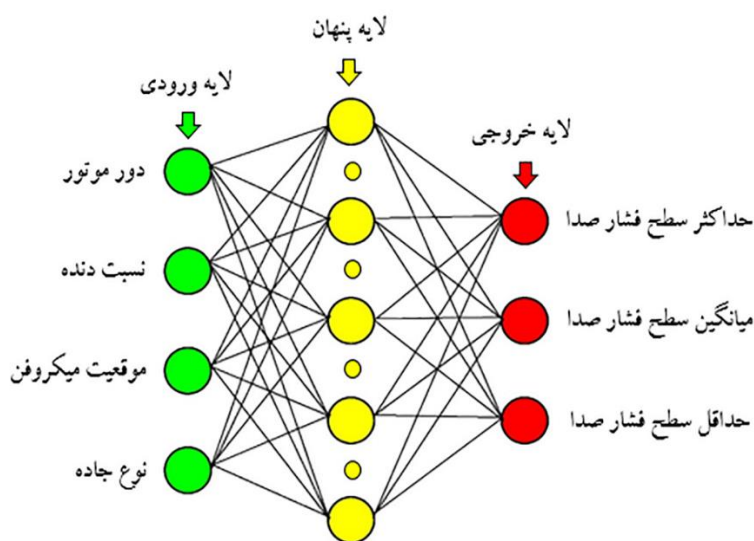
سطح صدا (A) dB	۸۵	۸۸	۹۱	۹۴	۹۷
ساعات‌های پیشنهادی	۸	۴	۲	۱	۰/۵

شامل سه گره (نرون) مربوط به سطح فشار صدای تراکتور گلدونی (در سه سطح حداکثر، میانگین و حداقل) می‌باشد (شکل ۳). آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش مدل شبکه با استفاده از ۲۱۶ نمونه انجام گرفت. که از این تعداد یک سوم داده‌ها برای آموزش شبکه، یک سوم داده‌ها برای اعتبارسنجی و یک سوم داده‌ها برای آزمایش شبکه به کار گرفته شد (Jahanbakhshi et al, 2017). پس از ایجاد شبکه‌های مختلف، شبکه بهینه با کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) و بالاترین ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r) انتخاب گردید

ارائه مدل شبکه عصبی مصنوعی

در این تحقیق از مدل شبکه عصبی با ناظر استفاده شده است. ساختار مورد استفاده در این تحقیق، شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی است. از روش آموزش پس انتشار الگوریتم لونیبرگ مارکواریت^۱ انتخاب گردید. در این پژوهش برای ایجاد مدل شبکه عصبی از نرم‌افزار متلب Matlab R2010a استفاده شد. دور موتور، نسبت‌های دنده، فاصله صوت‌سنج با کاربر و نوع جاده به عنوان لایه ورودی در نظر گرفته شد. لایه خروجی

^۱- Levenberg marquardt



شکل ۳- ساختار مدل شبکه عصبی ایجاد شده

است. نتایج حاکی از آن است که اثر عامل‌های اصلی (دور موتور، نسبت دنده، فاصله میکروفن و نوع جاده) و اثر متقابل تیمارهای دور موتور در نسبت دنده، دور موتور در نوع جاده در سطح احتمال ۱٪ بر سطح صدای منتشر شده از تراکتور گلدونی معنی‌دار می‌باشد که بیانگر این است که با ۹۹٪ اطمینان می‌توان گفت که بین میانگین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد و اثر متقابل میانگین سایر تیمارها معنی‌دار نبود.

بررسی تراز فشار صدا در موقعیت گوش راننده

مقادیر میانگین تراز فشار صوت در موقعیت گوش راننده در دنده و سرعت‌های مختلف موتور تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده آسفالت و خاکی در شکل (۴) گزارش شده است. مشاهده گردید، میانگین سطح صدای تراکتور گلدونی در موقعیت گوش راننده در دنده ۱، ۲ و ۳ و در دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه حین حرکت در جاده آسفالت به ترتیب برابر ۸۱/۷، ۸۲/۲ و ۸۳/۴ دسی‌بل و حین حرکت در جاده خاکی به ترتیب برابر ۸۲/۴۹، ۸۳/۳۹ و ۸۴/۷۹ دسی‌بل می‌باشد. همچنین حین حرکت در جاده آسفالت در دنده ۱ با دور ۱۳۰۰ دور در دقیقه سطح فشار صدا در موقعیت گوش راننده برابر ۸۳/۸۵ دسی‌بل و پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ۸۵ dB(A) می‌باشد و این در حالی است که سطح فشار صدا در مابقی دورها و دنده‌ها در موقعیت گوش راننده بالاتر از حد مجاز استاندارد ۸۵ dB(A) می‌باشد. لذا استفاده از وسایل حفاظت گوش، طراحی و ساخت کابین راننده توصیه می‌گردد.

ارائه مدل شبکه عصبی-فازی (انفیس)

اصطلاح ANFIS مخفف عبارت "سیستم استنتاج فازی تطبیق-پذیر مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی" است که به طور گسترده برای بررسی پدیده‌ها با معادلات غیرخطی به کار گرفته شده است. بنابراین ترکیب سیستم‌های فازی که بر قواعد منطقی استوار هستند و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، ما را قادر می‌سازد تا در کنار استفاده از دانش بشری از اطلاعات موجود نیز در ساخت مدل استفاده کنیم. در شبکه عصبی-فازی نیز مانند شبکه عصبی مصنوعی یک‌سوم داده‌ها برای آموزش شبکه، یک‌سوم داده‌ها برای آزمایش شبکه و یک‌سوم برای اعتبارسنجی به کار گرفته شد. پس از آموزش مدل انفیس، عملکرد پیش‌بینی آن مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهایی ورودی همانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و میانگین سطح فشار صدای تراکتور گلدونی به عنوان نرون در لایه خروجی در نظر گرفته شد. عملکرد مدل انفیس برای شش مدل با تابع فعالیت مثلثی^۱، گاوسی^۲ و زنگوله‌ای^۳ بررسی شد و بهترین مدل ایجاد شده که دارای کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) و بالاترین ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r) باشد، انتخاب گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس میانگین سطوح عامل‌های دور موتور، نسبت دنده، فاصله میکروفن و نوع جاده و اثرات متقابل آن‌ها بر سطح صدای منتشر شده از تراکتور گلدونی در جدول (۴) گزارش شده

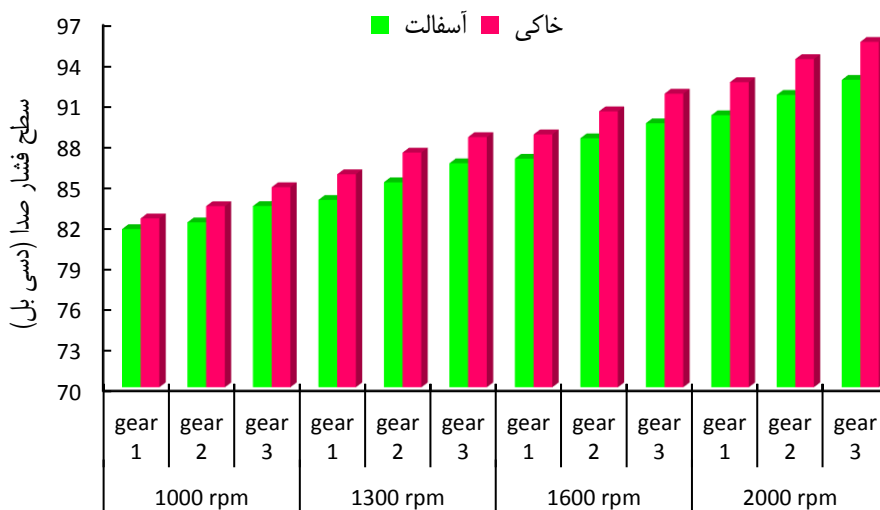
3- Gaussian
4- Bell

1- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
2- Triangular

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس میانگین سطوح عامل‌های اصلی و اثرات متقابل آن‌ها بر سطح صدای تراکتور

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
دور موتور	۳	۲۴۶۸/۰۶	۸۲۲/۶۸**
نسبت دنده	۲	۲۴۱/۳۶	۱۲۰/۶۸**
فاصله میکروفن	۲	۷۲۳۵/۹۹	۳۶۱۷/۹۹**
نوع جاده	۱	۲۱۷/۴۴	۲۱۷/۴۴**
دور موتور × نسبت دنده	۶	۵/۵۸	۰/۹۳**
دور موتور × فاصله میکروفن	۶	۹/۳۰	۱/۵۵**
دور موتور × نوع جاده	۳	۱۱/۰۸	۳/۶۹**
نسبت دنده × فاصله میکروفن	۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴ ^{n.s}
نسبت دنده × نوع جاده	۲	۱/۲۰	۰/۶۰**
فاصله میکروفن × نوع جاده	۲	۰/۳۰	۰/۱۵ ^{n.s}
دور موتور × نسبت دنده × فاصله میکروفن	۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱ ^{n.s}
دور موتور × نسبت دنده × نوع جاده	۶	۰/۵۰	۰/۰۸۳ ^{n.s}
دور موتور × فاصله میکروفن × نوع جاده	۶	۰/۲۲	۰/۰۳۷ ^{n.s}
نسبت دنده × فاصله میکروفن × نوع جاده	۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱ ^{n.s}
دور موتور × نسبت دنده × فاصله میکروفن × نوع جاده	۱۲	۰/۰۹۲	۰/۰۰۷ ^{n.s}
خطا	۱۴۴	۷/۲۴	۰/۰۵۰
کل	۲۱۵	۱۰۱۹۸/۴۸	-

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و n.s عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات مقادیر تراز فشار صوت در موقعیت گوش راننده

بررسی تراز فشار صدا در موقعیت اطرافیان

مقادیر میانگین تراز فشار صدا در موقعیت اطرافیان (فاصله ۷/۵ متری و ۲۰ متری) در دنده و سرعت‌های مختلف موتور تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده آسفالت و خاکی در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است.

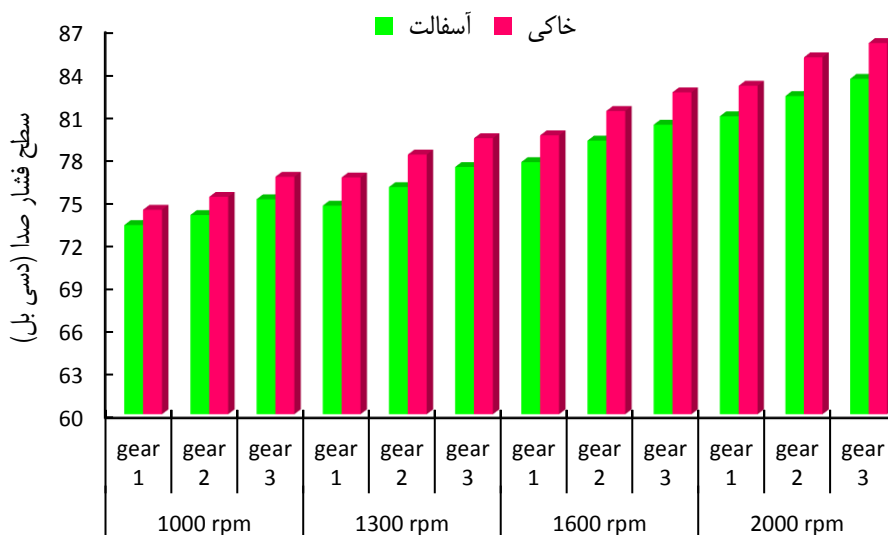
نتایج حاصل از سطح فشار صدا در موقعیت اطرافیان (فاصله ۷/۵ متری) خاکی از آن است، که مقادیر میانگین سطح فشار صدای تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده خاکی در دور ۲۰۰۰ دور در دقیقه و در دنده ۳ برابر ۸۶ دسی‌بل و بالاتر از حد مجاز استاندارد ۸۵ dB(A) می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد افرادی که در فاصله مذکور حین عملیات یاد شده از تراکتور گلدونی مشغول

به کار هستند از وسایل حفاظت گوش استفاده نمایند و یا اینکه با پیشنهاد دادن، استفاده از دوره‌های پایین‌تر موتور به راننده تراکتور ایمنی خود را حفظ نمایند. همچنین از آنجایی‌که با افزایش فاصله، صدا کاهش می‌یابد و به عبارتی شدت صدا با مجذور فاصله از منبع آن نسبت معکوس دارد، پیشنهاد می‌گردد افراد در فاصله دورتری (بیشتر از ۷/۵ متر) نسبت به تراکتور گلدونی حین عملیات، مشغول به فعالیت شوند. همچنین مشاهده گردید در دیگر دوره‌ها و دنده‌های مختلف جعبه‌دنده سطح فشار صدای تراکتور گلدونی پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ۸۵ dB(A) می‌باشد.

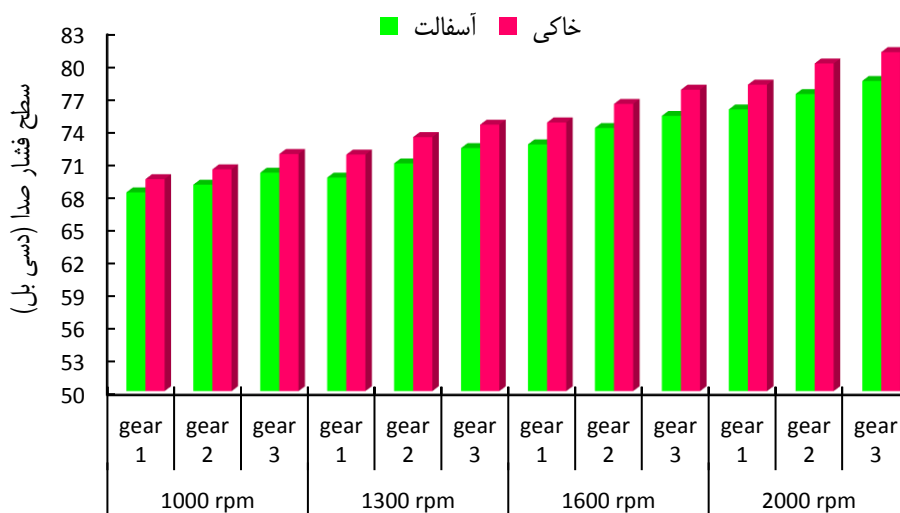
نتایج حاصل از شکل (۶) بیانگر پایین بودن سطح فشار

تراکتور گلدونی مشغول به کار هستند از خطرات آلاینده‌گی صوتی تراکتور گلدونی ایمن می‌باشند.

صدای تراکتور گلدونی نسبت به حد مجاز استاندارد ۸۵ dB(A) در تمامی دنده‌ها و دورهای مختلف موتور حین حرکت در جاده آسفالت و خاکی می‌باشد، لذا افرادی که در فاصله ۲۰ متری از



شکل ۵- تغییرات مقادیر تراز فشار صدا در فاصله ۷/۵ متری



شکل ۶- تغییرات مقادیر تراز فشار صدا در فاصله ۲۰ متری

صوتی ماشین‌های کشاورزی صورت پذیرفته، نتایجی مشابه این نتایج گزارش شد است (Jahanbakhshi et al., 2017; Jahanbakhshi et al., 2016; Lashgari and Maleki, 2015b; Behrooz Lar et al., 2011).

از طرفی دیگر نتایج حاصل از شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) نشان می‌دهد سطح فشار صدا حین حرکت تراکتور گلدونی در جاده خاکی بیشتر از جاده آسفالت می‌باشد، که علت این امر می‌تواند توپوگرافی نامنظم سطح جاده خاکی نسبت به جاده آسفالت باشد، زیرا ارتعاش قطعات متحرک در تراکتور گلدونی حین

همچنین نتایج حاصل از شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) حاکی از آن است که با افزایش سرعت موتور از ۱۰۰۰ به ۲۰۰۰ دور در دقیقه میانگین سطح فشار صدا در تراکتور گلدونی افزایش می‌یابد. افزایش کورس‌های احتراق و ضربات پیستون در واحد زمان و سیستم انتقال قدرت موجب بروز این حالت در تراکتور گلدونی شده است. همچنین مشاهده می‌شود، با تغییر دنده از ۱ تا ۳ در تمامی دورهای موتور میانگین سطح فشار صدا روند صعودی داشته، که علت آن می‌تواند افزایش سرعت پیشروی یا اثرات سطح جاده باشد. در تحقیقات مختلفی که در زمینه ارزیابی آلاینده‌گی

صدا حین حرکت تراکتور گلدونی در جاده خاکی نسبت به جاده آسفالت به علت توپوگرافی نامنظم سطح جاده خاکی و افزایش ارتعاش قطعات متحرک در تراکتور گلدونی، کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

سطح فشار صدا و مدت زمان مواجهه قرارگیری در معرض آلاینده‌گی صوتی تراکتور گلدونی

تراز فشار صدای تراکتور گلدونی با توجه به تغییر متغیرهای کاری مختلف و همچنین ساعات مجازی که می‌توان در معرض سروصدای تراکتور حین حرکت در جاده آسفالت و خاکی قرار گرفت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و نتایج آن در جدول (۵) گزارش شده است.

حرکت در جاده خاکی به دلیل توپوگرافی نامنظم سطح آن زیاد می‌باشد. این نتایج مشابه نتایجی است که (Moradvand, 2016) گزارش نمود. همچنین در پژوهش دیگری وضعیت ارتعاشی تراکتور ITM 475 حین حرکت در جاده خاکی و آسفالت توسط (Mohammadi, 2016) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش برآیند شتاب ارتعاش کلی حین حرکت بر روی جاده خاکی نسبت به جاده آسفالت به علت اثرات سطح نامنظم جاده خاکی نسبت به جاده آسفالت گزارش شد. در پژوهش مشابه دیگری (Qunying et al., 1993) به این نتیجه دست یافتند که منابع عمده ارتعاش تراکتور نیروی نامتعادل اینرسی موتور و ناهمواری‌های سطح زمین می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالعات صورت گرفته و بررسی پژوهش‌های پیشین افزایش سطح فشار

جدول ۵- سطح فشار صدا و مدت زمان مجاز قرارگیری در معرض آلاینده‌گی صوتی تراکتور گلدونی

دور موتور	نوع جاده	موقعیت دنده	زمان مجاز (ساعت)			SPL(O ₂) (dB(A))	SPL(O ₁) (dB(A))	SPL(D) (dB(A))
			O ₂	O ₁	D			
۱۰۰۰rpm	آسفالت	۱	۱۱۹/۴۲	۱۷/۱۴	۶۸/۲۰	۷۳/۳۰	۸۱/۷۰	
		۲	۱۰۱/۵۹	۱۵/۲۷	۶۸/۹۰	۷۴	۸۲/۲۰	
		۳	۷۸/۷۹	۱۱/۵۷	۷۰	۷۵/۱۰	۸۳/۴۰	
	خاکی	۱	۹۳/۲۶	۱۴/۲۸	۶۹/۴۱	۷۴/۳۷	۸۲/۴۹	
		۲	۷۵/۷۵	۱۱/۶۰	۷۰/۳۱	۷۵/۲۷	۸۳/۳۹	
		۳	۵۴/۸۲	۸/۳۹	۷۱/۷۱	۷۶/۶۷	۸۴/۷۹	
	۱۳۰۰rpm	آسفالت	۱	۸۷/۴۲	۱۰/۴۳	۶۹/۵۵	۷۴/۶۵	۸۳/۸۵
			۲	۶۴/۷۴	۷/۷۲	۷۰/۸۵	۷۵/۹۵	۸۵/۱۵
			۳	۴۶/۸۵	۵/۵۹	۷۲/۲۵	۷۷/۳۵	۸۶/۵۵
خاکی		۱	۵۵/۴۵	۶/۷۴	۷۱/۶۶	۷۶/۶۲	۸۵/۷۴	
		۲	۳۸/۳۱	۴/۶۵	۷۳/۲۶	۷۸/۲۲	۸۷/۳۴	
		۳	۲۹/۴۴	۳/۵۸	۷۴/۴۰	۷۹/۳۶	۸۸/۴۸	
۱۶۰۰rpm		آسفالت	۱	۴۳/۳۱	۵/۱۶	۷۲/۵۹	۷۷/۶۹	۸۶/۸۹
			۲	۳۰/۶۲	۳/۶۵	۷۴/۰۹	۷۹/۱۹	۸۸/۳۹
			۳	۲۳/۶۹	۲/۸۲	۷۵/۲۰	۸۰/۳۰	۸۹/۵۰
	خاکی	۱	۲۸/۱۱	۳/۴۱	۷۴/۶۰	۷۹/۵۶	۸۸/۶۸	
		۲	۱۸/۹۸	۲/۳۰	۷۶/۳۰	۸۱/۲۶	۹۰/۳۸	
		۳	۱۴/۰۵	۱/۷۰	۷۷/۶۰	۸۲/۵۶	۹۱/۶۸	
	۲۰۰۰rpm	آسفالت	۱	۲۰/۶۷	۲/۴۶	۷۵/۷۹	۸۰/۸۹	۹۰/۰۹
			۲	۱۴/۹۲	۱/۷۴	۷۷/۲۰	۸۲/۳۰	۹۱/۵۹
			۳	۱۱/۳۱	۱/۳۵	۷۸/۴۰	۸۳/۵۰	۹۲/۷۰
خاکی		۱	۱۲/۶۴	۱/۴۰	۷۸/۰۶	۸۳/۰۲	۹۲/۵۳	
		۲	۸	۰/۹۴	۸۰	۸۵	۹۴/۲۳	
		۳	۶/۳۴	۰/۷۰	۸۱/۰۴	۸۶	۹۵/۵۰	

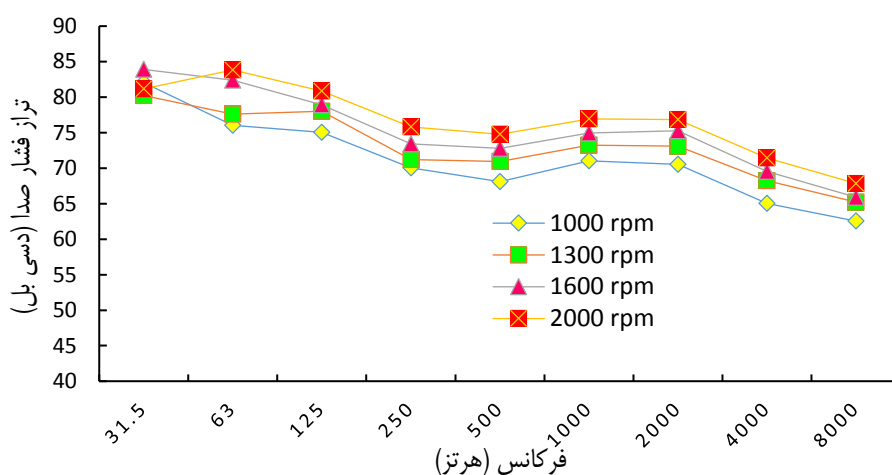
SPL: تراز فشار صدا D: موقعیت راننده O₁: موقعیت اطرافیان (فاصله ۷/۵ متری) O₂: موقعیت اطرافیان (فاصله ۲۰ متری)

نتایج حاصل از مدت زمان مجاز قرارگیری در معرض آلاینده‌گی صوتی تراکتور گلدونی حاکی از آن است که در موقعیت گوش راننده در دنده ۱، ۲ و ۳ و در دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه حین حرکت در جاده آسفالت در دنده ۱ با دور ۱۳۰۰ دور در دقیقه، بالاتر از ۸ ساعت بر اساس استاندارد می‌باشد. لذا هیچ گونه محدودیت

حین حرکت در جاده آسفالت و خاکی و همچنین حین حرکت در جاده آسفالت در دنده ۱ با دور ۱۳۰۰ دور در دقیقه، بالاتر از ۸ ساعت بر اساس استاندارد می‌باشد. لذا هیچ گونه محدودیت

افرادی که در معرض آلاینده‌گی صوتی در فاصله ۷/۵ متری از تراکتور گلدونی قرار دارند استفاده از وسایل حفاظت شنوایی امری کاملاً ضروری است. همچنین به دلیل پایین بودن تراز فشار صدا در موقعیت اطرافیان (فاصله ۲۰ متری) هیچ‌گونه محدودیت زمانی برای افرادی که در فاصله مذکور از تراکتور گلدونی مشغول به کار هستند، وجود ندارد.

تحلیل فرکانس باند ۱/۳ اکتاو تراز فشار صدای تراکتور گلدونی
 شکل (۷) طیف باند اکتاو تراز صدای تراکتور گلدونی در دوره‌های مختلف موتور را نشان می‌دهد.



شکل ۷- طیف باند اکتاو تراز فشار صدا در دوره‌های مختلف موتور تراکتور گلدونی

افزایش دنده و دور موتور یافته‌ای است که توسط محققان مختلف گزارش شده است (Jahanbakhshi *et al.*, 2017; Jahanbakhshi *et al.*, 2016; Jaliliantabar *et al.*, 2012).

طیف باند اکتاو تراز صدای تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده آسفالت و خاکی در شکل (۹) گزارش شده است.

نتایج حاصل از شکل (۹) نشان می‌دهد که در تمامی فرکانس‌های مرکزی باند اکتاو تراز صدای تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده خاکی بیشتر از جاده آسفالت می‌باشد که افزایش اشاره شده کاملاً منطقی به نظر می‌رسد، علت این امر می‌تواند توپوگرافی نامنظم سطح جاده خاکی نسبت به جاده آسفالت باشد، زیرا ارتعاش قطعات متحرک در تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده خاکی به دلیل توپوگرافی نامنظم سطح آن زیاد می‌باشد. این نتایج مشابه نتایجی است که Moradvand (2016) گزارش نمود.

شکل (۱۰) طیف باند اکتاو تراز صدای تراکتور گلدونی در موقعیت کاربر و اطرافیان را نشان می‌دهد.

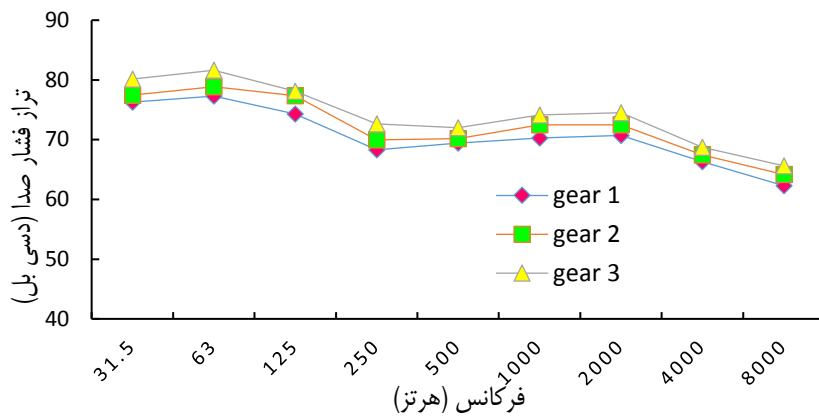
زمانی برای کاربران تراکتور گلدونی با توجه به تغییر متغیرهای کاری ذکر شده، وجود ندارد. این در حالی است که در موقعیت گوش راننده در سایر متغیرهای کاری، کاربر با تراکتور مذکور کمتر از ۸ ساعت می‌تواند بر اساس استاندارد رانندگی نماید. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده استفاده از وسایل حفاظت شنوایی جهت استفاده کاربر از تراکتور گلدونی امری کاملاً ضروری است.

در بررسی تراز فشار صدا در موقعیت اطرافیان (فاصله ۷/۵ متری) مشاهده می‌شود، که در دنده ۳ با دور موتور ۲۰۰۰ دور در دقیقه حین حرکت در جاده خاکی میزان ساعت مواجهه برابر ۶/۳۴ ساعت و کمتر از حد مجاز استاندارد ۸ ساعت می‌باشد، لذا

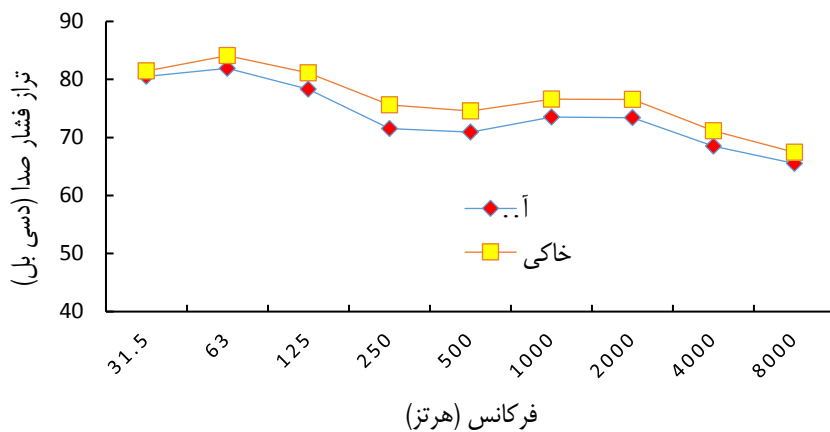
نتایج حاصل از شکل (۷) بیانگر افزایش تراز صدای تراکتور گلدونی با افزایش سرعت دورانی موتور در تمامی فرکانس‌های باند اکتاو می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی‌های سایر محققین نیز تأیید کننده این موضوع است که با افزایش دور موتور در ماشین‌های خودگردان سطح صدا، افزایش می‌یابد (Jahanbakhshi *et al.*, 2017; Maleki and Lashgari, 2013). در مطالعه دیگری، دلیل این افزایش را به اثرات آگروز موتور در سرعت‌های دورانی بالاتر ارتباط داده است (Suggs, 1987).

طیف باند اکتاو تراز صدای تراکتور گلدونی در دنده‌های مختلف جعبه‌دنده در شکل (۸) آورده شده است.

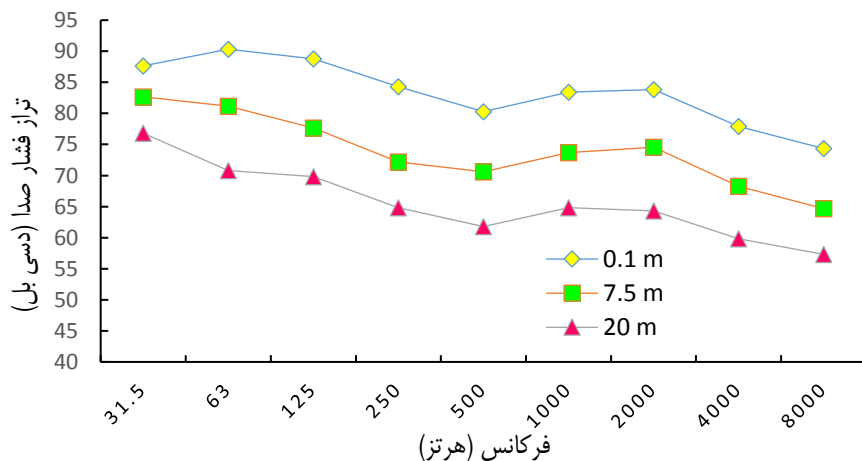
نتایج شکل (۸) حاکی از آن است با افزایش نسبت دنده، تراز صدای تراکتور گلدونی در تمامی فرکانس‌های باند اکتاو روند صعودی را از خود نشان می‌دهد. با افزایش دنده، سرعت حرکت تراکتور افزایش یافته و در نتیجه صدای ناشی از حرکت سریع‌تر لاستیک‌ها بر روی مکان آزمون و همچنین حرکات ارتعاشی قطعات و اجزاء مختلف بیشتر می‌شود. بنابراین با افزایش دنده، افزایش تراز صدا منطقی به نظر می‌رسد. افزایش تراز فشار صدا با



شکل ۸- طیف باند اکتاو تراز فشار صدا در نسبت دنده‌های مختلف تراکتور گلدونی



شکل ۹- طیف باند اکتاو تراز فشار صدای تراکتور گلدونی حین حرکت در جاده‌های مختلف



شکل ۱۰- طیف باند اکتاو تراز فشار صدای تراکتور گلدونی در فواصل مختلف میکروفن

محققان نیز گزارش شده است (Jahanbakhshi *et al.*, 2017; Lashgari and Maleki, 2015a; Hosseinpour *et al.*, 2015). به‌طور کلی با توجه به شکل‌های (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) روند کاهش فشار صدا با افزایش فرکانس در نمودار قابل مشاهده است که نتایج حاصل از تحقیق‌های سایر محققین نیز بیانگر همین موضوع است (Jahanbakhshi *et al.*, 2016; Maleki and Lashgari, 2014; Ali Abadi *et al.*, 2012; Aybek *et al.*,

در نتایج حاصل از شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود در تمامی فرکانس‌های مرکزی باند اکتاو با تغییر فاصله از موقعیت گوش کاربر به موقعیت اطرافیان (فاصله‌های ۷/۵ و ۲۰ متری)، تراز صدای تراکتور گلدونی با کاهش روبه‌رو بوده است، دلیل این تغییرات، بیشتر شدن فاصله میکروفن از منبع تولید صدا و اثرات میرایی محیط می‌باشد. کاهش تراز فشار صدا با افزایش فاصله میکروفن از منبع تولید صوت یافته‌ای است که توسط سایر

مربعات خطا (MSE) و بالاترین ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r) و دقت پیش‌بینی برای این پژوهش با توجه به سطح فشار صدا در مدل شبکه ایجاد شده (در سه سطح: حداکثر، میانگین و حداقل) به ترتیب برابر ۱/۰۲۳۵، ۰/۹۹۲۷، ۰/۹۸/۸۹، ۹۹/۷۳ و ۹۷/۶۴ درصد به‌دست آمد. با مقایسه شبکه ایجاد شده در این تحقیق با مدل‌هایی که توسط سایر محققین برای پیش‌بینی سطح صدا ایجاد شده است، مشاهده می‌گردد، این مدل دارای ضریب همبستگی (r) بالا و مشابهی است (Jahanbakhshi et al., 2017; Emam, 2012; Hassan-Beygi et al., 2010; Hassan-Beygi et al., 2007). این امر می‌تواند به دلیل دقت بالای داده‌های ورودی ایجاد مدل برای آموزش شبکه باشد. نکته دیگر اینکه مدل ایجاد شده با تکرار آزمایش بسیار کمتری نسبت به مدل‌های ذکر شده توسط محققین به بهترین حالت خود رسیده است و خود این باعث کاهش زمان آموزش می‌گردد. تعداد نرون‌ها در لایه مخفی نیز یکی دیگر از موارد قابل مقایسه است. در مدلی که Emam (2012) ایجاد کرده است به ترتیب ۵۰۰ و ۲۵۰ نرون در لایه مخفی اول و دوم وجود داشته است و خود این امر نیز باعث افزایش زمان آموزش و فضای حافظه لازم برای آموزش و در نتیجه افزایش هزینه می‌گردد.

حساسیت گوش انسان بستگی به فرکانس صوت دارد. این بدین معنی است که گوش انسان به بعضی از فرکانس‌ها حساسیت بیشتری دارد. بیشترین حساسیت گوش در محدوده ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز و به ویژه حدود ۴۰۰۰ هرتز می‌باشد (Jahanbakhshi et al., 2017; Maleki and Lashgari, 2013). نکته قابل توجه در این شکل‌ها این است که در گستره فرکانس‌های پایین (۵۰۰-۳۱/۵ هرتز) و متوسط (۲۰۰۰-۵۰۰ هرتز)، تراز فشار صدا با نوسانات بیشتری همراه است. این در حالی است که در گستره فرکانس‌های بالا (۲۰۰۰-۸۰۰۰)، نوسانات کمتری دیده می‌شود. در مجموع با توجه به عدم حساسیت گوش انسان به بسامدهای پایین و متوسط، چنین نوساناتی در فشار صدا در بسامدهای مذکور عملاً قابل چشم پوشی است. به طور حتم تراکتور گلدونی دارای قطعات متحرکی از قبیل موتور، سیستم انتقال قدرت و غیره است که چنین بسامدهایی را تولید می‌کند.

تحلیل داده‌ها با کمک شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مختلفی با ساختار ۴-۲-۳ تا ۴-۲-۳ ارزیابی شدند که مدل شبکه عصبی مصنوعی بهینه با چهار نرون در لایه پنهان انتخاب گردید (جدول ۶). نتایج حاصل از پارامترهای سنجش خطا در بهترین مدل شبکه عصبی که کمترین میانگین

جدول ۶- نتایج به‌دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سطح صدای تراکتور گلدونی

ردیف	ساختار	میانگین مربعات خطا (MSE)	ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r)	دقت پیش‌بینی (%)	
				حداکثر	میانگین
۱	۳-۲-۴	۲/۰۲۲۴	۰/۹۶۴۷	۹۲/۸۰	۹۰/۶۵
۲	۳-۳-۴	۱/۱۲۷۳	۰/۹۹۱۶	۹۸/۵۳	۹۶/۸۹
۳	۳-۴-۴	۱/۰۲۳۵	۰/۹۹۲۷	۹۸/۸۹	۹۷/۶۴
۴	۳-۵-۴	۱/۱۳۱۳	۰/۹۹۰۹	۹۸/۵۱	۹۷/۱۶
۵	۳-۶-۴	۱/۲۵۳۰	۰/۹۹۲۲	۹۷/۹۴	۹۶/۷۷
۶	۳-۷-۴	۱/۰۶۷۷	۰/۹۹۲۳	۹۸/۷۱	۹۷/۹۰
۷	۳-۸-۴	۱/۲۹۶۷	۰/۹۸۸۰	۹۷/۶۸	۹۵/۷۵
۸	۳-۹-۴	۱/۲۷۳۷	۰/۹۸۹۶	۹۸/۶۸	۹۳/۸۲
۹	۳-۱۰-۴	۱/۱۹۴۶	۰/۹۹۰۵	۹۸/۵۸	۹۶/۷۹
۱۰	۳-۱۱-۴	۱/۳۷۸۹	۰/۹۸۷۲	۹۷/۸۲	۹۵/۵۵
۱۱	۳-۱۲-۴	۱/۰۶۴۱	۰/۹۹۱۰	۹۸/۷۳	۹۷/۱۷
۱۲	۳-۱۳-۴	۱/۴۶۸۷	۰/۹۹۱۱	۹۸/۷۱	۹۵/۸۵
۱۳	۳-۱۴-۴	۱/۳۳۴۳	۰/۹۷۸۶	۹۷/۵۵	۹۵/۵۵
۱۴	۳-۱۵-۴	۱/۱۲۹۹	۰/۹۹۱۳	۹۸/۶۹	۹۷/۴۱
۱۵	۳-۱۶-۴	۱/۲۵۹۷	۰/۹۸۹۴	۹۸/۲۴	۹۵/۴۹
۱۶	۳-۱۷-۴	۱/۳۰۵۱	۰/۹۸۹۹	۹۸/۲۸	۹۴/۸۹
۱۷	۳-۱۸-۴	۱/۴۱۳۳	۰/۹۸۴۲	۹۸/۳۶	۹۴/۴۹
۱۸	۳-۱۹-۴	۱/۹۸۲۵	۰/۹۷۳۶	۹۷/۰۹	۹۱/۱۲
۱۹	۳-۲۰-۴	۲/۲۸۱۰	۰/۹۶۶۰	۹۳/۴۳	۸۸/۶۴

ریشه میانگین مربعات خطا می‌باشد، عنوان بهترین مدل شبکه را نسبت به مدل‌های دیگر به خود اختصاص داده است. با مقایسه شبکه انفیس ایجاد شده در این تحقیق با مدل‌هایی که در تحقیقات دیگر برای پیش‌بینی سطح صدا ایجاد شده‌اند، مشاهده می‌گردد که این مدل نسبت به مدل (Jaliliantabar et al., 2013) دارای ضریب تعیین (R^2) بالایی است. اطلاعات مربوط به مدل بهینه گاوسی شامل ۵۵ گره، ۱۶ قانون، ۸۰ پارامتر خطی و ۱۶ پارامتر غیرخطی است.

تحلیل داده‌ها با کمک شبکه عصبی - فازی (انفیس) عملکرد انفیس برای شش مدل با تابع فعالیت مثلثی، گاوسی و زنگوله‌ای با تعداد دو و سه تابع آزمایش به دست آمد و نتایج آن در جدول (۷) گزارش گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل گاوسی نسبت به مدل‌های دیگر با ۲ تابع و ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۳۹۵۴، میانگین خطای مطلق ۰/۳۳۳۲ و ضریب تعیین ۹۹/۹۱ با ۱۰۰ اپک که دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین

جدول ۷- عملکرد مدل‌های مختلف ANFIS جهت پیش‌بینی سطح صدای تراکتور گلدونی

نوع تابع	تعداد توابع	ریشه میانگین مربعات خطا	میانگین خطای مطلق	درصد میانگین خطای مطلق	ضریب تعیین
مثلثی	۲	۰/۴۰۵۴	۰/۳۳۲۵	۰/۰۰۴۲	۹۹/۸۸
مثلثی	۳	۰/۴۴۵۵	۰/۳۹۱۶	۰/۰۰۵۰	۹۹/۹۰
گاوسی	۲	۰/۳۹۵۴	۰/۳۳۳۲	۰/۰۰۴۲	۹۹/۹۱
گاوسی	۳	۰/۴۴۳۷	۰/۳۹۰۶	۰/۰۰۴۹	۹۹/۹۰
زنگوله‌ای	۲	۰/۳۹۹۶	۰/۳۳۶۲	۰/۰۰۴۳	۹۹/۹۱
زنگوله‌ای	۳	۰/۴۴۲۲	۰/۳۸۹۲	۰/۰۰۴۹	۹۹/۹۰

پژوهش با توجه به سطح فشار صدا در مدل شبکه ایجاد شده (در سه سطح: حداکثر، میانگین و حداقل) به ترتیب برابر ۱/۰۲۳۵، ۰/۹۹۲۷، ۰/۹۸/۸۹، ۹۹/۷۳ و ۹۷/۶۴ درصد به دست آمد. مقادیر به دست آمده برای مدل ارائه شده نشان‌دهنده توانایی خوب مدل ارائه شده برای پیش‌بینی سطح فشار صدا می‌باشد.

در مقایسه مدل‌های شبکه عصبی ایجاد شده در این پژوهش با مدل‌های هوش مصنوعی که تاکنون در تحقیقات دیگر ارائه شده، مشخص گردید که این مدل‌ها خیلی زودتر به جواب می‌رسد و نیاز به نمونه‌های زیادی ندارد و همچنین حافظه زیادی را هم اشغال نمی‌کند.

نتایج حاصل از مدل‌های شبکه انفیس در پیش‌بینی سطح صدای تراکتور گلدونی نشان داد، مدل گاوسی نسبت به مدل‌های دیگر با ۲ تابع که دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر ۹۹/۹۱ و ۰/۳۹۵۴ بود، عنوان بهترین مدل شبکه را نسبت به مدل‌های دیگر به خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری

با تحلیل دقیق اطلاعات به دست آمده، مشاهده گردید: اثر عامل‌های اصلی (دور موتور، نسبت دنده، فاصله میکروفن و نوع جاده) در سطح احتمال ۱٪ بر سطح صدای منتشر شده از تراکتور گلدونی معنی‌دار شد.

در موقعیت گوش راننده در اکثر دنده‌ها و دورهای مختلف موتور سطح صدا بالاتر از حد استاندارد (۸۵ dB(A) بود. لذا کاربر تراکتور برای این‌که بتواند از حداکثر ساعت کاری مفید در طول روز (۸ ساعت) استفاده نماید، جهت حفظ سلامتی و ایمنی خود باید از وسایل حفاظت گوش استفاده نماید و منابع ایجاد صدا در تراکتور گلدونی به دقت بررسی گردد.

با افزایش فاصله میکروفن از گوش راننده سطح فشار صدا کاهش یافت که علت آن تأثیر میرایی صدا در محیط می‌باشد. نتایج حاصل از پارامترهای سنجش خطا در بهترین مدل شبکه عصبی که کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) و بالاترین ضریب همبستگی داده‌های آزمون (r) و دقت پیش‌بینی برای این

REFERENCES

- Ali Abadi, M., Chavoshi, E., & Haj Ali Zadeh, H. (2012). Determination of noise pollution propagated from agricultural tractors and its driver's noise exposure level. *Health and Safety at Work*, 2(2), 43-52. (In Farsi).
- Aybek, A., Kamer, H. A., & Arslan, S. (2010). Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Applied Ergonomics*, 41(2), 274-281.
- Behroozi Lar, M., Pour, Z. K., Payandeh, M., &

- Bagheri, J. (2011). Noise level of two types of tractor and health effect on drivers. *Journal of American science*, 7(5), 382-387.
- Ehlers, J. J., & Graydon, P. S. (2011). Noise-induced hearing loss in agriculture: creating partnerships to overcome barriers and educate the community on prevention. *Noise and Health*, 13(51), 142.
- Emam, M. A. (2012). Prediction of agricultural tractor noise levels using artificial neural

- networks. *International Journal of Current Research*, 4(1), 170-176.
- Hassan-Beygi, S. R., Ghobadian, B., Amiri Chayjan, R., & Kianmehr, M. H. (2009). Prediction of power tiller noise levels using a back propagation algorithm. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 147-160.
- Hassan-Beygi, S. R., Ghobadian, B., Amiri Chayjan, R., & Kianmehr, M. H. (2010). Prediction of power tiller noise levels using a back propagation algorithm. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 147-160.
- Hassan-Beygi, S. R.; Ghobadian, B.; Kianmehr, M. H.; & Chayjan, R. A. (2007). Prediction of a power tiller sound pressure levels in octave frequency bands using artificial neural networks. *International Journal of Agriculture & Biology*, 3(9), 494-496.
- Hosseinpour, R., Jafari Naeimi, K., & Ghotbi Ravandi, M. R. (2015). Evaluation of noise pollution levels due to four-wheel harvesting machines in bystanders and machine drivers. *Journal of Health & Development*. 4(1), 52-64. (In Farsi).
- ISO 5131. (1996). Acoustics: Tractors and machinery for agriculture and forestry measurement of noise at operator's position.
- ISO 7216. 1992. Acoustics: Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines. Measurement of noise emitted when in motion.
- Jahanbakhshi, A. (2016). *Study of vibration and acoustic emission in john deere 1055I combine*. M.Sc. dissertation, Ilam University, Iran. (In Farsi).
- Jahanbakhshi, A., Ghamari, B., & Heidarbeigi, K. (2016). Effect of engine rotation speed and gear ratio on the acoustic emission of John Deere 1055I combine harvester. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(3), 106-112.
- Jahanbakhshi, A., Ghamari, B., & Heidarbeigi, K. (2017). Assessing acoustic emission in 1055I John Deere combine harvester using statistical and artificial intelligence methods. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 13(2), 105-117.
- Jaliliantabar, F., Rabbani, H., Lorestani, A., Javadikia, P., & Gholami, R. (2013). Noise evaluation of MF285 and U650 tractors by using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) method. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 5, 741.
- Jaliliantabar, F., Rabbani, H., Lorestani, A., Javadikia, P., & Gholami, R. (2012). Noise evaluation of MF285 tractor while pulling a trailer in an asphalt road. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(4), 50-55.
- Lashgari, M., & Maleki, A. (2015a). Comparison of sound pressure level of noise emitted by two conventional combines in Iran and assessment of related factors. *Iran Occupational Health*, 12(4), 11-20. (In Farsi).
- Lashgari, M., & Maleki, A. (2015b). Psychoacoustic evaluation of a garden tractor noise. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(3).
- Maleki, A., & Lashgari, M. (2013). Assessment of noise pressure level and frequency analysis of garden tractor. *Journal of Agricultural Mechanization*, 1(2), 9-15. (In Farsi)
- Maleki, A., & Lashgari, M. (2014). Analysis of Combine Harvester Sound Pressure Level in One-Third Octave Band Frequency. *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 154-165. (In Farsi).
- Mohammadi, A. (2016). *Investigation of vibration status in ITM 475 tractor*. M.Sc. dissertation, Ilam University, Iran. (In Farsi).
- Monazzam, M. R., Nadri, F., Khanjani, N., Ghotbi Ravandi, M. R., Nadri, H., Barsam, T., Shamsi, N., Akbari, H., & Akbari, H. (2012). Tractor drivers and bystanders noise exposure in different engine speeds and gears. *Journal Mil Med*, 14(2), 149-154.
- Moradvand, B. (2016). The effect engine speed and gear ratio on acoustic emission of john deere 3350 and new holland tm155 tractors. M.Sc. dissertation, Razi University, Iran. (In Farsi).
- NIOSH., 1998. Criteria for a Recommended Standard, Occupational Noise Exposure, Revised Criteria. National Institute for Occupational Safety and Health, U.S. Department of Health and Human Services, Publication No. 98-126, Washington D.C., USA.
- Qunying, J., Qianhua, W., Kuifu, C., & Daxing, Z. (1993). The excitations and characteristics of the vibration of walking tractors handle using isolators. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 24(4), 74-79.
- Suggs, C. W. (1987). Noise characteristics of field equipment. American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection)(USA).