مقاله

مطالعهٔ اثر صدای توربین‌های بادی بر آزردگی صوتی شاغلان نیروگاه بادی منجیل

میلاد عباسی
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکدهٔ بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
milad8285@gmail.com

آرش اکبرزاده
دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آمار زیستی دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
arashakbarzadeh@yahoo.com

محمدرضا منظم اسماعیل‌پور*
دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
esmaeelm@sina.tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

چکیده

صدای توربین‌های بادی از جمله ریسک فاکتورهای محیطی سلامت انسان است و از مهمترین پاسخ‌های انسان به آن، آزردگی صوتی ناشی از آن می‌باشد. در این مقاله اثر صدای توربین‌های بادی بر آزردگی صوتی شاغلان نیروگاه بادی منجیل بررسی شده است. برای این منظور، شاغلان نیروگاه بادی منجیل در سه گروه تعمیرات، حراست و اداری بررسی شده و تراز معادل صوت برای هر یک از گروه‌ها براساس استاندارد ایـزو ۹۶۱۲ اندازه‌گیری می‌گردد. میزان آزردگی صوتی افراد با استفاده از روش ایـزو ۱۵۶۶۶ تعیین شده است. براساس نتایج، میانگین آزردگی صوتی افراد ۶ به‌دست آمد و تعمیرکاران نسبت به دو گروه دیگر آزردگی صوتی بیشتری داشتند. میانگین سن و سابقهٔ کار افراد به‌ترتیب ۳۰/۸ و ۱۴/۱ سال بود و افرادی با سن و سابقهٔ کار بیشتر، آزردگی صوتی بیشتری را تجربه کردند. همچنین صدا، سن و سابقهٔ کار ارتباط مثبت و معناداری با آزردگی صوتی داشت. نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که تأثیر مواجههٔ صوتی بر آزردگی شاغلان از تأثیر سن بیشتر است و در حضور سن و صدا، سابقهٔ کار تأثیری بر آزردگی ندارد. چون این مقاله در نوع خود نخستین تحقیق در میان شاعلان نیروگاه‌های بادی در سطح دنیاست، ارتباط مواجهه - پاسخ برای صدای توربین‌های بادی و آزردگی صوتی حاصل در این مقاله نیاز به اعتبارسنجی در سایت‌های نیروگاهی بادی متفاوت در محدودهٔ ترازهای صدای پایین‌تر و بالاتر به‌منظور تعیین نقطهٔ برش و محدودهٔ صحت نتایج دارد.

واژگان کلیدی: آزردگی صوتی، صدای توربین بادی، شاغلان نیروگاه بادی، صدای کم‌فرکانس

۱. مقدمه

نیروگاه‌های بادی به‌عنوان یکی از روش‌های نوین تولید از انرژی‌های تجدیدپذیر با کمترین آثار زیست‌محیطی در مقایسه با سایر منابع انرژی، یکی از منابع آلودگی صوتی به‌حساب می‌آیند که از دیرباز مورد توجه بسیاری از محققان

قرار گرفته‌اند [۱-۲]. باعبور جریان هوا از مجاورت پره‌های توربین‌های بادی و ایجاد جریان متلاطم هوا، تراز بالایی از صدا تولید می‌گردد که ماهیتی کم‌فرکانس دارد [۳]. ویژگی‌هایی از صدا از قبیل محتوای فرکانسی آن یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ آثار صدا می‌باشد، به‌گونه‌ای که صدای کم‌فرکانس ناشی از توربین‌های بادی آزردگی صوتی بیشتری ایجاد می‌کند [۴].

اریکسون در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ م بیان کرد که توربین‌های بادی در مکان‌هایی که افراد در مجاورت آنها قرار دارند می‌تواند برای سلامت این افراد مضر باشد [۵]. آثاری چون حالت تهوع، سرگیجه، وزوزگوش، تپش قلب، استرس، فشار خون، اختلال خواب و آزردگی که در مواجهه با صدای توربین‌های بادی در بعضی از ساکنان اطراف نیروگاه‌های بادی به‌وجود آمده است سبب نگرانی افراد در ارتباط با نصب و راه‌اندازی توربین بادی شده است [۶-۹]. پیرپونت عوارض بهداشتی ناشی از توربین‌های بادی را به‌عنوان سندروم توربین‌های بادی نامگذاری و بیان کرد که دلیل ایجاد این مشکلات می‌تواند ناشی از صدای کم‌فرکانس منتشره از توربین‌های بادی باشد [۱۰]. تلفیق دامنه‌ها و صدای ضربه‌ای از ویژگی‌های صدای منتشره از توربین‌های بادی است که به‌مقدار قابل توجهی آزردگی صوتی را افزایش می‌دهد [۱۱-۱۲]. یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های اصلی انسان به صدای کم‌فرکانس، آزردگی صوتی ناشی از آن است [۱۳]. محققان بیان می‌کنند که آزردگی صوتی ناشی از توربین‌های بادی از آزردگی ناشی از منابع محیطی صوت از قبیل صدای ترافیک جاده‌ای و ریلی بیشتر است [۱۴-۱۶]. لونتال نیز بیان کرد که صداهای متغیر با زمان نسبت به صداهای یکنواخت با تراز معادل برابر بسیار آزاردهنده‌تر است [۱۷]. صداهای کم‌فرکانس از قبیل صدای منتشره از توربین‌های بادی جهت ایجاد آزردگی و تحریک نیازی به بلندی صوت بالایی ندارند [۴]. فاکتورهای دیگری چون آثار بینایی و رنگ توربین‌های بادی نیز عوامل تأثیرگذار بر میزان آزردگی صوتی می‌باشند. به‌گونه‌ای که اثار بینایی ناشی از توربین‌ها موجب حدف آزردگی می‌گردد، در حالی‌که رنگ توربین‌های بادی دارای ارتباط مثبت ضعیفی با میزان آزردگی است [۱۶، ۱۹-۲۰]. براساس مطالعات متعدد، آزردگی صوتی دارای آثار مضر و ناخوشایندی بر کیفیت زندگی مرتبط باسلامت می‌باشد [۲۱-۲۲]. استنسفلد و همکاران در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ م بیان کردند که آزردگی صوتی و پریشانی روانی دارای آثار متقابلی بر یکدیگر می‌باشند [۲۳]. همچنین آزردگی صوتی را می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل زمینه‌ساز اختلال خواب به‌حساب آوردکه دارای آثار متقابلی روی خواب است [۱۶، ۲۲].

تمام مطالعات پیشین اثر صدای ناشی از توربین‌های بادی بر آزردگی صوتی را روی جمعیت ساکن در اطراف نیروگاه‌های بادی مورد بررسی قرار داده‌اند و از افراد شاغل در نیروگاه‌های بادی که تراز صدای به‌مراتب بیشتری را دریافت می‌کنند غافل بوده‌اند. بنابراین باتوجه به این موضوع که افراد شاغل در نیروگاه‌های بادی در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به توربین‌های بادی قرار دارند و میزان مواجههٔ صوتی آنها از ساکنان اطراف آن بالاتر است می‌توان ادعا کرد که میزان آثار احتمالی ناشی از صدای توربین‌های یادی روی آنها بیشتر باشد. از اینرو یکی از برتری‌های مطالعهٔ حاضر هدف قراردادن شاغلان نیروگاه‌های بادی می‌باشد؛ زیرا این افراد نقش اصلی را در حفظ و نگه‌داری تأسیسات ایفا می‌کنند و به‌عنوان نیروهای کار به توجه بیشتری نیاز دارند. بنابراین مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی اثر صدا ناشی از توربین‌های بادی بر میزان آزردگی صوتی شاغلان نیروگاه بادی انجام شده است.

۲. روش مطالعه

این مطالعه در نیروگاه بادی شهر منجیل به‌دلیل دارابودن بیشترین تعداد افراد شاغل و همچنین بیشترین تعداد توربین در سطح ایران انجام شده است. تمام افراد شاغل در این نیروگاه به‌صورت سرشماری انتخاب و مورد مطالعه قرار

گرفته‌اند. این افراد باتوجه به نوع شغل و فاصلهٔ آنها نسبت به توربین‌های بادی به سه گروه شغلی تقسیم شدند: گروه تعمیرات، حراست و کارکنان اداری.

۱-۲. افراد مورد مطالعه

وظیفهٔ تعمیرکاران حفظ، نگهداری و تعمیرات توربین‌های بادی بود و به این دلیل همواره در مجاورت توربین‌ها و در قسمت‌های پر سروصدای آن؛ یعنی در داخل بدنهٔ توربین مشغول به‌کار بودند. افراد شاغل در گروه حراست، مسئولیت نگهبانی نیروگاه را برعهده داشتند. این افراد در شیفت‌های گردشی و در ایستگاه نگهبانی مشغول به‌کار بودند. محل انجام وظیفهٔ این افراد غالباً در ایستگاه نگهبانی بود که توربین‌های بادی در اطراف آن قرار داشت و در مواردی در محل نیروگاه به بازرسی کل سایت می‌پرداختند. این افراد نسبت به نگهبانان در فاصلهٔ دورتری از توربین‌های بادی قرار داشتند و صدای کمتری را دریافت می‌کردند. کارکنان اداری نیز به‌دلیل نوع وظایف آنها، که رسیدگی به امور اداری و مالی بود، همواره در داخل ساختمان اداری، که در فاصلهٔ دورتری از توربین‌های بادی قرار داشته، در شیفت‌های هشت‌ساعته مشغول به‌کار بودند.

۳. اندازه‌گیری صدا

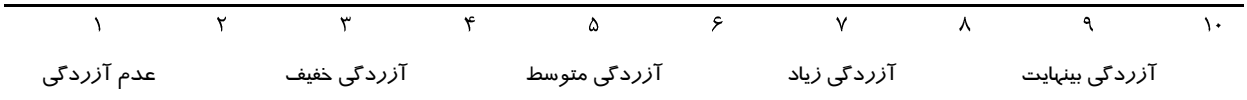
اندازه‌گیری صدا براساس استاندارد ایـزو ۹۶۱۲ انجام گرفت [۲۴].جهت تعیین میزان مواجههٔ شغلی افراد، پس از مشخص نمودن محل‌های تردد و توقف آنها در طول هر شیفت کاری و در وقفه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای تراز معادل صوت به‌عنوان نمایندهٔ مواجههٔ صوتی در آن مکان اندازه‌گیری شد. در نهایت تراز معادل صوت هشت‌ساعته براساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده به‌دست آمد. باتوجه به مشابهت فرایند کاری در هرکدام از گروه‌های شغلی نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی به تمام افراد شاغل در آن گروه تعمیم داده شد. همچنین در محل‌هایی که افراد بیشترین مواجهه شغلی را داشتند آنالیز فرکانس صوت در اوکتاو باند با استفاده از دستگاه صداسنج آنالیزور دار کالیبره شده مدل تی. ای. اس. ۱۳۵۸ انجام شد و اطلاعاتی در مورد ویژگیهای صدای منتشره از توربین‌های بادی به‌دست آمد.

۴. پرسشنامه‌ها

اطلاعات دموگرافیکی و زمینه‌ای شامل سن، سابقهٔ کار و نوع شغل به‌وسیلهٔ یک پرسشنامهٔ عمومی جمع‌آوری شد و از مقیاس آزردگی صوتی وینشتاین جهت به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به آزردگی افراد استفاده گردید. پس از انجام هماهنگی‌های لازم با مدیریت نیروگاه پرسشنامه‌های مذکور در اختیار افراد قراد گرفت و بر نحوهٔ تکمیل صحیح آن نظارت شد

۵. مقیاس آزردگی صوتی

آزردگی صوتی افراد براساس پرسشنامهٔ اکوستیک - ارزیابی آزاردهندگی صوت با استفاده از ممیزی اجتماعی و اجتماعی - اکوستیکی تعیین می‌شود که در استاندارد ایـزو ۱۵۶۶۶موجود می‌باشد [۲۵]. این مقیاس اعداد صفر تا ۱۰ را در برمی‌گیرد که صفر بیانگر عدم آزردگی و عدد ۱۰ نیز آزردگی بیش از حد را نشان می‌دهد. چنانچه پاسخ شاغلان در محدودهٔ ۰-۲، ۲-۴، ۴-۶، ۶-۸ یا ۸-۱۰ قرار گیرد، به‌ترتیب بیانگر عدم آزردگی، آزردگی خفیف، آزردگی متوسط، آزردگی زیـاد و آزردگی بیش از حد می‌باشـد (شکل ۱).



شکل ۱. نمودار پاسخ شاغلان

۶. آنالیزهای آماری

در نهایت با استفاده از نرم‌افزار R اطلاعات جمع‌آوری‌شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت بررسی ارتباط بین متغیرها و پی‌بردن به منشأ معناداری آزمونها به‌ترتیب از آزمون‌های همبستگی اسپیرمن و پیرسن و آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. به‌منظور بررسی اثر مواجههٔ صوتی بر آزردگی صوتی و مقایسهٔ این اثر در بین گروه‌های شغلی از روش کدگذاری تصنعی در رگرسیون چندگانه استفاده شد. همچنین جهت بررسی اثر صدا و متغیرها دموگرافیک و زمینه‌ای بر آزردگی صوتی از رگرسیون خطی و چندگانه استفاده گردید.

۷. یافته‌ها

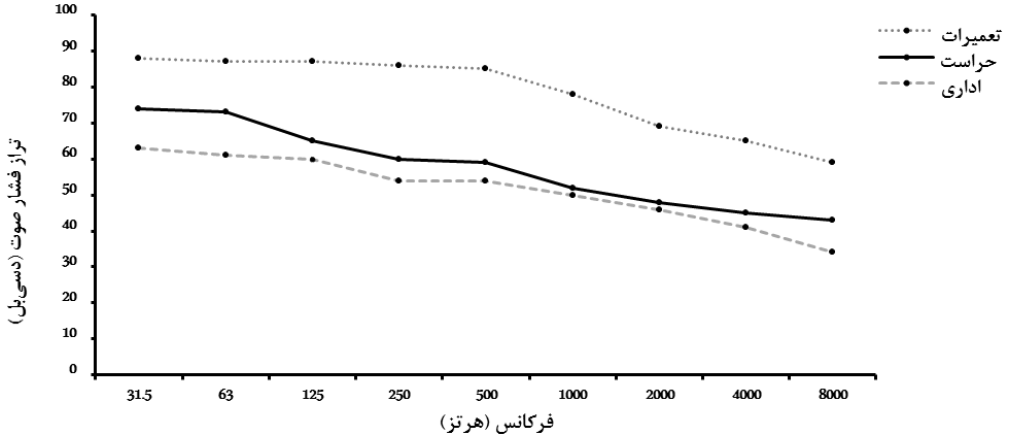
براساس نتایج به‌دست آمده میزان تراز معادل صوت هشت‌ساعته تعمیرکاران برابر ۸۳ دسی‌بل، نگهبانان ۶۶ دسی‌بل و کارکنان اداری ۶۰ دسی‌بل در شبکهٔ A به‌دست آمد. براساس نتایج آنالیز فرکانس صوت، تراز فشار صوت در فرکانس‌های پایین، بیشتر از فرکانس‌های بالاست. این نتایج در شکل ۲ نمایش داده شده است.

در این مطالعه، ۵۳ نفر از افراد شاغل در نیروگاه توربین‌های بادی منجیل شرکت کردند که میانگین (انحراف معیار) سن و سابقهٔ کار آنها به‌ترتیب (۵/۹) ۳۰/۸ و (۵/۵) ۱۴/۱سال بود. همچنین میانگین (انحراف معیار) آزردگی صوتی برای کل افراد (۲/۵) ۶ به‌دست آمد که تعمیرکاران (با میانگین۸/۴) وکارکنان اداری (با میانگین۲/۶) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار آزردگی صوتی را دارا بودند. توصیف میزان آزردگی صوتی افراد به تفکیک متغیرهای دموگرافیکی و زمینه‌ای و همچنین تعداد و درصد افراد شاغل در هر گروه شغلی در جدول ۱ آمده است.

نتایج آنالیز همبستگی پیرسون نشان داد که آزردگی صوتی شاغلان دارای ارتباط مثبت و معناداری با تراز معادل صوت (گروه‌های شغلی) بود و مقدار همبستگی آنها ۸۶ درصد به‌دست آمد. به‌منظور مقایسهٔ میزان آزردگی صوتی شاغلان در سطوح مختلف مواجهه با صدای توربین‌های بادی که بیانگر گروه‌های شغلی است از آنالیز واریانس استفاده شد که براساس نتایج آن، میانگین آزردگی صوتی در تمام گروه‌های شغلی متفاوت بود. ($P-Value<0.05$). نتایج این موضوع در شکل ۳ نمایش داده شده است. همچنین جهت بررسی تأثیر تراز معادل صوت بر میزان آزردگی صوتی شاغلان از رگرسیون خطی ساده استفاده شد که براساس نتایج آن، افزایش یک دسی‌بل تراز معادل صوت به اندازهٔ ۰/۲۲بر میان آزردگی صوتی شاغلان می‌افزاید. به‌منظور بررسی اثر مواجهظ صوتی بر آزردگی صوتی و مقایسهٔ این اثر بین گروه‌های شغلی از روش کدگذاری تصنعی در رگرسیون چندگانه استفاده شد. در این روش کارکنان اداری به‌دلیل میزان آزردگی کمتر، به‌عنوان گروه کنترل انتخاب شدند. نتایج نشان داد که نوع شغل می‌تواند به‌تنهایی ۸۳ درصد از تغییرات متغیر پاسخ؛ یعنی میزان آزردگی صوتی را توجیه کند. همچنین مواجههٔ صوتی در تعمیرکاران بیشترین تأثیر را بر آزردگی صوتی افراد داشت، به‌گونه‌ای که تأثیر مواجههٔ صوتی بر آزردگی صوتی در تعمیرکاران حدود ۲/۲ برابر کارکنان اداری و حدود ۱/۸ برابر نگهبانان بود. همچنین این اثر در نگهبانان حدوداً ۱/۲ برابر کارکنان اداری بود. جزئیات این نتایج در جدول ۲ آمده است.

آنالیز همبستگی پیرسون ارتباط مثبت و معناداری را بین میزان آزردگی صوتی شاغلان با سن نشان داد ($P-Value<0.05$). مقایسهٔ میانگین آزردگی صوتی شاغلان در بین گروه‌های سنی مختلف با استفاده از آنالیز واریانس نشان داد که میانگین آزردگی صوتی شاغلان در بین گروه‌های سنی برابر نمی‌باشد ($P-Value<0.05$). مقایسه‌های بیشتر نشان داد که میانگین آزردگی صوتی فقط در بین گروه‌های سنی بیشتر از ۴۱ سال و کمتر از ۳۶ سال دارای اختلاف معناداری می‌باشد. تأثیر سن بر میزان آزردگی صوتی شاغلان با استفاده از رگرسیون خطی ساده بررسی شد که نتایج حاصل از آن نشان داد که به یک سال

افزایش سن، به میزان ۰/۱۹ بر آزردگی صوتی افزوده می‌شود. این ارتباط در شکل ۴ نشان داده شده است.



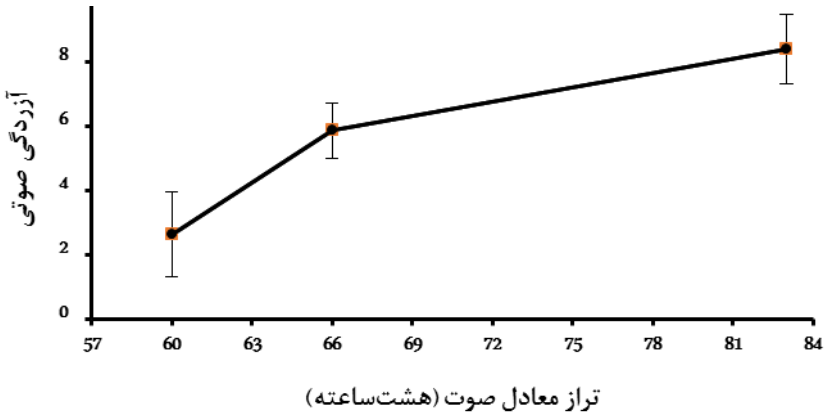
شکل ۲. نتایج آنالیز فرکانس صوت در اوکتاو باند

جدول ۱. توصیف آزردگی صوتی به تفکیک گروه شغلی، سابقهٔ کار، گروه سنی، تحصیلات و نوع شیفت

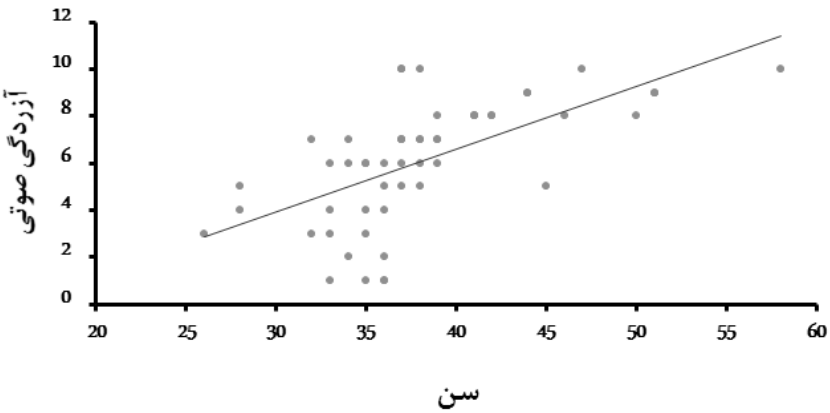
			میانگین	انحراف معیار	تعداد افراد	درصد
آزردگی صوتی	نوع شغل	تعمیرات	۸/۴	۱	۲۲	۴۱/۵
		حراست	۵/۸	۰/۸۵	۱۷	۳۲
		اداری	۲/۶	۱/۳	۱۴	۲۶/۵
		مجموع			۵۳	۱۰۰
	سابقهٔ کار	کمتر از۱۲ سال	۴/۹	۲/۲	۱۹	۳۶
		۱۹-۱۲ سال	۶/۲	۲/۴	۲۳	۴۳/۵
		بیشتر از ۱۹	۸/۱	۱/۹	۱۱	۲۰/۵
		مجموع			۵۳	۱۰۰
	گروه‌های سنی	کمتر از ۳۶	۴/۹	۲/۳	۲۳	۴۳/۵
		۴۱-۳۶	۶/۳	۲/۵	۱۹	۳۶
		بیشتر از ۴۱	۸/۲	۲	۱۱	۲۶/۵
		مجموع			۵۳	۱۰۰

جدول ۲. بررسی اثر مواجههٔ صوتی بر آزردگی صوتی به تفکیک گروه‌های شغلی

	مناسبت مدل		ضرایب مدل						
	آماره F	P-Value	ضریب رگرسیونی (B)	خطای انحراف استاندارد	ضریب رگرسیونی استاندارد شده	آماره T	P-Value	R	R^2
کنترل	۱۱۸/۳۳	۰/۰۰	۲/۶۴	۰/۲۹	–	۰	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۸۳
حراست			۳/۲۳	۰/۳۹	۰/۶	۸/۱۷	۰/۰۰		
تعمیرات			۵/۷۶	۰/۳۷	۱/۱۱	۱۵/۳۵	۰/۰۰۰		

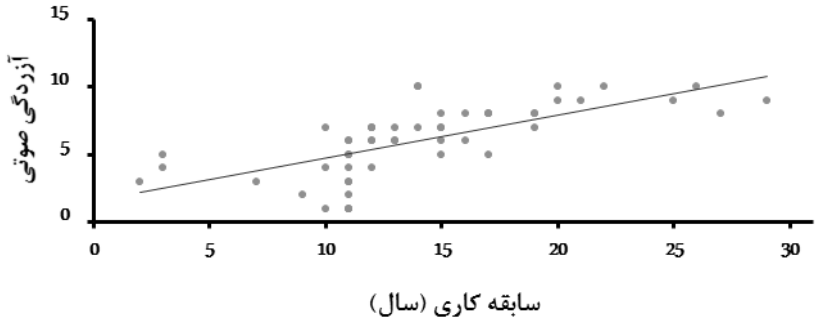


شکل ۳. میزان آزردگی صوتی شاغلان در سطوح مختلف مواجهه با صدای توربین‌های بادی



شکل ۴. ارتباط بین سن و میزان آزردگی صوتی شاغلان

با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون ارتباط بین میزان آزردگی صوتی شاغلان و سابقهٔ کاری افراد مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که ارتباط بین سابقهٔ کار و میزان آزردگی مثبت و معنادار می‌باشد و مقدار همبستگی آنها ۴۴ درصد است. به‌منظور مقایسهٔ میزان آزردگی صوتی شاغلان در بین گروه‌های سابقهٔ کار از آنالیز واریانس استفاده شد. باتوجه به نتایج حاصل، میانگین آزردگی صوتی در بین گروه‌های سابقهٔ‌کار اختلاف معناداری داشت($P-Value<0.05$). در ادامه جهت پی‌بردن به منشأ معناداری، مقایسات بیشتر انجام گردید که نتایج آن نشان داد که این اختلاف فقط در بین افراد با سابقهٔ کار کمتر از ۱۲ سال و بیشتر از ۱۹ سال معنادار است. با به‌کارگیری رگرسیون خطی ساده تأثیر سابقهٔ‌کاری بر میزان آزردگی صوتی شاغلان مورد بررسی قرار گرفت که براساس نتایج آن به افزایش یک سال سابقهٔ کار، ۰/۲۱ به‌میزان آزردگی صوتی شاغلان می‌افزاید. نتایج این تحلیل در شکل ۵ نشان داده شده است. از تحلیل رگرسیون چندگانه به‌منظور آزمون اثرگذاری متغیرهای سن، سابقهٔ کاری و تراز معادل صوت بر آزردگی صوتی استفاده شد که نتایج آن نشان داد اگرچه سابقهٔ کاری تأثیر معناداری بر آزردگی صوتی ندارد، اما با صرف‌نظر از تأثیر سن، با افزایش یک دسی‌بل تراز معادل صوت، به‌مقدار ۰/۲۱ بر آزردگی صوتی شاغلان افزوده می‌شود و به‌طور مشابه در صورت نادیده گرفتن تأثیر تراز معادل صوت، با افزایش یک سال سن میزان آزردگی صوتی شاغلان ۰/۱۵ افزایش می‌یابد. این نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۵. ارتباط بین سابقهٔ کاری و آزردگی صوتی

جدول ۳. بررسی تأثیر همزمان متغیرهای سن، سابقهٔ کاری و تراز معادل صوت بر آزردگی صوتی شاغلان

	مناسبت مدل		ضرایب مدل					
	آماره F	P-Value	ضریب رگرسیونی (B)	خطای انحراف استاندارد	ضریب رگرسیونی استاندارد شده	آماره T	P-Value	R	R^2
ثابت	۵۸/۵	۰/۰۰	−۱۳/۴۶	۱/۹۳	−	−۶/۹۷	۰/۰۰	۰/۸۸	۰/۷۸
$L_{Aeq,8h}$			۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۸۲	۱۱/۲۷	۰/۰۰		
سن			۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۳۵	۲/۶۲	۰/۰۱		
سابقه			−۰/۰۸	۰/۰۶	−۰/۱۸	−۱/۳۵	۰/۱۸		

۸. نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این مقاله میانگین آزردگی صوتی شاغلان ۶ به‌دست آمد که بیانگر آزردگی زیاد می‌باشد. همچنین ۳۲ درصد افراد آزردگی صوتی ۸ و بیشتر را گزارش کردند که نشان‌دهندهٔ آزردگی بیش از حد در آنهاست. این نتیجه با یافته‌های مطالعهٔ آلیس که در سال ۲۰۱۱ م روی شاغلان صنایع مختلف انجام داده بود مشابهت دارد [۲۶]. در مطالعه‌ای که گیوکینگ در سال ۲۰۱۲ م، در تراز کمتر از ۵۰ دسی‌بل برای صدای ترافیک جاده‌ای و ریلی، ۳۲ درصد افراد بیش از حد آزرده بودند [۲۷]. از دلائل این اختلاف می‌توان به تفاوت در افراد مورد مطالعه، نوع مشخصهٔ صوتی اندازه‌گیری شده و جز این‌ها اشاره کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که ارتباط مثبت و معناداری بین میزان مواجهه با صدای توربین‌های بادی و آزردگی صوتی شاعلان وجود دارد ($P-Value < 0.05$) و یک ارتباط خطی بین آنها وجود داشت. همچنین نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که میزان آزردگی در گروه‌های شغلی مختلف متفاوت. تعمیرکاران به‌دلیل نزدیکی به منبع صوت و دریافت تراز معادل صوت بیشتر، آزردگی صوتی بیشتری را نشان دادند که این نتایج با مطالعه آلیس که در سال ۲۰۱۱ م برروی مشاغل مختلف در مصر انجام شده بود همخوانی دارد [۲۶]. نتایج مطالعهٔ آلیس نشان داد مشاغلی که تراز صدا در آنها بیشتر است

آزردگی بیشتری ایجاد می‌کنند. باوجود تفاوت‌های زیادی چون نوع مشاغل مورد بررسی، منابع صوتی متفاوت، شرایط کاری متفاوت و تفاوت در ویژگی‌های فردی افراد و جز این‌ها در هر دو مطالعه افزایش میزان مواجهه با صوت موجب افزایش میزان آزردگی صوتی شد. بنابراین می‌توان اظهار کرد که یکی از دلائل بیشتربودن میزان آزردگی در تعمیرکاران می‌تواند بالا بودن میزان مواجههٔ صوتی آنها باشد؛ زیرا در این مطالعه نیز یک ارتباط خطی بین تراز معادل صوت و آزردگی صوتی یا درصد افراد آزرده وجود دارد که در مطالعات پیشین نیز نتایج مشابهی به‌دست آمده است [۲۸-۳۰]. لیوسزینسک در سال ۲۰۰۳ م در مطالعه‌ای که آثار صدای کم فرکانس و صدای با پهنای باند زیاد را بر روی شاغلان اتاق کنترل ایستگاه برق و کارخانهٔ سیمان بررسی کرد، یک ارتباط خطی بین میزان مواجهه و آزردگی به‌دست آورد و بیان کرد که تأثیر صدای کم فرکانس در میزان آزردگی بیشتر از تاثیر صدای با فرکانس پهن است [۲۸].

پدرسن در سال ۲۰۰۸ م مطالعه‌ای را روی ساکنان اطراف نیروگاه‌های بادی انجام داد و بیان کرد که قابل رؤیت بودن توربین‌ها دارای اثری منفی بر میزان آزردگی ساکنان می‌باشد [۳۱]. این موضوع در مطالعهٔ ون‌دن برگ، دوولان و آرزس نیز تأیید شد [۳۲-۳۴]. از دلائل بیشتر بودن آزردگی تعمیرکاران و نگهبانان نسبت به کارکنان اداری، ترکیب دو عامل صدا و احساس روانی ناشی از رؤیت منابع صوتی با شرایط خاص توربین‌ها باشد. نتایج این مطالعه، ارتباط مثبت و معناداری را بین میزان آزردگی صوتی شاغلان با سن نشان داد ($P-Value<0.05$). همچنین نتایج حاصل از رگرسیون خطی نشان داد که یک سال افزایش سن، به میزان ۰/۱۹ بر آزردگی صوتی شاغلان می‌افزاید. در این زمینه سازمان جهانی بهداشت بیان کرد که افزایش سن باعث می‌گردد که افراد در فرکانس‌های بالا دچار افت شنوایی شوند و این امر موجب کاهش حساسیت فرد به فرکانس‌های میانه و بالا می‌گردد. افت شنوایی در فرکانس‌های بالا نیز اثر پوششی صدای‌های زمینه‌ای بر صدای ناشی از توربین‌های بادی را از بین می‌برد [۳۵]. بنابراین می‌توان گفت که افراد مسن به‌دلیل کاهش اثر پوششی صداهای زمینه‌ای، در فرکانس‌های پایین صدای بیشتری را دریافت می‌کنند و به‌دلیل کم فرکانس بودن صدای منتشره از توربین‌های بادی این افراد در مواجهه با صدای ناشی از توربین‌های بادی بیشتر آزرده می‌شوند [۳۵]. وان گروون نیز در سال ۲۰۰۹ م مطالعه‌ای را جهت بررسی اثر صدای محیطی بر آزردگی صوتی جمعیت هلندی انجام داد [۳۶]. او بیان کرد که سن و آزردگی ناشی از صدای ترافیک دارای یک ارتباط به‌شکل U معکوس می‌باشند، به‌گونه‌ای‌که در افراد محدودهٔ ۴۵ سال میزان آزردگی در بیشتر حد خود قرار دارد و در بیشتر از ۴۵ سال مقداری نزول می‌یابد.

در این مطالعه نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که اگرچه سابقهٔ کاری تأثیر معناداری بر آزردگی صوتی ندارد، اما با صرف‌نظر از تأثیر سن، با افزایش یک دسی‌بل تراز معادل صوت، به مقدار ۰/۲۱ بر آزردگی صوتی شاغلان افزوده می‌شود. به‌طور مشابه در صورت نادیده گرفتن تأثیر تراز معادل صوت، با افزایش یک سال سن میزان آزردگی صوتی شاغلان ۰/۱۵ افزایش می‌یابد. این نتایج تأیید می‌کند که تأثیر تراز صوت بر آزردگی صوتی بیشتر از تأثیر سن و تغییرات حاصل از آن می‌باشد. در این راستا جاکوفلجوویک و همکاران در سال ۲۰۰۹ م مطالعه‌ای را با عنوان صدای ترافیک جاده‌ای و فاکتورهای تأثیرگذار بر آزردگی صوتی جمعیت شهری انجام دادند [۳۷]. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که آزردگی صوتی با تراز صدا، ویژگی‌های فردی و بعضی از شرایط خانه ارتباط معناداری دارد. اگرچه نوع منابع صوتی مورد مطالعه، جمعیت مورد مطالعه، و ابزار و روش مطالعه متفاوت است، اما نتایج این مطالعه با مطالعهٔ حاضر تأیید می‌کند که تأثیر تراز مواجهه با صوت و مشخصه‌های صوتی بر آزردگی از ویژگی‌های فردی بیشتر است. در سال ۲۰۰۷ م نیز پدرسن

مطالعه‌ای را با هدف بررسی رابطهٔ میان آلودگی صوتی و آزردگی با تأکید بر تفاوت در محیط زندگی بر جمعیت سوئدی انجام داد و نتایج آن حاکی از آن بود که افزایش تراز فشار صوت موجب می‌گردد که آزردگی بیشتر شود [۱]. نتایج مطالعهٔ پدرسن نشان داد که آزردگی صدای توربین بادی با افزایش تراز فشار صوت افزایش می‌یابد. همچنین آزردگی با قابل مشاهده‌بودن توربینهای بادی دارای ارتباط معناداری بود. مطالعهٔ پدرسن تأییدی بر نتایج مطالعهٔ حاضر می‌باشد؛ زیرا در مطالعهٔ ما هم با افزایش تراز صوت میزان آزردگی صوتی افزایش یافت و کارکنان اداری به‌دلیل ندیدن توربین‌های بادی میزان آزردگی کمتری را نسبت به نگهبانان و تعمیرکاران تجربه کرده بودند. همچنین از دلائل بیشتری که می‌تواند پایین‌تر بودن آزردگی کارکنان را توجیه کند می‌توان به نگرش افراد در مورد توربین‌های بادی و حساسیت آنها اشاره کرد که در مطالعات پیشین تأثیر آنها بر آزردگی صوتی تأیید شده است [۱، ۱۴، ۳۸]. با توجه به بالابودن تراز مواجههٔ شاغلان نسبت به ساکنان اطراف توربین‌های بادی این انتظار وجود داشت که میزان آزردگی در شاغلان بسیار بالاتر از ساکنان اطراف توربین‌های بادی باشد که در این مطالعه این نتیجه حاصل نشد و نیازمند مطالعات بیشتر است. از دلائل این نتیجه می‌توان به این امر اشاره کرد که جمعیت عمومی نسبت به شاغلان حساس‌ترند. همچنین در این مطالعه افراد شاغل از لحاظ اقتصادی ذینفع نیروگاه‌های بادی به‌حساب می‌آیند که در مطالعات پیشین کمتر بودن آزردگی افراد ذینفع نسبت به سایر افراد به تأیید رسیده است [۱۴–۱۵].

باجود محدودیت‌هایی چون کم‌بودن شاغلان مورد مطالعه، در نظر نگرفتن فاکتورهایی چون حساسیت صوت، نگرش افراد و وضعیت سلامت و ویژگی‌های فردی افراد که سب آزردگی بیشتر آنها می‌شود نتایج این مطالعه تأیید می‌کند که توربین‌های بادی موجب آزردگی شاغلان نیروگاه‌های بادی می‌شوند که این می‌تواند وضعیت سلامت و خواب آنها را تحت تاثیر قرار دهد [۱۶، ۲۱–۲۲]. از نکات مثبت و قابل توجه این پژوهش می‌توان به مورد مطالعه قرار دادن افراد شاغل در نیروگاه‌های بادی اشاره کرد؛ زیرا تاکنون مطالعه‌ای روی این افراد صورت نگرفته است. بنابراین باتوجه به جمیع نتایج به‌دست آمده و مطالعات ذکرشده می‌توان صدای ناشی از توربین‌های بادی را به‌عنوان یک ریسک فاکتور تهدیدکنندهٔ سلامت شاغلان نیروگاه‌های بادی در نظر گرفت که جهت تأیید نتایج این مطالعه انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه مورد نیاز است. بنابراین توصیه می‌گردد در مطالعات آتی عواملی از قبیل حساسیت افراد، وضعیت سلامت و اختلال خواب آنها و نگرش افراد نسبت به توربین‌های بادی مد نظر قرار گیرد.

قدردانی

در پایان از تمامی کارکنان زحمتکش نیروگاه بادی منجیل که یاریگر انجام این مطالعه بودند قدردانی می‌شود.

۹. مآخذ

[1] Pedersen E, K. Persson-Waye. “Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments.” Occup Environ Med 2007, 64, pp.480–6.

[2] Ackermann T, L. So¨der. “Wind energy technology and current status: a review.” *Renew SustEnerg Rev* 2000, 4, pp.315–74.

[3] C. Doolan. “Wind turbine noise mechanisms and some concepts for its control.” *AcousticsAustralia*, 40(1), pp.7–13, 2012.

[4] Nobbs, B., C. J. Doolan, D. J. Moreau. “Characterisation of noise in homes affected by wind turbine noise.” Proceedings of Acoustics, 2012 Fremantle.

[5] Erickson v. Director, Ministry of the Environment. Environmental Review Tribunal case nos. 2013, 10-121/10-122.

[6] Chouard CH. Le retentissement du fonctionnement des éoliennessurla santé de l'homme. Paris (France): Académienationale demédecine; 2006.

[7] Horner, B., Roy D. Jeffery, Carmen M. E. Krogh; Literature Reviews on Wind Turbines and Health Are They Enough? Literature Reviews on Wind Turbines and Health: Are They Enough? ; Bull Sci Tech Soc. (2011), 2011 31, pp. 399-413.

[8] R. D. Jeffery, C. Krogh, B. Horner. "Adverse health effects of industrial wind turbines,"Canadian FamilyPhysician." *official journal of the College of Family Physicians of Canada*, May 2013.

[9] Nissenbaum M, J. Aramini, C. Hanning. "Effects of industrial windturbine noise on sleep and health." *Noise Health* 2012, 14, pp. 237-43.

[10] Pierpont N. "Wind turbine syndrome: a report on a natural experiment." Santa Fe (NM): K-Selected Books, 2009.

[11] Bolin, K., G. Bluhm, G. Eriksson, M. E. Nilsson. "Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects." Environ. Res. Lett. 2011.

[12] Lee, S., K. Kim, W. Choi, S. Lee. "Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise." *Noise Control Engineering Journal* 2011, 59, pp. 38-46.

[13] Van den Berg, G. "Effects of the wind profile at night on wind turbine sound." *J Sound Vib* 2004, 277, pp. 955–70.

[14] Pedersen, E., R. Bakker, J. Bouma, et al. "Response to noise from modernwind farms in the Netherlands." *J AcoustSoc Am* 2009, 126, pp. 634-43.

[15] Janssen S, H. Vos, A. Eisses, E. Pedersen. "A comparison between exposure–response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources." *J AcoustSoc Am* 2011, 130, pp. 3746–53.

[16] Bakker, R. H., E. Pedersen, G. P. Van den Berg. R. E. Stewart, W. Lok, J. Bouma. "Impact of Wind Turbine Sound on Annoyance", Self-Reported Sleep Disturbance and Psychological Distress. Science of the Total Environment, 2012, 425, pp. 42-51.

[17] Leventhal G. "Infrasound from Wind Turbines – Fact, Fiction or Deception." *Canadian Acoustics*, 2006 24(2), pp. 29-36.

[18] DeGagne D. C., S. D.Lapka. "Incorporating low frequency noise legislationfor the energy industry in Alberta Canada." *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control* 2008, 27, pp. 105-20.

[19] Iachini, T., L. Maffei, F. Ruotolo, V. P. Senese, G. Ruggiero, M. Masullo, N. Alekseeva. "Multisensory assessment of acoustic comfort aboard metros: avirtual reality study." *Appl.Cogn.Psychol*, 2012, 26, pp. 757–767.

[20] Maffei, L., T. Iachini, M. Masullo, F. Aletta, F. Sorrentino, V. P. Senese, F. Ruotolo. "The effects of vision related aspects on noise perception of wind turbines in quietareas." *Int.J.Environ.Res.Publ.Health*, 2013:10, pp. 1681–1697.

[21] WHO. *Guidelines for community noise*, Geneva: World Health Organization; 2000.

[22] Klaeboe R. “Noise and health: annoyance and interference.” *Noise polution and health effects Encycl. Env. Health*, 2011. p. 152–63.

[23] Stansfeld, S., C. Clark. “Mental health effects of noise. Noise polution and health effects.” *Encycl. Env. Health*, 2011. p. 683–9.

[24] ISO 9612: (en), Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Engineering method 2009.

[25] ISO/TS 15666, Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acousticsurveys. International Organization for Standardization, 2003.

[26] Ali, S.A, “Industrial noise levels and annoyance in Egypt.” *Applied Acoustics* 72, 2011, pp. 221–225.

[27] Guoqing, D., L. Xiaoyi, A. G. Qili, H. L. Yue. “The relationship between urban combined traffic noise and annoyance: An investigation in Dalian, north of China.” *Science of the Total Environment* 432, 2012, pp. 189–194.

[28] Luszczynsk, M. A, A. Dudarewicz, M. S. WaszkowskaMand Kowlska. “Assessment of Annoyance from Low Frequency and broadband noises.” *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2003; 16(4), pp. 337-343.

[29] Chan P.K, T. Ch. Chan, W. CH. Au, W. CH. Hui. “Annoyance response to mixed transportation noise in Hong KongKin-Che Lam.” *Applied Acoustics* 70, 2009, pp. 1–10.

[30] Ayr U, E. Cirillo, F. Martellotta. “Further investigations of a new parameter to assess noise annoyance in air-conditioned building.” *Energy and Buildings* 34, 2002, pp. 765–774.

[31] E. Pedersen, P. Larsman. “The impact of visual factors on noise annoyance amongpeople living in the vicinity of wind turbines.” *Journal of Environmental Psychology*, 2008, 28(4): pp. 379–389.

[32] Van den Berg, G.P., E. Pedersen, J. Bouma, R. Bakker. “Project WIND FARM perception: visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents.” Report FP6-2005-Science-and-Society-20, University of Groningen, G¨oteborg University, 2008.

[33] Con Doolan, “A review of wind turbine noise perception”, annoyance and low frequency emission, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, South Australia, 5005, Australia, December 11, 2012.

[34] Arezes, P.M, C. A. Bernard, O. Ribeiro, E. Dias. “Implications of wind power generation: exposure to wind turbine noise”, Procedia - Social and Behavioral Sciences 109 (2014), pp. 390-395.

[35] WHO. Night noise guidelines for Europe. WHO Regional Office for Europe; 2009.

[36] Van Gerven, PWM, H. Vos, M.P.J. van Boxtel, S. A. Janssen, H. M. E. Miedema. “Annoyance from environmental noise across the lifespan.” *J AcoustSoc Am* 2009, 126: pp. 187–94.

[37] Jakovljevic, B.R. K.A. Paunovic, G. Belojevic. “Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population.” *Environment International* 35 (2009), pp. 552–556.

[38] Pedersen, E., K.P. Waye. “Perception and annoyance due to wind turbine noise-adose-response relationship.” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, 116:3460.