Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 6, Issue 4, Winter 2020, Pages: 41-49

Original Article

doi: 10.52547/johe.6.4.41

Can Exposure to Whole-body Vibration Affect the Prevalence of Musculoskeletal Disorders in Operators of Construction Vehicles? A Study in Construction Projects

Zeynab Jamalizadeh[1], Ehsan Asivandzadeh[2,*], Khodabakhsh Zare[3], Mohammad Nazifipour[4], Peyman Yari[2]

[1] *MSc in Occupational Health Engineering, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran*
[2] *MSc in Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *MSc in Occupational Health Engineering, Valfajr Health Center, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran*
[4] *MSc in Health Safety Environment, Faculty of Environment Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Ehsan Asivandzadeh, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: Ehsan.asivand@gmail.com*

Received: 28/08/2019
Accepted: 21/11/2019

How to Cite this Article:
Jamalizadeh Z, Asivandzadeh E, Zare K, Nazifipour M, Yari P. Can Exposure to Whole-body Vibration Affect the Prevalence of Musculoskeletal Disorders in Operators of Construction Vehicles? A Study in Construction Projects. *J Occup Hyg Eng*. 2020; 6(4): 41-49. DOI: 10.52547/johe.6.4.41

Abstract

Background and Objective: Operators of construction vehicles are constantly exposed to whole-body vibration, which can lead to musculoskeletal disorders. Therefore, this study aimed at evaluating the effect of exposure to whole-body vibration and its relation to musculoskeletal disorders among these operators who work at construction projects.

Materials and Methods: This study was conducted based on a descriptive-analytical and cross-sectional design. In total, 89 operators who operated 6 types of heavy vehicles (i.e., Bulldozer, Tipper Truck, Heavy Vibrator Roller, Light Vibrator Roller, Hammer drill, and Loader) in two construction projects were included in this study. The vibration indices (i.e., effective acceleration, peak factor, and vibrational dose) were measured according to ISO 2631 and SVAN 958 vibrometer to evaluate the exposure rate of the whole body to vibration. Moreover, the Body Map Questionnaire was employed to assess the status of musculoskeletal disorders. The data were analyzed using Kolmogorov-Smirnov test, one-way ANOVA, Pearson correlation coefficient, and multivariate regression. A P-value less than 0.05 was considered statistically significant.

Results: The results of this study showed that according to occupational exposure limit standard, the whole-body exposure to vibration from Bulldozer (2.25 m/s^2), Tipper Truck (0.98 m/s^2), Heavy Vibration Rollers (3.20 m/s^2), Light Vibration Rollers (3.45 m/s^2), Hammer drill (4.11 m/s^2), and Loader (1.2 m/s^2) were more than the daily exposure limit. The results also revealed that exposure to vibration correlated significantly with underlying factors and musculoskeletal disorders.

Conclusion: The present study confirmed the potential health hazards threatening the operators of construction vehicles. Therefore, it is suggested to implement technical and management strategies, including installation of appropriate vibration insulators on seats, holding training sessions, encouraging the individuals with long exposure experience to vibration to change their job, rotating work schedules, as well as using gloves, flooring, and vibration damping pads, and implementing supervising protocols on the performance of the operators.

Keywords: Construction Vehicles; Musculoskeletal Disorders; Whole-Body Vibration

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

Copyright © 2020 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.6.4.41

آیا مواجهه با ارتعاش تمام بدن در اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی می‌تواند بر شیوع اختلالات اسکلتی– عضلانی اثرگذار باشد؟ یک مطالعه پژوهشی در پروژه‌های عمرانی

زینب جمالی‌زاده[۱]، احسان آسیوندزاده[۲،*]، خدابخش زارع[۳]، محمد نظیفی پور[۴]، پیمان یاری[۲،*]

[۱] کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

[۲] کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

[۳] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، مرکز بهداشت والفجر، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

[۴] کارشناس ارشد HSE، دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** احسان آسیوندزاده، مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
ایمیل: Ehsan.asivand@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۳۰

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی به‌طور دائم در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند که این امر می‌تواند منجر به بروز اختلالات اسکلتی- عضلانی گردد. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی مواجهه اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی با ارتعاش تمام بدن و ارتباط آن با اختلالات اسکلتی- عضلانی در پروژه‌های عمرانی انجام شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی- تحلیلی از نوع مقطعی می‌باشد. با استفاده از روش نمونه‌گیری آسان، ۸۹ اپراتور از شش نوع ماشین (بولدوزر، کامیون، غلطک ویبره سنگین، غلطک ویبره سبک، پیکور و لودر) در دو پروژه عمرانی وارد مطالعه شدند. به‌منظور ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن، شاخص‌های ارتعاشی (شتاب مؤثر، فاکتور قله و دوز ارتعاشی) براساس دستورالعمل‌های استاندارد ISO 2631 (International Organization for Standardization) و دستگاه ارتعاش‌سنج SVAN 958 اندازه‌گیری گردیدند. جهت ارزیابی اختلالات اسکلتی- عضلانی نیز پرسشنامه بادی مپ (نقشه بدن) به کار گرفته شد. همچنین به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون‌های Kolmogorov–Smirnov، آنالیز واریانس یک‌طرفه، ضریب همبستگی Pearson و رگرسیون چندمتغیره استفاده گردید (سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵).

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که مطابق با استاندارد OEL (Occupational Exposure Limit) میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن در بولدوزر (۲/۲۵ متر بر مجذور ثانیه)، کامیون (۰/۹۸ متر بر مجذور ثانیه)، غلطک ویبره سنگین (۳/۲۰ متر بر مجذور ثانیه)، غلطک ویبره سبک (۳/۴۵ متر بر مجذور ثانیه)، پیکور (۴/۱۱ متر بر مجذور ثانیه) و لودر (۱/۲ متر بر مجذور ثانیه) بیش از مقدار مواجهه روزانه می‌باشد. در این مطالعه بین میزان مواجهه با ارتعاش، عوامل زمینه‌ای و اختلالات اسکلتی- عضلانی، ارتباط معنادار و مستقیمی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج تأییدکننده وجود خطرات بالقوه بهداشتی برای اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی بودند؛ از این رو پیشنهاد می‌گردد کنترل‌های فنی و مدیریتی از جمله نصب عایق‌های مناسب ارتعاش روی صندلی‌ها، برگزاری دوره‌های آموزشی، تغییر شغل افراد با سابقه مواجهه طولانی با ارتعاش، برنامه کار به‌صورت چرخشی، استفاده از دستکش، کفپوش و بالشتک‌های میراکننده ارتعاش و ایجاد پروتکل‌های نظارت بر نحوه انجام کار صورت گیرد.

واژگان کلیدی: اختلالات اسکلتی- عضلانی؛ ارتعاش تمام بدن؛ ماشین‌آلات عمرانی

مقدمه

امروزه پیشرفت فناوری و نیاز به افزایش بازده ماشین‌آلات ایجاب می‌نماید که شرایط برای افزایش سرعت و توان

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

ماشین‌آلات فراهم گردد. این افزایش موجب حرکات زائد مکانیکی در اجزای دستگاه شده و به‌صورت ارتعاش نمایان می‌گردد. در بسیاری از مشاغل، کارگران با ارتعاش تمام بدن در وسایل نقلیه جاده‌ای یا غیرجاده‌ای مواجه می‌باشند [۱،۲]. مواجهه با ارتعاش مکانیکی ماشین‌آلات و تجهیزات متحرک می‌تواند بر راحتی، بهره‌وری کاری، بهداشت و ایمنی شغلی اثرگذار باشد [۳]. یکی از منابع متداول ایجاد ارتعاش تمام بدن در صنعت، انواع مختلف وسایل حمل و نقل همچون ماشین‌های سنگین، بولدوزر، لودر، بالابر چنگکی و دیگر انواع ماشین‌آلات متحرک صنعتی است [۴]. در بدن انسان، دریافت‌کننده‌های طبیعی متعددی برای دریافت ارتعاشات وجود دارند که نه‌تنها در سطح بدن و قسمت‌هایی از آن که با سطوح مرتعش تماس پیدا می‌کنند، موجود هستند؛ بلکه در داخل بدن نیز که ارتعاشات دریافت‌شده در آنجا منتشر می‌شوند، وجود دارند [۵]. قرارگرفتن بدن به مدت طولانی در معرض ارتعاشاتی با شدت بالاتر از آستانه دریافت سبب ایجاد بیماری‌های ناشی از کار از جمله ریسک بهداشتی در انجام فعالیت سیستم‌های روانی- حرکتی، فیزیولوژیکی و روان‌شناختی، کاهش عملکرد و حتی به خطر افتادن سلامت جسمانی از جمله بروز اختلالات عضلانی- اسکلتی (WMSD: Work-related Musculoskeletal Disorders) مرتبط با کار می‌شود [۶-۹]. در این راستا، در بررسی NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) (۱۹۹۷) گزارش گردید که شواهدی قوی در مورد وجود ارتباط مثبت بین قرارگرفتن در معرض WBV (Whole Body Vibration) و اختلالات اسکلتی- عضلانی در دست می‌باشد. بیشتر مطالعات بررسی‌شده در سند NIOSH نشان‌دهنده ارتباط دوز و پاسخ میان قرارگرفتن در معرض WBV و اختلالات کمردرد می‌باشند [۱۰]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اختلالات اسکلتی- عضلانی می‌تواند عامل بسیار مؤثری در ناتوانی افراد برای انجام کار باشد [۱۱،۱۲]. Citra و همکاران طی یک مطالعه مقطعی اقدام به اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن در اپراتورهای ماشین‌آلات نمودند. نتایج نشان دادند که شکایات مرتبط با سیستم اسکلتی- عضلانی به‌ویژه در ناحیه کمر ممکن است ناشی از مواجهه شغلی با ارتعاش تمام بدن باشد [۱۳]. براساس مطالعات متعدد در سالیان متمادی مشخص شده است که طیف فرکانسی حائز اهمیت در مواجهه با ارتعاش تمام بدن بین ۰/۵ تا ۸۰ هرتز می‌باشد. امروزه استانداردهای مختلف ملی و بین‌المللی نیز همین محدوده فرکانسی را برای بررسی ارتعاش تمام بدن پیشنهاد می‌کنند. به‌طور کلی، امروزه در دنیا ریسک مواجهه با ارتعاش تمام بدن به میزان بیش از حد آستانه مجاز به‌خوبی شناخته شده و الزامات ویژه‌ای در راستای پیشگیری از مواجهه با ارتعاش تمام بدن ارائه شده است. در پروژه‌های عمرانی- صنعتی، اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی ممکن است مدت زمان زیادی را درحالی که در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند، درحال رانندگی باشند. از آنجایی که اطلاعات اندکی در رابطه با ارتعاش تمام بدن و شرایط کاری اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی در متون مربوط به ارتعاش و بهداشت شغلی در ایران وجود دارد [۴]، مطالعه حاضر با هدف بررسی ارتباط بین میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن و اختلالات اسکلتی- عضلانی در اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمون

پژوهش حاضر که یک مطالعه توصیفی- تحلیلی از نوع مقطعی می‌باشد، در ارتباط با دو پروژه عمرانی- راه‌سازی در سال ۱۳۹۷ انجام شد. در فاز اول پژوهش به‌منظور ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن، مطابق با توصیه سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) از استاندارد ISO 2631 استفاده گردید. در فاز دوم پژوهش نیز به‌منظور بررسی اختلالات اسکلتی- عضلانی شرکت‌کنندگان از پرسشنامه بهره گرفته شد. در این مطالعه برای رسیدن به اهداف مورد نظر، به‌جای درنظرگرفتن اپراتورهای یک نوع خاص از ماشین‌آلات عمرانی سعی گردید چند نوع از ماشین‌آلات که اپراتورهای آن‌ها در معرض مواجهه با ارتعاش تمام بدن قرار دارند (از جمله بولدوزر، کامیون، پیکور، لودر، غلطک ویبره سنگین و غلطک ویبره سبک)، مورد بررسی قرار گیرند.

تعداد نمونه

جمعیت مورد مطالعه در پژوهش حاضر شامل تمام اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی در دو پروژه عمرانی- راه‌سازی بود. انتخاب نمونه به روش سرشماری صورت گرفت و از اپراتورهای مستقر در پروژه خواسته شد تا در پژوهش شرکت نمایند. در نهایت، ۸۹ اپراتور ماشین‌آلات عمرانی از جمله بولدوزر، کامیون، پیکور، لودر، غلطک ویبره سنگین و غلطک ویبره سبک که در معرض مواجهه با ارتعاش تمام بدن قرار داشتند، به‌عنوان شرکت‌کننده وارد مطالعه شدند.

مدت زمان مواجهه

براساس استانداردها بهتر است حداقل زمان اندازه‌گیری ارتعاش، ۲۰ دقیقه باشد و در صورت عدم امکان، این زمان حداقل ۳ دقیقه در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که اندازه‌گیری‌های طولانی‌مدت دو ساعته یا بیشتر از اعتبار بالاتری برخوردار می‌باشند [۱۴]. اپراتورها طبق قانون کار، هشت ساعت در روز کار می‌کنند (بدون درنظرگرفتن اضافه کاری). در پروژه‌های مورد مطالعه، اپراتورها در طول شیفت کاری هشت ساعته روزانه، ۹۰ درصد از زمان کار خود را مشغول رانندگی بوده‌اند (هفت ساعت درحال رانندگی و یک ساعت درحال استراحت)؛ بنابراین به‌منظور پوشش‌دادن شرایط کاری اپراتورها، مدت زمان اندازه‌گیری به‌طور میانگین ۱۰۲ دقیقه به‌صورت ناپیوسته در طول عملیات معمول

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

کاری (به‌طوری که تمام شرایط کاری اپراتورها در اندازه‌گیری پوشش داده شوند) در نظر گرفته شد (با این فرض که ویژگی‌های مختصات ارتعاش برای تمام شیفت، مشابه با ویژگی‌ها در طول اندازه‌گیری بودند).

ابزار گردآوری داده‌ها

دستگاه ارتعاش‌سنج و آنالیزور SVAN 958

در مطالعه حاضر از دستگاه شتاب‌سنج نشیمن‌گاه سه‌محوری SV39A/L در محدوده فرکانسی ۰/۵ تا ۳ کیلوهرتز (ساخت کمپانی Svantek) استفاده شد. این دستگاه مطابق با استاندارد ISO 2631-1 و SAE j 1013 طراحی شده است. دستگاه ارتعاش‌سنج فوق دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد:

-درون یک پد لاستیکی با ضخامت ۱۲ میلی‌متر نصب شده است.

-دارای دتکتورهای دیجیتال اندازه‌گیری r.m.s (Root Mean Square Acceleration) و r.m.q (Root Mean Quad) همراه با تشخیص پیک دارای ثابت زمانی از ۱۰۰ میلی‌ثانیه تا ۱۰ ثانیه

-دارای شتاب سنج با حساسیت ۱۰۰ میلی ولت به ازای هر گرم (mv/g) و محدوده اندازه‌گیری ۰/۰۰۳ تا ۵۰۰ متر بر مجذور ثانیه

-مقاومت در برابر شرایط دمایی از ۱۰- تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت به میزان ۹۰ درصد

پرسشنامه‌ها

به‌منظور بررسی وضعیت اسکلتی- عضلانی شرکت‌کنندگان از یک پرسشنامه شامل دو بخش مجزا استفاده شد. بخش اول مربوط به اطلاعات زمینه‌ای کارگران (سن، سابقه کار، وضعیت تأهل، تحصیلات و مصرف سیگار) و نوع وسیله نقلیه اطلاعات عمومی (کد پرسشنامه برای هر کارگر، تاریخ و ساعت تکمیل پرسشنامه) بود و بخش دوم به پرسشنامه استانداردشده بادی مپ اختصاص داشت. این پرسشنامه ۲۷ عضو بدن را مورد بررسی قرار می‌دهد [۱۱].

روش گردآوری داده‌ها

ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن

اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن باید در حالت نشسته روی صندلی و در طول عملیات معمول کاری فرد انجام شود [۱۵]. به‌منظور ارزیابی میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن، استانداردهای مختلف، دستورالعمل‌های متفاوتی را ارائه داده‌اند که مهم‌ترین و پراستفاده‌ترین آن‌ها عبارت هستند از: استاندارد ISO 2631 (1997) و BS 6841 (1987). با وجود تفاوت‌های موجود، هر دو استاندارد، روش ارزیابی مواجهه انسانی با ارتعاش تمام بدن شامل: ارتعاشات ضربه‌ای و کوبه‌ای را ارائه نموده‌اند. در مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن از دستورالعمل‌های ارائه‌شده در استاندارد ISO 2631 (1997) استفاده گردید. این استاندارد شدت (Intensity)، فرکانس (Frequency)، مسیر (Direction) و مدت زمان مواجهه (Duration of Exposure) با ارتعاش را در اندازه‌گیری در نظر می‌گیرد. علاوه‌براین شیوه اندازه‌گیری شتاب ریشه میانگین مربعات (r.m.s)، میزان ارتعاش‌گذاری حداکثر (MTVV: Maximum Transient Vibration Value) و مقدار دوز ارتعاش (VDV: Vibration Dose Value) (توان چهارم دوز ارتعاشی) را شرح می‌دهد [۱۶]. در زمینه مواجهه با ارتعاش تمام بدن باید گفت که ریسک عوارض ناشی از ارتعاش در همه فرکانس‌ها یکسان نمی‌باشد؛ بنابراین به‌منظور بیان احتمال صدمات، یک باند توزین فرکانسی در فرکانس‌های مختلف ارائه شده است. نتایج مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهند که رابطه مستقیمی بین فرکانس ارتعاش و شتاب وزن‌یافته (a_w) وجود دارد [۱۷]. مطابق با استاندارد ISO 2631، مقادیر شتاب r.m.s وزن‌یافته فرکانسی (a_w) در سه محور با اعمال فاکتور جهت مربوطه (محور X و K=1.4 Y و محور K=1 Z) و باندهای توزین فرکانسی مرتبط (محور wd X,Y و محور wd Z) اندازه‌گیری شد. باید خاطرنشان ساخت که به‌منظور اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن از دستگاه ارتعاش‌سنج و آنالیزور SVAN 958 که توسط شرکت سازنده کالیبره شده بود، استفاده گردید. هنگام اندازه‌گیری زمان تشخیص، دستگاه روی ۱۰۰ میلی‌ثانیه قرار گرفت؛ به‌طوری که در هر ۱۰ ثانیه، ۱۰ نمونه ثبت شد. برای اندازه‌گیری در محورهای X، Y و Z به‌ترتیب از باند توزین فرکانسی Wd، Wd و Wk استفاده گردید. پد لاستیکی در زمان اندازه‌گیری ارتعاش کف صندلی بین باسن و صندلی اپراتور قرار داده شد [۱۸]. در این مطالعه اندازه‌گیری‌ها در طول عملیات کاری معمول اپراتورها- به‌جز اوقاتی که قطارها در ایستگاه توقف داشتند- و یا در پایان مسیر به‌منظور برگشت دوباره به محل اولیه صورت گرفت و در نهایت اندازه‌گیری انجام‌شده به کل شیفت کاری تعمیم داده شد. برای اطمینان از عدم تأثیر جابجایی اپراتورها به‌دلیل نشست و برخاست روی صندلی بر سیگنال دریافتی ارتعاشی و ثبت توسط دستگاه، پس از قرارگرفتن کامل و ثابت‌شدن اپراتور روی صندلی، دستگاه شروع به کار می‌کرد. در پایان اندازه‌گیری، مقدار شتاب ارتعاش (Aeq: Acceleration equivalent value) در نمایشگر دستگاه ثبت شده و توسط پژوهشگر قرائت و یادداشت می‌گردید. باید توجه داشت که میزان CF (Cystic Fibrosis) و VDV برای یک مسیر کامل کاری اندازه‌گیری شد. براساس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ارتعاش، با استفاده از رابطه ۱، شتاب r.m.s وزن‌یافته فرکانسی محاسبه گردید.

$$a_{w\,r.m.s} = \sqrt{[\frac{1}{T}\int_0^T a_w^2\,(t)dt]} \qquad \text{رابطه ۱}$$

$a_{w\,r.m.s}$: شتاب r.m.s وزن‌یافته فرکانسی (متر بر مجذور ثانیه)

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

T: مدت زمان اندازه‌گیری
$a_w(t)$: شتاب وزن‌یافته فرکانسی در زمان t

به‌منظور ترکیب مقادیر شتاب r.m.s (میانگین مقادیر شتاب در طول زمان اندازه‌گیری) در محورهای سه‌گانه از رابطه ۲ استفاده شد.

رابطه ۲ $$a_{xyz} = \sqrt{[a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2]}$$

a_{xyz}: ریشه مجموع مربعات وزن‌یافته فرکانسی
a_{wx}: شتاب r.m.s وزن‌یافته در محور x
a_{wy}: شتاب r.m.s وزن‌یافته در محور y
a_{wz}: شتاب r.m.s وزن‌یافته در محور z

برای محاسبه VDV از رابطه ۳ استفاده گردید.

رابطه ۳ $$VDV = \sqrt[4]{[\int_0^T [a_w(t)]^4 \, dt]}$$

VDV: دوز ارتعاش (متر بر ثانیه)
T: زمان اندازه‌گیری
$a_w(t)$: شتاب وزن‌یافته فرکانسی در زمان t

برای ترکیب‌نمودن محورهای مختصات VDV از رابطه ۴ استفاده گردید.

رابطه ۴ $$VDV_{xyz} = \sqrt[4]{[VDV_x^4 + VDV_y^4 + VDV_z^4]}$$

VDV_{xyz}: دوز ارتعاش ترکیب‌شده
VDV_x: دوز ارتعاش در محور x
VDV_y: دوز ارتعاش در محور y
VDV_z: دوز ارتعاش در محور z

مقادیر VDV براساس توان چهارم میانگین شتاب وزن‌یافته مواجهه بوده و تأکید می‌کند که مقادیر شتاب بزرگتر نسبت به متوسط توان دوم محاسبات شتاب r.m.s ارزش بیشتری دارند.

براساس دستورالعمل استاندارد ISO 2631، از آنجایی که بالابودن فاکتور قله بیانگر وجود تکانه‌های ارتعاشی و وجود شوک‌های تکراری است، در صورتی که فاکتور قله عددی بالاتر از ۹ باشد، ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن بر مبنای میزان دوز ارتعاشی (VDV) انجام می‌شود.

توزیع و تکمیل پرسشنامه‌ها

در مرحله بعد با ارائه مجوز، اقدام به مصاحبه با اپراتورهای ماشین‌آلات گردید. پیش از توزیع پرسشنامه‌ها، طی یک جلسه توجیهی، اهداف مطالعه و نحوه پاسخ‌دادن به سؤالات به شرکت‌کنندگان توضیح داده شد. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط شرکت‌کنندگان، پرسشنامه‌ها توسط تیم پژوهش جمع‌آوری گردیدند. به‌منظور تکمیل پرسشنامه‌های دموگرافیک و اختلالات اسکلتی- عضلانی، اپراتورهایی که در طول یک هفته مورد ارزیابی ارتعاش قرار گرفتند، در آخرین روز هفته که بار کاری آن‌ها سبک‌تر بود، در یکی از دفاتر اداری گرد هم آمدند و پرسشنامه‌های مربوطه به آن‌ها تحویل داده شد و توضیحات لازم ارائه گردید. به‌منظور اطمینان خاطر اپراتورها از عدم ایجاد مشکلات کاری برای آن‌ها، پرسشنامه‌ها بدون نام بودند. در این مطالعه پرسشنامه‌ها به نمایندگی از سایرین، به یک نفر از اپراتورها تحویل داده شد و آن شخص پرسشنامه‌ها را پس از تکمیل‌شدن به پژوهشگر تحویل می‌داد. پس از تکمیل و جمع‌آوری پرسشنامه‌های فوق، اطلاعات به‌دست‌آمده از ارزیابی‌های مربوط به مواجهه با ارتعاش و پرسشنامه‌های مربوطه توسط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به مواجهه با ارتعاش و تکمیل پرسشنامه‌ها، داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS 25 شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. پس از ارائه شاخص‌های توصیفی (میانگین±انحراف معیار و درصد متغیرها) و بررسی نرمال‌بودن آن‌ها، داده‌ها با توجه به اهداف مطالعه تجزیه و تحلیل شدند. در این پژوهش نرمال‌بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov–Smirnov ارزیابی گردید. به‌منظور مقایسه میانگین شتاب‌ها در شش نوع ماشین سنگین نیز از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. همچنین برای مقایسه ارتباط بین داده‌های مربوط به ارتعاش و اختلالات اسکلتی- عضلانی از آزمون همبستگی Pearson بهره گرفته شد و به‌منظور تحلیل مشارکت چند متغیر مستقل در پیش‌بینی و تبیین یک متغیر وابسته از آزمون رگرسیون چندمتغیره استفاده گردید. در این مطالعه سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در مطالعه حاضر ۸۹ شرکت‌کننده مورد ارزیابی قرار گرفتند (هیچ‌یک از شرکت‌کنندگان از مطالعه انصراف ندادند) و تمام پرسشنامه‌های توزیع‌شده توسط مجری طرح تحویل گرفته شدند. میانگین سنی افراد ۴۳/۱ سال با انحراف معیار ۴ بود. میانگین سابقه کاری افراد نیز معادل ۹/۸۴ سال با انحراف معیار ۵/۰۸ محاسبه گردید. اطلاعات توصیفی شرکت‌کنندگان در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به ماشین‌آلات در جدول ۲ ارائه شده‌اند. پس از اندازه‌گیری شتاب r.m.s، مقادیر شتاب وزن‌یافته فرکانسی و دوز ارتعاشی برای ۸۹ ماشین محاسبه گردید. ابتدا فاکتور جهت k در مقادیر شتاب r.m.s فردی اعمال شد و در ادامه محور غالب جهت محاسبات تعیین گردید. مطابق با استاندارد، در صورتی که یک محور به مقدار ۰/۶۶ بزرگتر از دو محور دیگر باشد، آن محور را به‌عنوان محور غالب در نظر می‌گیریم. در مطالعه حاضر

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]
[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

جدول ۱: اطلاعات توصیفی مربوط به شرکت‌کنندگان

متغیر	دسته‌بندی متغیر	درصد
سن افراد	۴۲≤	۳۵/۲۸
	۵۲-۴۳	۴۱
	۵۳≥	۲۳/۷۲
سابقه کار (سال)	۱۰-۱	۳۹/۵
	۲۰-۱۱	۴۰/۱۲
	۳۷-۲۱	۲۰/۳۸
وضعیت تأهل	مجرد	۳۸/۹۸
	متأهل	۶۱/۰۲

جدول ۲: دسته‌بندی، تعداد و عمر ماشین‌آلات

دسته‌بندی	عمر متوسط ماشین (سال)	تعداد
بولدوزر	۲۲/۱۱	۱۲
کامیون	۱۶/۴۲	۴۲
غلطک ویبره سنگین	۲۰/۲	۸
غلطک ویبره سبک	۲۱	۱۱
پیکور	۲۹/۵	۶
لودر	۱۹/۸	۱۱

نمونه‌های با کد ۲ و ۳ به‌عنوان محور غالب (محور Z) درنظر گرفته شدند و جهت محاسبه سایر نمونه‌ها از برآیند محورها استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ ارائه شده‌اند. بر مبنای نتایج، میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن در بولدوزر معادل ۲/۲۵ متر بر مجذور ثانیه، کامیون برابر با ۰/۹۸ متر بر مجذور ثانیه، غلطک ویبره سنگین معادل ۳/۲۰ متر بر مجذور ثانیه، غلطک ویبره سبک برابر با ۳/۴۵ متر بر مجذور ثانیه، پیکور معادل ۴/۱۱ متر بر مجذور ثانیه و لودر برابر با ۱/۲ متر بر مجذور ثانیه، مطابق با استاندارد OEL بیش از مقدار مواجهه روزانه می‌باشند. بر مبنای یافته‌ها می‌توان گفت که پیکور (۴/۱۱ متر بر مجذور ثانیه) بیشترین و کامیون (۰/۹۸ متر بر مجذور ثانیه) کمترین مقدار برآیند شتاب را به خود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر، اطلاعات ارائه‌شده در جدول ۳ حاکی از آن هستند که اختلاف میانگین‌ها در شش نوع ماشین سنگین از نظر آماری معنادار می‌باشد. از آنجایی که در این مطالعه نرمال‌بودن داده‌ها مورد تأیید قرار گرفت، از آزمون همبستگی Pearson جهت بررسی ارتباط دو به دوی متغیرها استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۴ ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ارتباط آماری معنادار و مستقیمی بین مواجهه با ارتعاش، سن و سابقه کار افراد و عمر ماشین‌های سنگین وجود دارد. به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل دموگرافیک و ارتعاش با متغیر وابسته اختلالات اسکلتی- عضلانی و سنجش شدت تأثیر هرکدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از آزمون رگرسیون چندمتغیره استفاده گردید و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شد. مقدار R=۰/۹۰۱ مؤید آن است که مجموعه متغیرهای مستقل قادر هستند تغییرات اختلالات اسکلتی- عضلانی را به‌خوبی تبیین نمایند. نتایج آزمون رگرسیون در پی بررسی رابطه اختلالات اسکلتی- عضلانی و متغیرهای دموگرافیک (جدول ۵) نشان دادند که ارتباط بین متغیر میزان مواجهه با ارتعاش با اختلالات اسکلتی- عضلانی، معنادار و مستقیم می‌باشد؛ به‌طوری که

جدول ۳: مقادیر ارتعاش در امتداد محور غالب Z یا برآیند محورها بر صندلی و اختلاف میانگین بین انواع ماشین‌آلات (آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه)

کد	دسته‌بندی	مدت زمان مواجهه (دقیقه)	مدت زمان اندازه‌گیری (دقیقه)	برآیند شتاب (متر بر مجذور ثانیه)	فاکتور قله (دسی بل)	دوز ارتعاش (متر بر ثانیه)	حد مجاز مواجهه (ساعت)	سطح معناداری (اختلاف میانگین)
۱	بولدوزر	۴۲۰	۱۰۲	۲/۲۵	۱۸/۸	۸/۷۵	(۸) ۰/۸۷	۰/۰۲۵
۲	کامیون	۴۲۰	۱۰۲	۰/۹۸	۹/۷۳	۳/۸۰	(۸) ۰/۸۷	
۳	غلطک ویبره سنگین	۳۰۰	۱۰۲	۳/۲۰	۲۳/۳۱	۱۲/۴۷	(۴) ۱/۱	
۴	غلطک ویبره سبک	۳۰۰	۱۰۲	۳/۴۵	۲۲/۰۸	۱۳/۴۴	(۴) ۱/۱	
۵	پیکور	۴۲۰	۱۰۲	۴/۱۱	۲۴/۹۱	۱۶/۰۲	(۸) ۰/۸۷	
۶	لودر	۴۲۰	۱۰۲	۱/۲	۱۴/۵	۴/۶۵	۰/۵۸	

جدول ۴: نتایج مربوط به ارتباط بین متغیرها (آزمون همبستگی Pearson)

متغیر	اختلالات اسکلتی- عضلانی	مواجهه با ارتعاش
مواجهه با ارتعاش (سطح معناداری)	۰/۰۰۰	-
سن افراد	۰/۰۰۸	-
سابقه کار افراد	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰
عمر ماشین	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

معناداری در سطح آلفای <۰/۰۵

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

جدول ۵: ضرایب تأثیر برای متغیر وابسته اختلالات اسکلتی- عضلانی و متغیرهای مستقل (آزمون رگرسیون چند متغیره)

متغیرهای مستقل	متغیرهای وابسته: اختلالات اسکلتی- عضلانی		
ضرایب	ضرایب استاندارد: ضریب رگرسیون	آماره آزمون	سطح معناداری
مواجهه با ارتعاش	۰/۷۱۰	۱/۵۶۰	۰/۰۰۴
سن افراد	-۰/۱۷۶	۰/۱۶۲	۰/۰۲۳
سابقه کار افراد	۰/۱۷۶	۰/۱۶۲	۰/۰۱۳
عمر ماشین	۰/۶۵۲	۱/۰۰۷	۰/۰۰۰

معناداری در سطح آلفای <۰/۰۵

با افزایش میزان مواجهه با ارتعاش، اختلالات اسکلتی- عضلانی نیز افزایش می‌یافت. ارتباط بین دو متغیر سن و سابقه کار افراد با اختلالات اسکلتی- عضلانی نیز مستقیم و معنادار بود؛ به‌طوری که با افزایش سن و سابقه کار، اختلالات اسکلتی- عضلانی نیز افزایش می‌یافت. بر مبنای نتایج، بین متغیر عمر ماشین‌های سنگین با مواجهه با ارتعاش و اختلالات اسکلتی- عضلانی، رابطه معنادار و مستقیمی وجود داشت؛ به‌طوری که با افزایش عمر ماشین‌ها، مواجهه با ارتعاش و به تبع آن اختلالات اسکلتی- عضلانی افزایش می‌یافت.

بحث

در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، مواجهه با ارتعاش تمام بدن و عوارض ناشی از آن از جمله اختلالات اسکلتی- عضلانی مورد مطالعه قرار گرفته است؛ اما در کشور ایران پژوهش در زمینه ارتعاش تمام بدن به‌ویژه در پروژه‌های صنعتی، بسیار محدود بوده و مطالعه حاضر از جمله معدود مطالعاتی می‌باشد که در مورد اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی انجام شده است.

براساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر و همچنین با توجه به مقادیر حدود مجاز ارائه‌شده توسط مرکز سلامت محیط و کار ایران و نیز استاندارد ISO 2631 در ارتباط با مواجهه با ارتعاش تمام بدن در ساعات کار روزانه و مقایسه مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در انواع ماشین‌های سنگین در مطالعه حاضر مشخص شد که برآیند شتاب در انواع ماشین‌ها بیشتر از حد مجاز می‌باشد.

یکی از عوارض بسیار مهم و شایع ناشی از ارتعاش در محیط‌های کاری صنعتی، اختلالات اسکلتی- عضلانی است. اختلالات اسکلتی- عضلانی از جمله کمردرد در بین اپراتورهایی که به مدت طولانی در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند، شیوع بیشتری دارد [۱۸،۱۹]. بر مبنای برخی از شواهد، ارتباطی قوی بین مواجهه با ارتعاش و ابتلا به درد در نواحی پشتی بدن وجود دارد [۲۰]. شواهدی که از مطالعات متعدد مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی در آمریکا به‌دست آمده است نیز تأییدکننده این ارتباط می‌باشد [۲۱]. در این راستا، نتایج مطالعه امیری و همکاران بیانگر آن بودند که در مواجهه‌های کوتاه‌مدت با ارتعاش تمام بدن، احتمال ابتلا به بیماری‌های اسکلتی- عضلانی کاهش می‌یابد. در واقع، ارتباط بین مواجهه با ارتعاش تمام بدن و بروز اختلالات اسکلتی- عضلانی در مواجهه‌های طولانی‌مدت مشاهده می‌شود [۳]. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همراستا می‌باشند؛ زیرا در این مطالعه اپراتورهای ماشین‌آلات عمرانی به مدت طولانی با ارتعاش مواجه بودند و مصرف مداوم انواع مسکن‌ها در اپراتورهایی که در چنین شرایطی قرار داشتند، تأیید گردید. همراستا با پژوهش حاضر، Mandal و همکاران در پژوهشی نشان دادند که میزان و محل تأثیر ارتعاش تمام بدن بر بدن انسان، ارتباط مستقیمی با منبع ارتعاش دارد. نتایج این مطالعه که در ارتباط با اپراتورهای ماشین‌آلات حمل و نقل در داخل معدن انجام شد، حاکی از آن بودند که ارتعاش واردشده به اپراتورهای ماشین‌آلات مورد استفاده در معادن و نیز سایر ماشین‌آلات صنعتی، تأثیر مخرب خود را بر قسمت تحتانی ستون مهره اعمال می‌کند [۲۰]. Hoy و همکاران نیز در پژوهشی به بررسی رانندگان و کارگران غیررانننده در محیط کار پرداختند و گزارش نمودند که شیوع اختلالات اسکلتی- عضلانی در رانندگان بیش از سایر کارگران بوده و این مسأله در اپراتورهایی که به اقتضای نوع ماشین ناچار بودند بیشتر خم شوند، مشهودتر می‌باشد [۲۲]. همراستا با نتایج مطالعه Mayton، یافته‌های پژوهش حاضر نشان دادند که نوع و عمر ماشین‌آلات می‌تواند به‌عنوان یک عامل مهم و مؤثر در مواجهه اپراتورها با ارتعاش تمام بدن مطرح باشد؛ به‌طوری که افزایش سن ماشین‌آلات عمرانی و عدم سرویس و نگهداری به‌موقع و دوره‌ای آن‌ها می‌تواند باعث افزایش سیگنال ارتعاشی گردد [۲۳]. از سوی دیگر، نتایج مطالعه Charles و همکاران حاکی از آن بودند که با افزایش سابقه کاری افراد، عوارض ناشی از مواجهه با ارتعاش افزایش می‌یابد [۲۴] که این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر همسو می‌باشند. در مطالعه Mbutshu و همکاران نیز بیان شد که افراد با سابقه کار بیشتر از پنج سال نسبت به افراد با سابقه کار کمتر از آن از اختلالات اسکلتی- عضلانی بیشتری رنج می‌برند. در این مطالعه مشابه با پژوهش حاضر، ارتباطی منفی بین سن افراد و اختلالات اسکلتی- عضلانی گزارش گردید [۲۵]. می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با افزایش سابقه کار افراد و به تبع آن افزایش مواجهه با ارتعاش تمام بدن، اختلالات اسکلتی- عضلانی ناشی از ارتعاش افزایش

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

می‌یابد؛ اما با افزایش سن افراد و ماندگاربودن در یک شغل ثابت، توجه افراد به این موضوع و عوارض روانی ناشی از ارتعاش کاهش یافته و متعاقباً عوارض فیزیولوژیک آن نیز کاهش پیدا می‌کند. از سوی دیگر می‌توان گفت که با افزایش سن افراد در شغلی که با ارتعاش تمام بدن مواجهه دارد، آگاهی افراد نسبت به عوارض ناشی از مواجهه با ارتعاش تمام بدن افزایش یافته و آن‌ها تلاش بیشتری در جهت کاهش عوارض ناشی از آن خواهند نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر بر لزوم اجرای دقیق ضوابط ایمنی در راستای استفاده از ماشین‌آلات عمرانی تحت هر شرایط و همچنین سیاست‌گذاری در زمینه نظارت دقیق، اصولی و منظم بر اپراتورها به‌منظور پیشگیری از بیماری‌های شغلی و افزایش بهره‌وری آن‌ها تأکید می‌کنند. علاوه‌براین، به‌منظور به‌حداقل‌رساندن عوارض ناشی از ارتعاش تمام بدن لازم است ترکیبی از اقدامات مهندسی و مدیریتی از جمله تشخیص زودرس علائم ناشی از مواجهه با ارتعاش، به‌کارگیری استراتژی‌های مقابله‌ای و دستگاه‌های کمکی در صورت لزوم، استفاده از عایق‌های مناسب ارتعاشی روی صندلی اپراتور، بهبود سیستم تعلیق صندلی، استفاده از زیرپایی‌های عایق ارتعاش، کفش ضد ارتعاش، بالشتک‌های هوایی برای نشیمنگاه صندلی، نصب پدهای ضد ارتعاش روی دسته صندلی به‌عنوان تکیه‌گاه دست‌ها، استفاده از پشتی‌های ضد ارتعاش و قابل تنظیم، اجرای برنامه PM (Preventive Maintanance) مدون جهت برنامه‌ریزی در زمینه بررسی، سرویس، تعمیر و نگهداری دوره‌ای و منظم ماشین‌آلات عمرانی، استفاده از تجهیزات و قطعات به‌روز و کارآمد برای جایگزینی قطعات قدیمی و ازکارافتاده و در صورت لزوم حذف عامل ایجاد ارتعاش صورت گیرد. یکی از راه‌کارهای مؤثر در کاهش اثرات ارتعاش بر افراد در محیط کار، برگزاری دوره‌های آموزشی جهت افزایش آگاهی کارکنان در مورد عوارض ناشی از ارتعاش بر بدن می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله حاضر از تمامی افرادی که در راستای انجام این مطالعه با پژوهشگران همکاری نمودند (از جمله اپراتورهای ماشین‌آلات، واحد مدیریت پروژه‌ها و مسئولان بهداشت حرفه‌ای و HSE)، صمیمانه تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌نمایند هیچ‌گونه تضاد منافعی در این تحقیق وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

آزمودنی‌ها با آگاهی کامل از اهداف مطالعه و با تکمیل فرم رضایت‌نامه در پژوهش شرکت نمودند. شرکت در این پژوهش کاملاً داوطلبانه بود، به شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که اندازه‌گیری‌ها به هیچ وجه با کار آن‌ها تداخل نخواهد داشت، اطلاعات به‌صورت محرمانه نزد پژوهشگران باقی خواهند ماند و شرکت در این مطالعه هیچ‌گونه آسیب و عوارضی را برای آزمودنی‌ها در پی نخواهد داشت.

سهم نویسندگان

در مطالعه حاضر احسان آسیوندزاده و زینب جمالی‌زاده در مرحله طراحی پژوهش، احسان آسیوندزاده، خدابخش زارع، محمد نظیفی‌پور و پیمان یاری در جمع‌آوری داده‌ها، احسان آسیوندزاده و زینب جمالی‌زاده در تجزیه و تحلیل داده‌ها و زینب جمالی‌زاده در نگارش و اصلاح مقاله مشارکت داشتند.

حمایت مالی

تمامی هزینه‌های مربوط به مطالعه به عهده نویسندگان بوده و هیچ‌گونه حمایت مالی دیگری وجود نداشت.

REFERENCES

1. British Standards Institution. Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock. London: British Standards Institution; 1999.
2. International Organization for Standardization. Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1997.
3. Amiri S, Naserkhaki S, Parnianpour M. Effect of whole-body vibration and sitting configurations on lumbar spinal loads of vehicle occupants. *Comput Biol Med*. 2019;**107**:292-301. PMID: 30901617 DOI: 10.1016/j.compbiomed.2019.02.019
4. Paddan GS, Griffin MJ. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *J Sound Vib*. 2002;**253**(1):195-213. DOI: 10.1006/jsvi.2001.4256
5. Kim JH, Marin LS, Dennerlein JT. Evaluation of commercially available seat suspensions to reduce whole body vibration exposures in mining heavy equipment vehicle operators. *Appl Ergon*. 2018;**71**:78-86. PMID: 29764617 DOI: 10.1016/j.apergo.2018.04.003
6. Zhou Y, Chen S. Vehicle ride comfort analysis with whole-body vibration on long-span bridges subjected to crosswind. *J Wind Eng Ind Aerodynamics*. 2016;**155**:126-40. DOI: 10.1016/j.jweia.2016.05.001
7. Duarte ML, de Araújo PA, Horta FC, Del Vecchio S, de Carvalho LA. Correlation between weighted acceleration, vibration dose value and exposure time on whole body vibration comfort levels evaluation. *Saf Sci*. 2018;**103**:218-24. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.11.008
8. Zheng G, Qiu Y, Griffin MJ. Fore-and-aft and dual-axis vibration of the seated human body: Nonlinearity, cross-axis coupling, and associations between resonances in the transmissibility and apparent mass. *Int J Ind Ergon*. 2019;**69**:58-65. DOI: 10.1016/j.ergon.2018.08.007
9. Roseiro LM, Neto MA, Amaro AM, Alcobia CJ, Paulino MF. Hand-arm and whole-body vibrations induced in cross motorcycle and bicycle drivers. *Int J Ind Ergon*. 2016;**56**:150-60. DOI: 10.1016/j.ergon.2016.10.008
10. Hagberg M, Burström L, Ekman A, Vilhelmsson R. The

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]

association between whole body vibration exposure and musculoskeletal disorders in the Swedish work force is confounded by lifting and posture. *J Sound Vib*. 2006;**298**(3):492-8. DOI: 10.1016/j.jsv.2006.06.024
11. Asivandzadeh E, Azami K, Jamalizadeh Z. Work-related musculoskeletal disorders, occupational stress, and their associations with general health in working populations in various industries. *J Hum Environ Health Prom*. 2018; **4**(4):169-74. DOI: 10.29252/jhehp.4.4.5
12. Asivandzadeh E, Ghahremani F, Alizadeh E, Abdolalipour A. The role of safety climate on work related musculoskeletal discomfort and productivity. *Arch Occup Health*. 2019;**3**(2):325-31. DOI: 10.18502/aoh.v3i2.670
13. Citra K, Tan M, Novrikasari R. Relationship analysis of whole body vibration (Wbv) with musculoskeletal disorder (Msds) complaints on heavy equipment operators at the trans su-matra toll road construction project at Pt. Adhi Karya Tbk. *Biovalentia Biol Res J*. 2019;**5**(1):134. DOI: 10.24233/BIOV.5.1.2019.134
14. Khanin A, Mirzaei R, Beheshti MH, Safari Z, Azrah K. Evaluation of health risk caused by hole body vibation exposure, using ISO 2631-1 and BS 6844 Standards. *J Health Saf Work*. 2014;**4**(3):23-36. [Persian]
15. Magnusson ML, Pope MH, Hulshof CT, Bovenzi M. Development of a protocol for epidemiologal studies of whole-body vibration and musculoskeletal disorders of the lower back. *J Sound Vib*. 1998;**215**(4):643-51. DOI: 10.1006/jsvi.1998.1697
16. International Organization for Standardization. ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-part 1: general requirements. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1997.
17. European Committee for Standardization. Mechanical vibration- European Directive 2002/44/EC of the European parliament. Guide to good practice on Whole Body Vibration. London: European Committee for Standardization; 2002.
18. Blood RP, Yost MG, Camp JE, Ching RP. Whole-body vibration exposure intervention among professional bus and truck drivers: a laboratory evaluation of seat-suspension designs. *J Occup Environ Hyg*. 2015;**12**(6):351-62. DOI: 10.1080/15459624.2014.989357
19. Sekkay F, Imbeau D, Chinniah Y, Dubé PA, de Marcellis-Warin N, Beauregard N, et al. Risk factors associated with self-reported musculoskeletal pain among short and long distance industrial gas delivery truck drivers. *Appl Ergon*. 2018;**72**:69-87. PMID: 29885729 DOI: 10.1016/j.apergo.2018.05.005
20. Mandal BB, Srivastava AK. Musculoskeletal disorders in dumper operators exposed to whole body vibration at Indian mines. *Int J Min Reclamat Environ*. 2010;**24**(3):233-43. DOI: 10.1080/17480930903526227
21. Bernard BP, Putz-Anderson V. Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. Washington, D.C: U.S. Department of Health and Human Services; 1997.
22. Hoy J, Mubarak N, Nelson S, De Landas MS, Magnusson M, Okunribido O, et al .Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers. *J Sound Vib*. 2005;**284**(3-5):933-46. DOI: 10.1016/j.jsv.2004.07.020
23. Mayton AG, Jobes CC, Miller RE. Comparison of whole-body vibration exposures on older and newer haulage trucks at an aggregate stone quarry operation. ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers, New York; 2008.
24. Charles LE, Ma CC, Burchfiel CM, Dong RG. Vibration and ergonomic exposures associated with musculoskeletal disorders of the shoulder and neck. *Saf Health Work*. 2018;**9**(2):125-32. PMID: 29928524 DOI: 10.1016/j.shaw.2017.10.003
25. Mbutshu LH, Malonga KF, Ngatu NR, Kanbara S, Longo-Mbenza B, Suganuma N. Incidence and predictors of hand–arm musculoskeletal complaints among vibration-exposed African cassava and corn millers. *Saf Health Work*. 2014;**5**(3):131-5. PMID: 25379326 DOI: 10.1016/j.shaw.2014.04.003

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-11]

[DOI: 10.52547/johe.6.4.41]