

تحلیل آزردهی صوتی با استفاده از معیارهای

کیفیت صدا

مجید لشگری

استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه اراک

m-lashgari@araku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴

چکیده

صدا به عنوان یک عامل زیان آور در محیط‌های کاری می‌تواند علاوه بر مشکلات جسمی، به لحاظ آسایشی نیز شرایط آزار دهنده‌ای برای افراد ایجاد نماید. بنابراین علاوه بر ارزیابی پارامترهای کمی همچون تراز فشار، شدت و توان صدا، بررسی پارامترهای کیفی صدا در محیط‌های کاری نیز کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله، مهمترین معیارهای کیفیت صدا یعنی بلندی، تیزی، زبری و قدرت نوسان معرفی شده و روابط هر یک از آنها ارائه شده است. همچنین مدل‌های شناخته شده آزردهی صوتی یعنی مدل بی‌طرفانه، سایکواکوستیک و سایکواکوستیک اصلاح‌شده نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از آنجایی که افزایش آسایش صوتی تاثیر بسزایی در افزایش کارایی افراد دارد لذا پرداختن به مقوله کیفیت صدا علاوه بر کمیت صدا در تحقیقات آتی ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: آزردهی صوتی، سایکواکوستیک، کیفیت صدا

۱. مقدمه

ضربان قلب، فشار خون، مصرف اکسیژن و تنفس می‌باشد [۱، ۲ و ۳]. با توجه به آثار زیان‌بار آلودگی‌های صوتی بر سلامت انسان، تحقیقات گسترده‌ای در این خصوص صورت گرفته است. در همین راستا محققین تاکنون تلاش‌های بسیاری برای کاهش صوت و کنترل صدا، عایق‌بندی محیط‌های پر سروصدا، ایجاد حفاظ و غیره انجام داده‌اند. یکی دیگر از موضوعات مربوط به صدا، آسایش صوتی^۱ است. آسایش صوتی ارتباطی با سلامت کاربران نداشته و صرفاً مبحث آسایش و راحتی را در برمی‌گیرد. در خصوص

آلودگی‌های صوتی یکی از مهم‌ترین معضلاتی است که در محیط‌های کار و زندگی به همراه ورود ماشین‌ها و تجهیزات به این عرصه‌ها پدیدار شده است. سر و صدا به عنوان پدیده‌ای ناخواسته و ناخوشایند موجب صدمات جسمی و روانی انسان می‌شود. مهم‌ترین آثار نامطلوب سر و صدا بر روی انسان مواردی مانند افت شنوایی دائم و موقت، اختلال در سیستم بینایی، برهم زدن سیستم تعادلی بدن، ایجاد ناراحتی‌های عصبی و روانی، کاهش بازده کار و افزایش ریسک حوادث و آثار فیزیولوژیکی روی بدن مانند افزایش

ارزیابی آسایش صوتی، پارامترهای کمی همچون تراز فشار صدا نمی‌تواند معیار خوبی از احساس شنوایی کسانی که در معرض صدا قرار دارند محسوب شود. به عنوان مثال، ممکن است صدای ایجاد شده به لحاظ استاندارد دارای تراز فشار پایینی باشد و بنابراین برای کاربر مخاطره آمیز نباشد اما به لحاظ کیفی شرایط آزار دهنده‌ای برای کاربر ایجاد شود. لذا علاوه بر کاهش تراز فشار صدا ضروری است عوامل موثر در ایجاد آسایش صوتی نیز مدنظر قرار گیرند [۴]. برای این منظور معیارهای کیفیت صدا^۲ برای بیان احساس ذهنی افراد مورد نیاز است. پارامترهای کیفیت صدا در واقع شرایط درک رابطه پیچیده مقادیر فیزیکی و ادراکی صدا را فراهم می‌سازند. به همین جهت سایکواکوستیک^۳ برای مطالعه درک ذهنی انسان از صداها مطرح گردید. در واقع سایکواکوستیک، ویژگی‌های فیزیکی صدا را به احساس و درک برخاسته از آن مربوط می‌سازد [۵]. معیارهای کیفی مختلفی در مقوله آسایش صوتی وجود دارد. از مهم‌ترین معیارها می‌توان به بلندی^۴، تیزی^۵، زبری^۶، قدرت نوسان^۷ صدا اشاره نمود [۶]. مطالعات متعددی در خصوص تاثیر پارامترهای کیفیت صدا بر عملکرد افراد صورت گرفته است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

نور و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از معیارهای کیفیت صدا همچون بلندی، تیزی، زبری و قدرت نوسان، شاخص آسایش صوتی را برای یک خودروی سواری بدست آوردند. شاخص معرفی شده در تحقیق آنها همبستگی بالایی با نتایج آزمون ژوری^۸ نشان داد [۷]. در تحقیقی دیگر که توسط پارک و همکاران (۲۰۱۵) انجام گرفت شاخصی به منظور تخمین میزان آزدگی صوتی درون واگن‌های قطار مسافری با استفاده از بلندی، تیزی و زبری صدا بدست آمد. شاخص مذکور با شاخص آزدگی سایکواکوستیک که در ادامه مورد اشاره قرار خواهد گرفت مقایسه شد [۸]. لشگری و ملکی (۲۰۱۵) نیز در تحقیقی یک تراکتور را با استفاده از معیارهای کیفیت صدا و آزدگی سایکواکوستیک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آنان بیانگر همبستگی بالای آزدگی

سایکواکوستیک و تراز فشار صدا در تراکتور مورد آزمون بود [۹]. در همین راستا مطالعاتی نیز در خصوص ماشین‌های راه‌سازی [۱۰]، کشتی [۱۱]، هواپیما [۱۲] انجام گرفته است. برخی از محققین نیز در تحقیقات خود تنها بخش خاصی از وسیله نقلیه از جمله موتور [۱۳]، چرخ [۱۴]، در [۱۵]، پنجره [۱۶]، بوق [۱۷]، سیستم تهویه [۱۸] و غیره را مورد توجه قرار داده‌اند.

به این ترتیب می‌توان دریافت که مبحث کیفیت صدا و آسایش صوتی همچنان مورد توجه محققین است. از سوی دیگر نیز امروزه مقوله کیفیت صدای محصول از نگاه مصرف‌کنندگان حائز اهمیت بوده و معیاری برای ارزش‌گذاری محصول به شمار می‌آید [۱۹]. بنابراین تولیدکنندگان نیز علاوه بر کمیت صدا باید کیفیت صدا را نیز در طراحی محصولات مدنظر قرار دهند. لذا هدف از این مقاله معرفی مهمترین معیارهای کیفیت صدا و مدل‌های شناخته شده آزدگی صوتی است. به همین منظور ضمن تعریف هر یک از پارامترها، به روابط آنها نیز اشاره خواهد شد.

۲. معیارهای کیفیت صدا

۲-۱. بلندی صدا

از آنجایی که درک شنوایی انسان نسبت به صدا به صورت لگاریتمی است لذا برای بیان یا اندازه‌گیری مقادیر صدا از کمیت‌های فیزیکی لگاریتمی استفاده می‌شود. در واقع تبدیل کمیت فیزیکی مطلق به لگاریتمی، درک ذهنی از کمیت را آسان می‌نماید. کمیت‌های لگاریتمی مانند تراز فشار صدا، در واقع نسبت کمیت اندازه‌گیری شده به کمیت مبناست و برحسب دسی‌بل بیان می‌شوند. آزمایشات نشان داده است که ترازهای فشار صدای یکسان در فرکانس‌های مختلف به یک اندازه درک نمی‌شوند. به همین دلیل علاوه بر تراز فشار صدا، نحوه درک شنوایی آن نیز در فرکانس مربوطه اهمیت دارد. در این حالت یک مشخصه درک صدا بنام بلندی صدا تعریف می‌شود. بلندی صدا برابر تراز فشار صدا نیست. تنها در فرکانس یک کیلوهرتز، تراز فشار صدا با تراز بلندی صدا

برابر است. مطابق استاندارد [۲۰]، بلندی مخصوص صدا از رابطه ۱ به دست می‌آید [۶].

$$N' = 0.08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_0} \right)^{0.23} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} - 1 \right] \quad (1)$$

در این رابطه، N' بلندی مخصوص برحسب سون^۹/بارک^{۱۰}، E تحریک^{۱۱} صدا، E_{TQ} تحریک صدا در محیط ساکت در فشار ۲۰ میکرو پاسکال، E_0 تحریک تحت صدای مرجع با فشار 10^{-12} W/m^2 است و بلندی کل برحسب سون از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

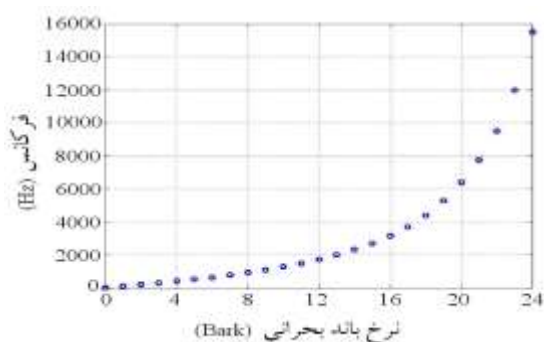
$$N = \int_0^{24} N' dz \quad (2)$$

که در این رابطه، Z نرخ باند بحرانی^{۱۲} برحسب بارک است. بلندی صدایی با تراز فشار صوت ۴۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز برابر یک سون است.

با توجه به ساختار گوش، شنوایی انسان دارای رفتاری است که به صورت مجموعه‌ای از فیلترهای صوتی نشان داده می‌شود و پهنای هر یک از آنها پهنای باند بحرانی نامیده می‌شود. فاصله بین باندهای بحرانی نیز با مقیاس نرخ باند بحرانی بیان شده و محدوده فرکانسی شنوایی انسان به ۲۴ بارک تقسیم می‌شود که نرخ باند بحرانی را می‌توان از رابطه ۳ زیر محاسبه نمود.

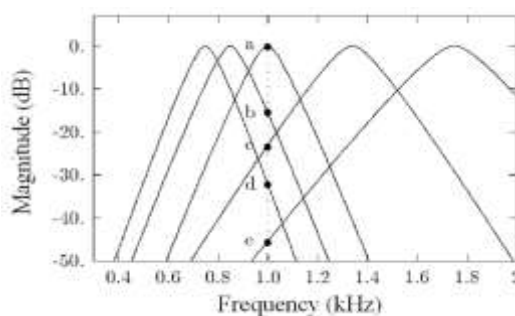
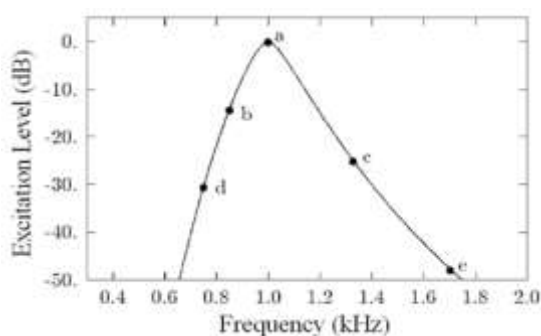
$$z = \left[13 \tan^{-1}(0.76 f) + 3.5 \tan^{-1}\left(\frac{f}{7.5}\right)^2 \right] \quad (3)$$

که در این رابطه، f فرکانس برحسب کیلوهرتز است. در شکل ۱ نمودار نرخ باند بحرانی در محدوده فرکانسی شنوایی انسان نشان داده شده است.



شکل ۱. نرخ باند بحرانی

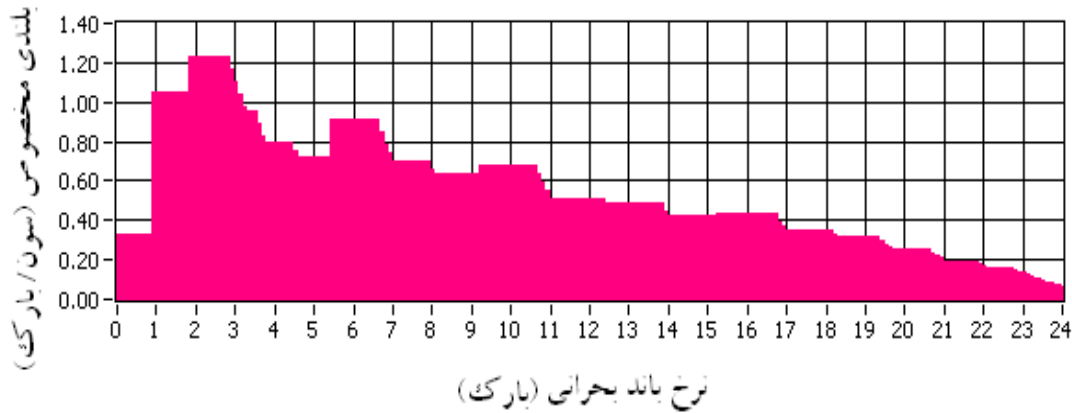
مجموعه فیلترهای صوتی سیستم شنوایی انسان به صورت الگوی^{۱۳} تحریک نیز نشان داده می‌شود. همانند سایر کمیت‌ها از جمله تراز فشار صدا، تحریک صدا نیز به صورت لگاریتمی و با عنوان تراز تحریک بیان می‌شود. شکل ۲ الگوی تحریک با استفاده از فیلترهای صوتی با مراکز فرکانسی مختلف را نشان می‌دهد. علیرغم این که فیلترهای صوتی به صورت متقارن در نظر گرفته می‌شوند اما الگوی تحریک حاصل از آنها به صورت نامتقارن است. افزایش پهنای باند فیلتر در اثر افزایش مرکز فرکانسی دلیل این موضوع است.



شکل ۲. فیلترهای صوتی در مراکز مختلف فرکانسی (چپ) و الگوی تحریک در فرکانس مرکزی یک کیلوهرتز (راست)

نشان داده شده است.

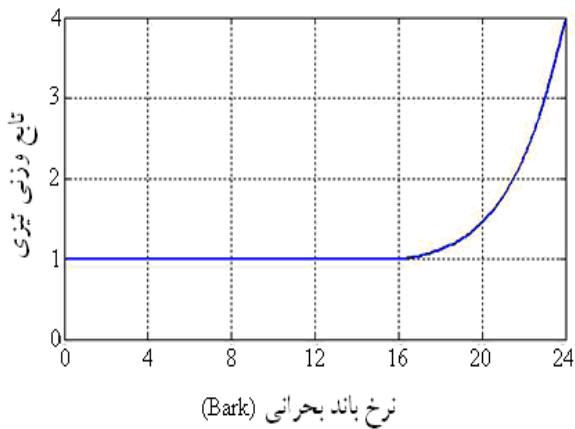
در شکل ۳ نمونه‌ای از نمودار بلندی مخصوص صدا



شکل ۳. یک نمونه نمودار بلندی مخصوص صدا [۹]

۲-۲. تیزی صدا

تیزی صدا یک حس شنیداری مربوط به فرکانس بوده که باعث ایجاد احساس دردناکی می‌شود و در واقع میزان انرژی فرکانس بالا به کل انرژی است. به طور کلی وجود فرکانس‌های بالاتر در سیگنال منجر به افزایش تیزی صدا خواهد شد. دو رابطه متفاوت برای محاسبه تیزی صدا شده‌اند. بیشتر محققین رابطه ۴ را برای محاسبه تیزی صدا مورد استفاده قرار داده‌اند [۶].



شکل ۴. نمودار تابع وزنی $g(z)$

برخی از محققین نیز رابطه ۶ را برای محاسبه تیزی صدا مورد استفاده قرار داده‌اند [۲۱].

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24} N'(z) g'(z) z dz}{\ln\left(\frac{N+20}{20}\right)} \quad (۶)$$

تابع وزنی $g'(z)$ نیز از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$g'(z) = e^{0.171z} \quad (۷)$$

در شکل ۵ نمونه‌ای از نمودار تیزی مخصوص صدا نشان داده شده است.

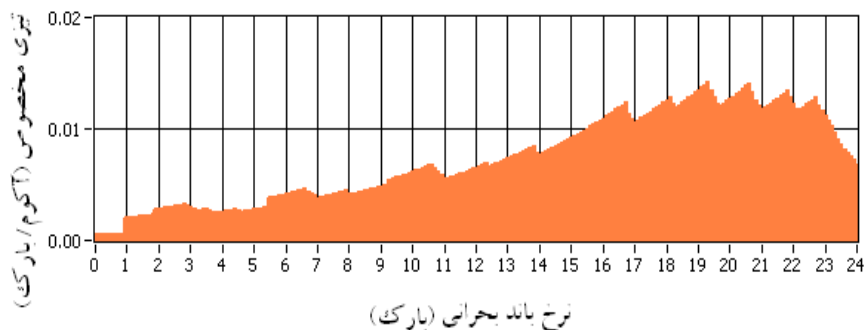
$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24} N'(z) g(z) z dz}{\int_0^{24} N'(z) dz} \quad (۴)$$

که در این رابطه، S تیزی برحسب آکوم^{۱۴} و $g(z)$ تابع وزنی است.

تیزی صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز برابر یک آکوم است. تابع وزنی $g(z)$ نیز از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$g(z) = \begin{cases} 1 & \text{for } z \leq 16 \\ 0.066 e^{0.171z} & \text{for } z > 16 \end{cases} \quad (۵)$$

در شکل ۴ نمودار تابع وزنی برای مقادیر مختلف نرخ باند بحرانی نشان داده شده است.



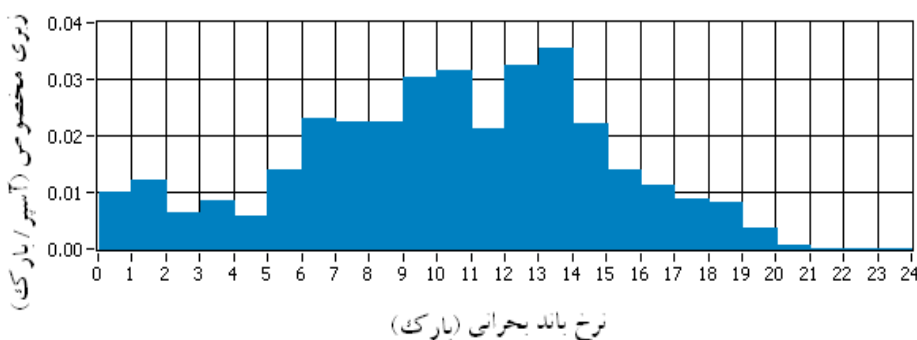
شکل ۵. نمونه نمودار تیزی مخصوص صدا [۹]

$$\Delta L_E(z) = 20 \log \left(\frac{N'_z(t)}{N'_z(99)} \right) \quad (9)$$

که در این رابطه، $N'(1)$ و $N'(99)$ به ترتیب صدک ۱۶ یکم و ۹۹ ام مقادیر بلندی صداست که مقدار زبری کل بر حسب اسپر از رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

$$R = \int_0^{24} R'(z) dz \quad (10)$$

زبری صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز و فرکانس مدولاسیون دامنه ۷۰^{۱۷} هرتز برابر یک اسپر است. در شکل ۶ نمونه‌ای از نمودار زبری مخصوص صدا نشان داده شده است.



شکل ۶. نمونه نمودار زبری مخصوص صدا [۹]

و سیگنال مدوله‌گر^{۱۹} نیز دارای فرکانس f_{mod} است. m شاخص مدولاسیون نامیده می‌شود و مقدار آن بین صفر و یک است.

$$S(t) = [1 + m \sin(2\pi f_{mod}t)] \sin(2\pi f_c t) \quad (11)$$

۳-۲. زبری صدا

زبری صدا حسی شنیداری است که مربوط به مدولاسیون صدا در فرکانس‌های بسیار بالا همانند فرکانس‌های مدولاسیون ۳۰۰-۱۵ هرتز است. بیشترین مقدار زبری نیز در فرکانس ۷۰ هرتز حاصل می‌شود. زبری مخصوص صدا نیز از رابطه ۸ محاسبه می‌شود [۶].

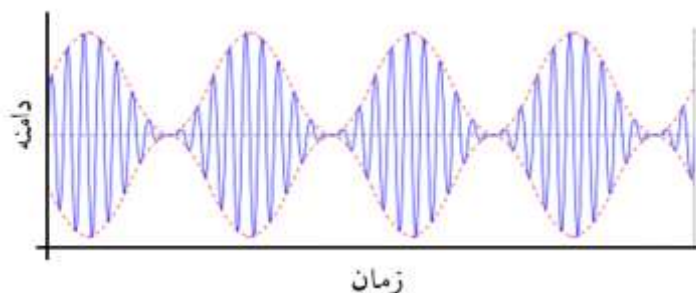
$$R'(z) = 0.3 f_{mod} \Delta L_E(z) \Delta z \quad (8)$$

که در این رابطه، R' زبری مخصوص برحسب اسپر^{۱۵}/بارک، f_{mod} فرکانس مدولاسیون برحسب کیلوهرتز و $\Delta L_E(z)$ نیز از رابطه ۹ قابل محاسبه خواهد بود.

با توجه به این که فرکانس مدولاسیون در دو معیار بلندی و قدرت نوسان صدا که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد موثر است در اینجا توضیحاتی در خصوص مفهوم آن ارائه می‌شود. رابطه ۱۱ مربوط به مدولاسیون دامنه سینوسی است. در این رابطه، سیگنال حامل^{۱۸} دارای فرکانس f_c بوده

مدوله‌گر است و برای محاسبه فرکانس مدولاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نمودار مربوط به رابطه ۱۱ در شکل ۷ نشان داده شده است. در این نمودار، خطوط نقطه‌چین نشان‌دهنده سیگنال



شکل ۷. مدولاسیون دامنه سینوسی

که در این رابطه، f_{mod} فرکانس مدولاسیون بر حسب هرتز و $\Delta L(z)$ نیز از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود.

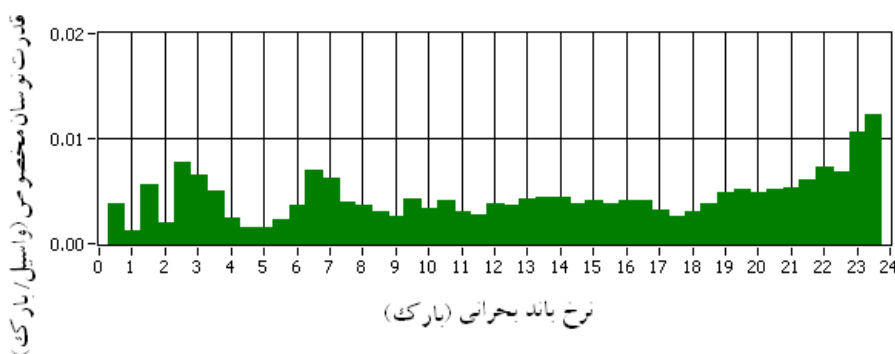
$$\Delta L(z) = 4 \log \left(\frac{N'_z(l)}{N'_z(99)} \right) \quad (13)$$

قدرت نوسان صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز و فرکانس مدولاسیون دامنه ۴ هرتز برابر یک واسیل است. در شکل ۸ نمونه‌ای از نمودار قدرت نوسان مخصوص صدا نشان داده شده است.

۴-۲. قدرت نوسان

قدرت نوسان صدا حسی شبیه به زبری صداست با این تفاوت که قدرت نوسان مربوط به مدولاسیون صدا در فرکانس‌های پایین یعنی فرکانس‌های مدولاسیون تا ۲۰ هرتز است. بیشترین مقدار قدرت نوسان نیز در فرکانس ۴ هرتز حاصل می‌شود. مقدار قدرت نوسان کل بر حسب واسیل ۲۰ از رابطه ۱۲ بدست می‌آید [۶].

$$F = \frac{0.008 \int_0^{24} \Delta L(z) dz}{\left(\frac{f_{mod}}{4} \right) + \left(\frac{4}{f_{mod}} \right)} \quad (12)$$



شکل ۸. نمونه نمودار قدرت نوسان مخصوص صدا [۹]

از آزمون ژوری و تحلیل رگرسیون، مدل‌هایی نیز پیشنهاد شده‌اند. اما در سال ۱۹۹۰، مدل جامعی موسوم به آزردهی بی‌طرفانه معرفی شد [۲۲]. این مدل تابعی از صدک دهم مقادیر بلندی، تیزی و قدرت نوسان صدا است و رابطه ۱۴

۳. مدل‌های آزردهی صوتی

۳-۱. آزردهی بی‌طرفانه [۲۱]

طی سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی در خصوص یافتن مدل آزردهی صوتی انجام شده است. در این تحقیقات با استفاده

بیانگر آن است.

$$(14)$$

$$UBA = d(N_{10})^{1.3}$$

$$\left(1 + 0.25(S-1)\log(N_{10}+10) + 0.3 \left(F \frac{1+N_{10}}{N_{10}+0.3} \right) \right)$$

که در این رابطه، d ضریب شب و روز را می‌توان از رابطه ۱۵ محاسبه نمود.

$$d = \begin{cases} 1 & 6 \text{ am to } 10 \text{ pm} \\ 1 + \left(\frac{N_{10}}{5} \right)^{0.5} & 10 \text{ pm to } 6 \text{ am} \end{cases} \quad (15)$$

که در این رابطه، N_{10} صدک ۱۰ درصد مقادیر بلندی صداست.

۲-۳. آزردهی سایکواکوستیک^{۲۲}

در سال ۱۹۹۷ مدلی جدید بنام آزردهی سایکواکوستیک معرفی شد [۲۳]. در مدل جدیدتر، از صدک پنجم مقادیر بلندی بجای صدک دهم استفاده شد و همچنین زبری صدا نیز مورد استفاده قرار گرفت که مقدار آن از رابطه ۱۶ بدست می‌آید.

$$PA = N_5 \left(1 + \sqrt{\omega_S^2 + \omega_{FR}^2} \right) \quad (16)$$

که در این رابطه، N_5 صدک پنجم مقادیر بلندی صداست و ω_S (ضریب مربوط به تیزی) و ω_{FR} (ضریب مربوط به زبری و قدرت نوسان) نیز به ترتیب از روابط ۱۷ و ۱۸ محاسبه می‌شوند.

$$(17)$$

$$\omega_S = \begin{cases} (S-1.75)0.25 \log(N_5+10) & \text{for } S > 1.75 \\ \text{acum} & \\ \omega_S = 0 & \text{for } S < 1.75 \\ \text{acum} & \end{cases}$$

$$\omega_{FR} = \frac{2.18}{(N_5)^{0.4}} (0.4F + 0.6R) \quad (18)$$

۳-۳. آزردهی سایکواکوستیک اصلاح شده^{۲۳}

نتایج تحقیقات نشان داده است که اجزای تونال تاثیر بسزایی در میزان آزردهی دارند. در واقع صداهای با اجزای تونال بیشتر باعث آزردهی بیشتر افراد می‌شوند [۲۴ و ۲۵]. با توجه به این که اثر تونالیتی^{۲۴} صدا در مدل آزردهی سایکواکوستیک منظور نشده است، بنابراین این مدل قادر نیست تخمین درستی از میزان آزردهی صداهای تونال ارائه کند. لذا مدل آزردهی سایکواکوستیک اصلاح شده پیشنهاد شد که مقدار آن از رابطه ۱۹ بدست می‌آید [۲۶].

$$PA' = N_5 \left(1 + \sqrt{\omega_S^2 + \omega_{FR}^2 + \omega_T^2} \right) \quad (19)$$

که در این رابطه، ω_T (ضریب مربوط به تونالیتی) از رابطه ۲۰ محاسبه می‌شود.

$$\omega_T = \frac{6.41}{(N_5)^{0.52}} T \quad (20)$$

که در این رابطه، T تونالیتی برحسب واحد tu^{25} است و از رابطه ۲۱ محاسبه می‌شود.

$$T = c W_T^{0.29} W_{GR}^{0.79} \quad (21)$$

که ضرایب رابطه ۲۱ در سایر تحقیقات ارائه شده‌اند [۲۷ و ۲۸]. مطابق رابطه ۲۱ تونالیتی صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز برابر یک است.

۴. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، برخی از معیارهای کیفیت صدا و مدل‌های آزردهی مورد بررسی قرار گرفت. تعدد تحقیقات انجام گرفته در خصوص ارزیابی این معیارها و مدل‌ها نشان از اهمیت بالای مقوله آسایش صوتی از نگاه محققین سایر کشورهاست. در حالیکه مرور بر تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که چنین موضوعاتی کمتر مورد توجه محققین داخلی بوده است.

از آنجایی که افزایش آسایش صوتی می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش کارایی افراد داشته باشد، لذا پرداختن به مقوله کیفیت صدا علاوه بر کمیت صدا در تحقیقات آتی ضروری به نظر می‌رسد. به امید آنکه نتایج تحقیقات بتواند رویکرد

جدیدی در تولید بهینه محصول و بهبود فضای اشتغال ایجاد نماید.

۵. مآخذ

- [1] Passchier-Vermeer, Willy, and Wim F. Passchier, "Noise exposure and public health", *Environmental health perspectives*, Vol.108, Suppl.1, 2000, pp.123-131.
- [2] Freitas, E., Catarina Mendonça, Jorge A. Santos, Carla Murteira, and J. P. Ferreira, "Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.17, No.4, 2012 pp.321-326.
- [3] Gorai, A. K., and A. K. Pal, "Noise and its effect on human being--a review". *Journal of environmental science & engineering*, Vol.48, No.4, 2006, pp.253-260.
- [4] Fujii, Kenji, Junko Atagi, and Yoichi Ando, "Temporal and spatial factors of traffic noise and its annoyance", *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*, Vol.2, No.1, 2002, pp.33-41.
- [5] Allen, P. "Acoustics and psychoacoustics," In R. J. Roeser, M. Valente, & H. Hosford-Dunn (Eds.), *Audiology Diagnosis, 1st edition*. New York: Thieme Medical Publisher Inc, 2000, pp.153-180.
- [6] Fastl, Hugo, and Eberhard Zwicker, "*Psychoacoustics: Facts and Models*", 3rd ed, Berlin: Springer-Verlage, 2006
- [7] Nor, Mohd Jailani Mohd, Mohammad Hosseini Fouladi, Hassan Nahvi, and Ahmad Kamal Ariffin, "Index for vehicle acoustical comfort inside a passenger car", *Applied Acoustics*, Vol.69, No.4, 2008, pp.343-353.
- [8] Park, Buhm, Jin-Yong Jeon, Sunghoon Choi, and Junhong Park, "Short-term noise annoyance assessment in passenger compartments of high-speed trains under sudden variation", *Applied Acoustics*, Vol.97, 2015, pp.46-53.
- [9] Lashgari, Majid, and Ali Maleki, "Evaluation of lawn tractor noise using acoustic and psychoacoustic descriptors", *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, Vol.9, 2015, pp.116-122.
- [10] Brambilla, Giovanni, Eleonora Carletti, and Francesca Pedrielli, "Perspective of the sound quality approach applied to noise control in earth moving machines", *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol.6, No.2, 2001, pp.90-96.
- [11] Han, Hyung-Suk, "Psycho-acoustic evaluation of the indoor noise in cabins of a naval vessel using a back-propagation neural network algorithm", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, Vol.4, No.4, 2012, pp.374-385.
- [12] Janssens, K., A. Vecchio, and H. Van der Auweraer, "Synthesis and sound quality evaluation of exterior and interior aircraft noise", *Aerospace Science and Technology*, Vol.12, No.1, 2008, pp.114-124.
- [13] Liu, Hai, Junhong Zhang, Peng Guo, Fengrong Bi, Hanzhengnan Yu, and Guangjian Ni, "Sound quality prediction for engine-radiated noise", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.56, 2015, pp.277-287.
- [14] Frank, Eric C., D. J. Pickering, and Chris Raglin, "*In-vehicle tire sound quality prediction from tire noise data*", SAE 2007 Noise and Vibration Conference and Exhibition, 2007.
- [15] Parizet, Etienne, Erald Guyader, and Valery Nosulenko, "Analysis of car door closing sound quality", *Applied Acoustics*, Vol.69, No.1, 2008, pp.12-22.
- [16] Nykänen, Arne, and Anna Sirkka, "Specification of component sound quality applied to automobile power windows", *Applied Acoustics*, Vol.70, No.6, 2009 pp.813-820.
- [17] Lemaitre, Guillaume, Patrick Susini, Suzanne Winsberg, Stephen McAdams, and Boris Letinturier, "The sound quality of car horns: a psychoacoustical study of timbre", *Acta acustica united with Acustica*, Vol.93, No.3, 2007, pp.457-468.
- [18] Nakasaki, Ryota, Takaharu Ogata, Hiroshi Hasegawa, Yukio Ozeki, Masaharu Onda, and Masao Kasuga, "Sound quality evaluation of air-conditioning sounds in a vehicle using psychoacoustic parameters", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.123, No.5, 2008, pp.3807-3812.

- [19] Cho, Phillip, and Arjun Karavadi, "Sound Quality Target Development Process for Agricultural and Construction Machinery", No. 1999-01-2820. SAE Technical Paper, 1999.
- [20] ISO, R. "532 B: Acoustics—Method for Calculating Loudness Level", *International Organization for Standardization, Geneva*, 1975.
- [21] Park, Sang-Gil, Jeong-Taek Park, Ki-Won Seo, and Gil-Bong Lee, "Comparison of the Sound Quality Characteristics for the Outdoor Unit according to the Compressor Model", *International Compressor Engineering Conference at Purdue*, 2012.
- [22] Zwicker, Eberhard, and Hugo Fastl, "Psychoacoustics: Facts and Methods", 1st ed., Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- [23] Zwicker, Eberhard, and Hugo Fastl, "Psychoacoustics: Facts and Methods", 2nd ed., Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [24] Landström, Ulf, Elisabeth Åkerlund, Anders Kjellberg, and Maria Tesarz, "Exposure levels, tonal components, and noise annoyance in working environments", *Environment International* Vol.21, No.3, 1995, pp.265-275.
- [25] Lee, K. H., "Perception of Tones in Machinery Noise and Its Influence on Annoyance", *Purdue University*, 2006.
- [26] Di, Guo-Qing, Xing-Wang Chen, Kai Song, Bing Zhou, and Chun-Ming Pei, "Improvement of Zwicker's psychoacoustic annoyance model aiming at tonal noises", *Applied Acoustics*, Vol.105, 2016, pp.164-170.
- [27] Aures, W., "A model for calculating the sensory euphony of various sounds", *Acustica*, Vol.59, No.2, 1985, pp.130-141.
- [28] Hastings, Aaron, and Patricia Davies, "An examination of Aures's model of tonality", *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Dearborn, MI, USA*, 2002.

پی نوشت:

1. Acoustic Comfort
2. Sound Quality
3. Psychoacoustic
4. Loudness
5. Sharpness
6. Roughness
7. Fluctuation Strength
8. Jury Test
9. Sone
10. Bark
11. Excitation
12. Critical Band Rate
13. Excitation Pattern
14. Acum
15. Asper
16. Percentile
17. Amplitude-Modulated
18. Carrier
19. Modulator
20. Vacil
21. Unbiased Annoyance
22. Psychoacoustic Annoyance
23. Modified Psychoacoustic Annoyance
24. Tonality
25. Tonality Unit (tu)