

Predicting health risks of exposure to whole body vibration in the urban taxi drivers

Keykaous Azrah¹, Mohsen Poursadeghiyan², Mohammad Javad Fani¹, Mohammad Rezazade³, Ardalan Solaimanian^{4}*

¹ Lecturer, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

² Assistant Professor, Department of Ergonomics, School of Rehabilitation, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran

³ B.Sc of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

⁴ Lecturer, Department of Occupational Health Engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Limited studies have been done to evaluate the whole-body vibration (WBV) exposure experienced by Taxi drivers. Therefore, the aim of this study was to evaluate the exposure to whole body vibration and repeated shocks in urban taxi drivers and also to compare different methods of evaluation in this job environment.

Material and Method: Measurement and evaluation process were conducted in accordance with procedure of the ISO 2631-1 and ISO 2631-5 standards. The measurements were done by SVAN 958 Sound and Vibration Analyzer and using tri-axial accelerometer centered on the contact surface between the seat and the driver in 9 taxis.

Result: The measurements done according to ISO 2631-1 method showed greater risk compared to Daily Equivalent Static Compression Dose, Sed, presented in ISO 2631-5. Calculated daily exposure durations for exposure action level in root-mean square, vibration dose value, and daily equivalent static compressive stress methods were 4.55, 3.54 and 31.70 hours, respectively.

Conclusion: The large differences in estimated exposure durations of action limits and permissible limits resulted by different methods reflect the inconsistency of the selected evaluation methods. Therefore, future research is necessary to amend the limits presented in the standard.

Key words: *Health Risk, Occupational Exposure, Taxi Drivers, Vibration, Whole Body*

* Corresponding Author Email: solimana@modares.ac.ir

پیش بینی ریسک بهداشتی مواجهه با ارتعاش تمام بدن در رانندگان تاکسی‌های درون شهری

کیکاوس ازره^۱ - محسن پورصادقیان^۲ - محمد جواد فانی^۱ - محمد رضازاده^۳ - اردلان سلیمانیان^{۴*}

solimana@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۳۱

مکیده

مقدمه: مطالعات محدودی بر روی ارزیابی مواجهه رانندگان تاکسی‌ها با ارتعاش تمام بدن انجام شده است بنابراین این مطالعه با هدف ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن و شوک‌های مکرر در رانندگان تاکسی‌های درون شهری و مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی در این محیط شغلی انجام شد.

روش کار: فرایند اندازه‌گیری و ارزیابی مطابق با روش کار ارائه شده در استانداردهای ISO 2631-1,5 و با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج و آنالیزور SVAN 958 انجام گردید. اندازه‌گیری به کمک شتاب سنج سه محوره در شرایط معمول کاری روزانه در سطح نشیمن‌گاه صندلی در ۹ تاکسی انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج اندازه‌گیری در روش‌های ISO 2631-1 به‌طور کلی ریسک بزرگ‌تری را در مقایسه با روش فشار تراکمی استاتیک معادل روزانه، S_{ed} ، ارائه شده در ISO 2631-5 نشان داد. مدت زمان محاسبه شده برای سطح عمل مواجهه در روش ریشه میانگین مربعات شتاب، مقدار ارتعاش و فشار تراکمی استاتیک معادل روزانه به ترتیب ۴/۵۵، ۳/۵۴ و ۳۱/۷۰ ساعت برآورد شد.

نتیجه‌گیری: تفاوت زیاد در زمان‌های حدود عمل و مجاز برآورد شده مواجهه در روش‌های مختلف بیانگر عدم هم‌خوانی روش‌های ارزیابی مذکور بود. بنابراین انجام پژوهش‌های آتی جهت اصلاح حدود ارائه شده در استاندارد ضروری است.

کلمات کلیدی: ارتعاش، تمام بدن، رانندگان تاکسی، ریسک بهداشتی، مواجهه شغلی

۱- مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

۲- استادیار، گروه ارگونومی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران

۳- کارشناس، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

۴- مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

مقدمه

ارتعاش یک عامل آزار دهنده در بسیاری از محیط‌های شغلی و غیر شغلی، به عنوان یک مشکل بهداشتی مطرح است. ارتعاش منتقله از سطح جاده به رانندگان یا مسافرین وسایل نقلیه از طریق پاها، سطح نشیمن‌گاه و پشتی صندلی ممکن است منجر به تداخل در انجام فعالیت‌ها، تاثیر بر آسایش سوارش و گاهی اثرات بهداشتی مشخص گردد. (۱-۴)

در برخی از مطالعاتی که قبلاً در آزمایش‌گاه و یا در محیط‌های شغلی انجام شده، پاسخ‌های ذهنی و عینی انسان به ارتعاش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعات از شناسایی عوامل موثر بر پاسخ‌های بیومکانیکی تا شناسایی عوامل موثر بر ناراحتی مرتبط با ارتعاش و وضعیت بهداشتی متغیر بوده‌اند. (۳، ۵)

عوامل متعددی در انتقال ارتعاش و ورود آن به بدن موثر هستند. در برخی مطالعات، عوامل مطالعه شده مربوط به مشخصات خود ارتعاش (مثلاً جهت، فرکانس، بزرگی، شکل موج و مدت زمان) و در برخی دیگر پوسچر فرد، یا وضعیت نشستن (یعنی با یا بدون پشتی، زاویه سطح نشیمن‌گاه و زاویه پشتی) متغیرهای مورد مطالعه بوده‌اند. (۳، ۶)

انتقال ارتعاش مرتبط با دینامیک سازه به فرکانس و جهت حرکت ورودی و مشخصات صندلی در محل تماس بستگی دارد. ارتعاشات تا فرکانس ۱۲ هرتز بر همه اندام‌های بدن اثر می‌گذارد اما ارتعاشات با فرکانس بالاتر از این حد عموماً اثرات موضعی دارند. در مواجهه کوتاه مدت با ارتعاشاتی در محدوده ۲ تا ۲۰ هرتز با شتاب ۱ متر بر مجذور ثانیه، عوارض متفاوتی هم چون درد شکمی، احساس عمومی عدم آسایش، شامل سرگیجه، درد قفسه سینه، کاهش تعادل و انقباضات

ماه‌یچه‌ای همراه با کاهش راندمان صحت انجام وظایف دستی و مهارتی، کوتاهی تنفس و تاثیر بر مکالمه به وجود خواهد آمد. مواجهه طولانی مدت با ارتعاش تمام بدن (WBV) می‌تواند سبب مشکلات بهداشتی جدی خصوصاً در ستون فقرات پشتی، مانند جابجایی دیسک، تغییرات فرساینده ستون فقرات، کج شدن ستون مهره‌ها، بیماری دیسک‌های بین مهره‌ای، اختلالات تخریبی مهره‌ها، فتق دیسک مهره‌ای اختلالات سیستم معده‌ای روده‌ای و ادراری تناسلی شوند. (۷-۱۰) میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن رانندگان وسایل نقلیه مختلف از جمله اتوبوس‌ها (۱۱)، موتورسیکلت‌ها (۱۲)، راهبران قطارهای شهری (۱۹ و ۹)، رانندگان خودروها (۱ و ۹)، تاکسی‌ها (۱۴ و ۱۶) و همچنین انواعی از هواپیماهای مسافربری (۱۰ و ۱۷) مورد ارزیابی قرار گرفته است. به هر حال همان‌طور که از مطالعات مذکور می‌توان مشاهده نمود تلاش‌های بسیار محدودی در زمینه ارزیابی مواجهه مشاغل با ارتعاشات تمام بدن متوسط و پایین مانند رانندگان تاکسی‌ها صورت گرفته است. در مطالعات ذکر شده در رانندگان تاکسی‌ها نیز ارزیابی فقط بر اساس روش ISO 2631-1 و خصوصاً بر اساس روش پایه ارزیابی ارتعاش صورت گرفته است. (۹-۱۷)

پاسخ انسان به ارتعاش تمام بدن را می‌توان توسط یکی از دو استاندارد اصلی ISO 2631 و BS6841 که بیش‌ترین کاربرد را در متون علمی داشته‌اند و در اکثر بخش‌ها مشابه به هم هستند بررسی نمود. (۳، ۱۸، ۱۹) در این مطالعه ارزیابی مواجهات بر اساس روش‌های توصیه شده ISO 2631-1,5 انجام گرفته است. در این استانداردها روش ریشه میانگین مربعات (RMS)، مقدار ارتعاش (VDV) و فشار تراکمی استاتیک معادل (S_e) جهت

گیری ساده و مشورت با مدیریت تاکسیرانی و با توجه به در دسترس بودن تاکسی‌ها، انجام شد. در این مطالعه ۴ خودرو پراید با حجم موتور 1325 CC و ۵ خودرو پژو با حجم موتور 1761 CC مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه خودروهای مذکور به همین ترتیب با کدهای S1325 و PAIK1761 بر گرفته از نام سازنده و حجم موتور ارایه می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها مطابق با توصیه‌های ISO2631-1,5 بر روی نشیمن‌گاه صندلی هنگامی که کمر بند ایمنی راننده بسته و از هیچ کوسن اضافی استفاده نمی‌شد انجام گردید. در بیش‌تر زمان اندازه‌گیری سرعت خودرو بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت (سرعت معمول مسافرت‌های درون شهری) و زاویه پشتی صندلی با سطح نشیمن‌گاه ۱۰۰ درجه بود. نوع و میزان کارکرد خودروها بر اساس مقدار ثبت شده توسط کیلومتر شمار خودرو، مقادیر میانگین وزن، قد، سابقه رانندگی و مدت زمان اندازه‌گیری برای هر دو دسته رانندگان و خودروها در جدول ۱ ارایه شده است. رانندگانی که در این مطالعه شرکت داشتند دارای میانگین وزن ۷۵/۴۴ (۹۵-۵۰) کیلوگرم، میانگین قد ۱۷۶ (۱۸۲-۱۷۰) و BMI برابر با ۲۴/۴ (۳۱-۱۶/۳) بودند. زمان کار رانندگان تاکسی‌ها در شهرهای مختلف در سطح دنیا متفاوت بوده و مدت زمان‌های روزانه حتی تا ۱۸ ساعت هم در متون مربوطه گزارش شده است. (۱۵) در این مطالعه میزان مواجهه رانندگان پس از میانگین‌گیری از زمان‌های متوسط بیان شده توسط خود رانندگان برابر با ۴۸۷ دقیقه (۴۲۰ تا ۵۴۰) به دست آمد که با کمی اغماض زمان مواجهه ۸ ساعته جهت انجام محاسبات روزانه به کار برده شد.

ارزیابی شدت مواجهه ارایه شده است. استفاده از روش VDV که بر اساس ریشه چهارم توان‌های چهارم شتاب می‌باشد در ارزیابی سیگنال‌هایی با شوک‌های مکرر با دامنه بالا حساسیت بیش‌تری داشته و بنابراین ترجیح داده می‌شود. در بخش ۵ استاندارد مذکور طبق داده‌های تجربی با استفاده از مدل بیو مکانیکی، مشخص شده است که یک رابطه خطی بین بخش فشار تراکمی که به سبب شوک‌های ورودی است و پاسخ پیک شتاب در ستون فقرات وجود دارد. فشار تراکمی استاتیک معادل روزانه، S_{ed} ، بر حسب مگاپاسکال محاسبه و ارزیابی می‌گردد. (۴، ۲۰، ۲۱)

اهداف این مطالعه با توجه به وجود مطالعات محدود مطابق با ISO 2631-1 و عدم وجود مطالعه‌ای مطابق با ISO 2631-5، بررسی مواجهه رانندگان تاکسی با ارتعاش تمام بدن در شرایط کاری معمول به منظور ارزیابی پتانسیل ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه و مقایسه نتایج روش‌های ارزیابی مذکور می‌باشد. این مقاله بخشی از مطالعه ایست که جهت ارزیابی مواجهه رانندگان تاکسی‌ها در شهر گناباد در زمستان ۱۳۹۳ انجام شده است.

روش کار

ویژگی‌های محیط مطالعه و رانندگان

در این مطالعه نتایج به دست آمده از ۹ خودرو که در یک مسیر معین و یکسان توسط ۹ راننده مختلف هدایت می‌شدند ارایه شده است. نمونه‌ها از ناوگان معروف به ۱۳۳ شهرداری پس از بررسی و حذف خودروهایی که سیستم تعلیق صندلی آنها به هر دلیلی دچار تغییر شده بود، انتخاب شدند. اندازه‌گیری‌ها بدون داشتن اولویت طی ساعات معمول روزهای کاری (غیر بارانی) بر اساس نمونه

جدول ۱. مشخصات رانندگان و خودروهای مطالعه شده

رانندگان با خودرو	پهنای لاستیک mm(N)	کارکرد (km)*1000	وزن (kg)	قد (cm)	سابقه رانندگی (سال)	زمان اندازه گیری (ثانیه)
S1325	۱۶۵(۴)	۳۶۳/۷۵	۸۱/۲۵	۱۷۶/۲۵	۱۴	۹۲۵ (۷۶-۱۰۷۹)
PAIK1761	۱۸۵(۵)	۲۵۹/۲۰	۷۰/۸۰	۱۷۵/۸۰	۹/۸	۹۹۰ (۸۴۱-۱۱۵۸)
Total Sample	۱۶۵(۴) ۱۸۵(۵)	۳۰۵/۶۷	۷۵/۴۴	۱۷۶	۱۱/۶۷	۹۶۱ (۷۶-۱۱۵۸)

$$VDV = \left[\int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{1/4} \quad (2)$$

$$a_w(t_0) = \left[\frac{1}{T} \int_{-6}^0 a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (3)$$

که $a_w(t)$ شتاب وزن یافته فرکانسی از زمان شروع برحسب m/s^2 مقدار $a_w(t_0)$ rms جاری شتاب وزنی فرکانسی در تابع زمانی و t_0 زمان مشاهده که در این مطالعه برابر با ۱۰۰ میلی ثانیه در حین اندازه گیری تنظیم شد. ثانیاً مقادیر CF و $\frac{VDV}{a_w T^{1/4}}$ نیز برای تعیین روش ارزیابی مناسب محاسبه شدند. مطابق با نظر ISO 2631-1 اگر عامل قله از مقدار ۹ بیش تر نشود، روش rms برای ارزیابی اثرات WBV کافی است. همچنین هنگامی که مقدار $\frac{MTVV}{a_w}$ از ۱/۵ یا مقدار $\frac{VDV}{a_w T^{1/4}}$ از ۱/۷۵ تجاوز نماید روش RMS ممکن است اثرات ارتعاشی را کم تر برآورد نماید.

در این شرایط، روش MTVV یا روش VDV باید برای تعیین کمی WBV استفاده شوند. مرز عددی HGCZ توصیه شده‌ای نه در ISO 2631-1 و نه در استاندارد دیگری برای روش MTVV وجود ندارد. بنابراین به همین دلیل و نیز به سبب اهمیت پایین مقدار شتاب کوتاه مدت یک ثانیه‌ای که در روش MTVV رایج می‌شود، در این مطالعه برای ارزیابی به کار نرفته است.

انجام محاسبات، بررسی و تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم افزارهای EXCLE و SPSS انجام شد. جزئیات روابط مربوطه در مستندات ISO 2631 ارائه شده است. در تمامی نمونه‌ها حین اندازه گیری، راننده و یک نفر در صندلی جلو (با وزن ۷۸ کیلوگرم و قد ۱۷۶ سانتی متر) که تنظیمات مربوط به دستگاه اندازه گیری را انجام می‌داد حضور داشتند.

روش ارزیابی اثرات بهداشتی ارتعاش تمام بدن بعد از اندازه گیری، اثرات ارتعاشی تمام بدن بر روی سلامت انسان مطابق با روش ارائه شده در ISO 2631-5, ISO 2631-1 انجام گردید.

ارزیابی مطابق ISO 2631-1

ابتدا مقدار a_w RMS و VDV شتاب‌های وزن یافته فرکانسی مطابق با معادلات ۱ تا ۳ محاسبه شد. اندازه گیری شتاب در سه محور مختصاتی اصلی x, y, z به ترتیب با استفاده از فیلترهای توزین w_k و w_d , w_d به صورت هم‌زمان توسط دستگاه ارتعاش سنج و آنالیزور SVAN958 انجام گردید.

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$D = [\sum A_i^6]^{\frac{1}{6}} \quad (7)$$

که در این جا A_i پیک i ام شتاب ستون مهره‌ای است.

$$Se = [(0.015D_x)^6 + (0.035D_y)^6 + (0.032D_z)^6]^{\frac{1}{6}} \quad (8)$$

در مرحله بعد مواجهه روزانه با ارتعاش تمام بدن برآورد و با HGCZ مقایسه شد. در ISO 2631-5، مقدار تراکمی ثابت معادل روزانه (S_{ed}) بیان‌گر مواجهه روزانه با ارتعاش تمام بدن است. S_{ed} بر اساس رابطه ۹ محاسبه شد.

$$S_{ed} = S_e \left(\frac{T_8}{T}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (9)$$

حدود آستانه مواجهه

در استاندارد ISO 2631-1:1997 یک "ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی"، HGCZ، به منظور ارزیابی نتایج مربوط به محوری که مقدار شتاب وزن یافته فرکانسی غالبی دارد، ارایه شده است. این نمودار راهنمایی به شکل یک ناحیه احتیاطی ارایه می‌دهد که بالاتر از آن "ناحیه ریسک و اثرات بهداشتی محتمل" و در قسمت پایین آن ناحیه اثرات بهداشتی به وضوح به ثبت نرسیده و به طور مشخص مشاهده نشده اند. در ناحیه هشدار، ریسک بهداشتی بالقوه وجود خواهد داشت.

استاندارد ISO 2631-5 نیز در سال ۲۰۰۴ معیاری را برای ارزیابی اثرات بهداشتی ستون مهره‌های کمری مربوط به مواجهه با ارتعاش حاوی شوک‌های تکراری ارایه داد. این معیار تحت عنوان مقدار فشار استاتیک معادل روزانه (S_{ed}) ارایه شده است. جزییات محاسبات مورد استفاده در این مطالعه را می‌توان در مستندات استانداردهای ISO 2631-1,5 مشاهده نمود. در این مطالعه ابتدا ریسک بهداشتی پیش بینی شده

در این مطالعه همچنین مقادیر VDV و RMS در هر سه محور با هم مقایسه شدند. هدف مقایسه برای تعیین این بود که آیا مقادیر در محور غالب برای ارزیابی مورد استفاده قرار گیرند یا مقدار مجموع محورهای (VSV) سه محور باید به کار گرفته شود. مقادیر مجموع محورها بر طبق معادله ۴ و ۵ به ترتیب در روش RMS و VDV محاسبه شد. ISO 2631-1 توصیه می‌کند که از ارتعاش تمام بدن در محور غالب برای ارزیابی اثرات بهداشتی WBV بر روی انسان استفاده شود. همچنین در این استاندارد توصیه شده است که زمانی که ارتعاش در دو یا سه محور مشابه و قابل مقایسه با هم هستند از روش مجموع برای ارزیابی استفاده شود.

$$RMS_{VSV} = (1.4^2 a_{wx}^2 + 1.42 a_{wy}^2 + a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$VDV_{VSV} = (1.4^4 VDV_x^4 + 1.4^4 VDV_y^4 + VDV_z^4)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

سرانجام مواجهه روزانه با ارتعاش تمام بدن برآورد با حدود HGCZ مقایسه شد. در ISO 2631-1، VD، V_{8h} ، مواجهه روزانه WBV را بیان می‌کند. V_{8h} بر اساس معادله ۶ محاسبه گردید.

$$VDV_{8h} = VDV \left(\frac{T_8}{T}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (6)$$

که T_8 بیان کننده یک دوره مرجع ۸ ساعته است. مقدار a_{8h} نیز به صورت مشابه و با توان ۰/۵ محاسبه می‌شود.

ارزیابی مطابق با ISO 2631-5: 2004

شتاب ستون مهره‌ها در سه محور با استفاده از مدل ستون فقراتی محاسبه شد. مقادیر پیک شتاب ستون مهره‌ای شناسایی و مقدار شتاب، D و S_e مطابق معادلات ۷ و ۸ محاسبه گردید.

جدول ۲. خلاصه حدود ارایه شده مربوط به ترازهای متفاوت خطرات بهداشتی طبق مقادیر HGCZ در استاندارد ISO 2631-1,5

ارزیابی اثرات نامطلوب بهداشتی ISO 2631-1	واژه مورد استفاده در این مقاله جهت توصیف ریسک بهداشتی	ISO 2631-1	
		A (8 h) (m/s^2_{rms})	$V_{t,1.7}$ ($m/s^{1.7}$)
کم‌تر از مرز پایین HGCZ (اثرات بهداشتی کاملاً مستند نبوده و عیناً مشاهده نشده اند) در ناحیه HGCZ، (احتیاط با توجه به خطرات بهداشتی بالقوه) بالاتر از ناحیه HGCZ، (خطرات بهداشتی محتمل)	L = پایین	0/45 >	8/5 >
	M = متوسط	0/45 - 0/9	8/5 - 17
	H = بالا	0/9 <	17 <
ارزیابی اثرات نامطلوب بهداشتی ISO 2631-5	واژه مورد استفاده در این مقاله جهت توصیف ریسک بهداشتی	ISO 2631-5 S_e (Mpa)	
احتمال کم اثرات بهداشتی	L = پایین	0/5 >	
احتیاط با توجه به خطرات بهداشتی بالقوه	M = متوسط	0/5 - 0/8	
احتمال زیاد اثرات نامطلوب	H = بالا	0/8 <	

جدول ۳. میانگین مقادیر اندازه گیری شده در خودروهای مختلف

Q		CF			Peak			VDV Measu			WRMS			نوع خودرو			
Z	Y	Z	Y	X	Z	Y	X	VSV	Z	Y	X	VSV	Z		Y	X	
1/28	1/47	1/67	8/84	9/05	7/96	6/00	3/48	5/62	4/16	3/15	2/04	3/54	0/60	0/45	0/25	0/39	S1325 (n=4)
1/31	1/74	2/90	7/88	10/79	13/59	6/24	6/48	5/86	5/26	3/78	3/59	2/90	0/61	0/52	0/36	0/21	PAIK (n=5)
1/29	1/62	2/35	8/31	10/02	11/08	6/13	5/15	5/76	4/77	3/50	2/90	3/18	0/60	0/49	0/31	0/29	TOTAL Sample

CF و $Q = \frac{VDV}{a_w T^{1/4}}$ محاسبه و با مقادیر بحرانی متناظر در استاندارد مقایسه گردید.

هنگامی که مقادیر حداکثر عامل قله سه محور بررسی شد، ۷ مورد از ۹ نمونه عامل قله‌ای بالاتر از ۹ داشتند. همچنین در بررسی نتایج $\frac{VDV}{a_w T^{1/4}}$ نیز مشخص شد که در ۷ مورد از ۹ نمونه مقدار محاسبه شده از مقدار بحرانی ۱/۷۵ تعیین شده توسط ISO تجاوز نموده است. که از این تعداد ۲ نمونه مربوط به S1325 و هر ۵ نمونه مربوط به خودروهای نوع PAIK بود.

مقادیر هر سه محور X، Y و Z و مجموع محورهای شتاب وزن یافته RMS و VDV در دو دسته خودرو در جدول ۳ ارایه شده است. محور غالب در جدول مذکور به صورت برجسته مشخص شده است. بطور کلی هم در نتایج a_w و هم در نتایج VDV در ۸ نمونه مقادیر محور بزرگ‌تر با حداقل یک محور دیگر قابل مقایسه است. بنابراین

در هر دو روش ISO 2631-1 با ریسک پیش بینی شده ISO 2631-5 مقایسه شد. سه سطح ریسک بهداشتی از مطالعات Aye (۲۰۰۹) و Eger et al (۲۰۰۸) اقتباس شد: ریسک‌های بالا، متوسط و پایین. ثانیاً مدت زمان مواجهه روزانه مجاز محاسبه و جهت بررسی تفاوت‌های بین بخش‌های مختلف استاندارد و روش‌های ارزیابی مختلف به کار رفت. (۲۰-۲۴) خلاصه حدود مجاز ارایه شده مربوط به ریسک‌های بهداشتی طبق مقادیر HGCZ مورد بحث در استانداردهای ISO 2631-1,5 و عبارات مورد استفاده در این مقاله به منظور تفسیر سطوح ریسک مربوطه در جدول ۲ ارایه شده است.

یافته ها

ارزیابی نتایج مطابق با ISO 2631-1 در این مطالعه به منظور این که روش مناسبی جهت ارزیابی اثرات بهداشتی ارتعاش تمام بدن در رانندگان تعیین شود، طبق توصیه ISO 2631-1 مقادیر

تا 0.70 m/s^2 بودند. بیشترین شتاب در محور Z که دارای ۷ محور غالب از ۹ نمونه بود برابر با 0.62 m/s^2 و کمترین شتاب محور بزرگتر نیز مربوط به همین محور و برابر با 0.43 m/s^2 بود. در این روش ریسک بهداشتی برآورد شده در تمامی نمونه‌ها در محدوده HGCZ قرار داشت. اما از حد مجاز مواجهه نتایج تجاوز نکرد. در این محدوده بروز ریسک‌های بهداشتی محتمل گزارش شده است. میانگین مقادیر هر دو دسته خودرو و کل خودروها نیز در ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی قرار داشتند (شکل ۱). نتایج نهایی ارزیابی مواجهه بر اساس روش پایه در جدول ۴ ارائه شده است.

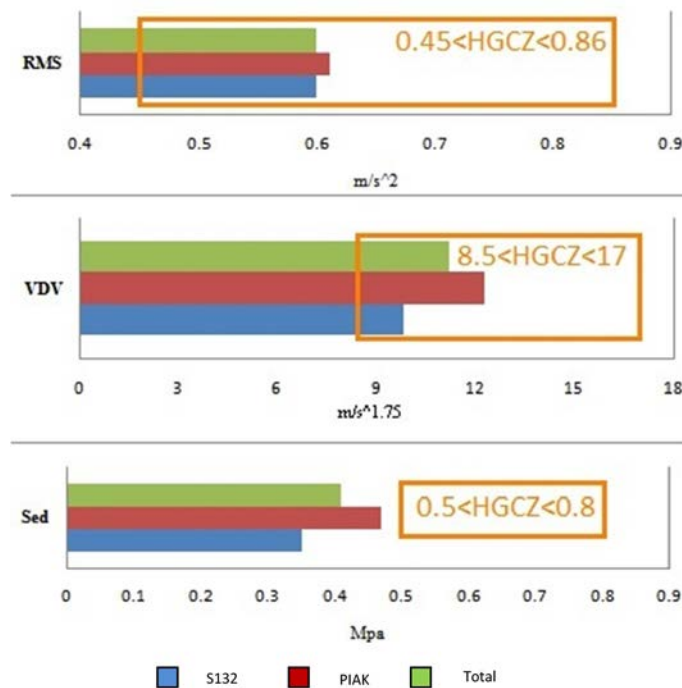
روش مقدار ارتعاش (VDV)

میانگین نتایج اندازه گیری شده VDV در سه محور اصلی مختصاتی همراه با مقادیر مجموع محورهای VDV در مدت زمان اندازه گیری شده

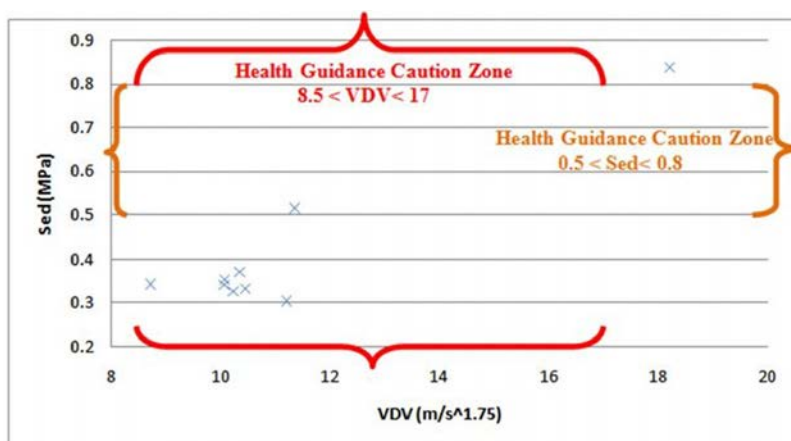
نمی‌توان گفت که محور غالبی وجود دارد و به عبارت دیگر اختلاف بین محورها به اندازه‌ای نیست که محور بزرگتر را بتوان غالب نامید. در استاندارد ISO 2631 مرز بحرانی برای تعیین محور غالب ارائه نشده است اما استاندارد ISO 10326 که همخوانی زیادی با استاندارد مذکور دارد مقدار کمتر از 0.66 محور بزرگتر در یکی از دو محور دیگر بدین منظور تعریف شده است. بنابراین در محیط مطالعه حاضر استفاده از روش مجموع محورها ارجحیت دارد. روش مجموع محورها در هر صورت ریسک بزرگتری را نشان می‌دهد و هیچ‌گاه ریسک برآورد شده کمتر از روش استفاده از محور غالب نخواهد بود. (۲۰، ۲۵)

روش ارزیابی پایه

مقادیر میانگین شتاب RMS معادل ۸ ساعته دارای محدوده‌ی مجموع محورهایی از 0.54 m/s^2



شکل ۱: میانگین مقادیر در دو نوع خودرو و کل خودروها در مقایسه با ناحیه راهنمای احتیاط بهداشتی تعریف شده در ISO 2631-1,5



شکل ۲. ارتباط مقادیر VDV و Sed و محل قرار گیری آنها در محدوده HGCZ مربوطه

مقدار $\frac{VDV}{a_w T^{1/4}}$ برابر با ۲/۳۹ بود، در محدوده بالاتر از حد مجاز ارایه شده قرار داشت. میانگین مقادیر دو دسته خودرو S1325 و PAIK به ترتیب برابر با ۹/۸۴ و ۱۲/۲۶ $m/s^{1.75}$ و در محدوده HGCZ تعریف شده VDV مطابق با ISO قرار داشت.

روش ارزیابی ISO 2631-5

میانگین مقادیر پیک در هر محور مطابق با توصیه‌های ISO 2631-1,5 در سطح صندلی اندازه

جدول ۴. سطوح ریسک بهداشتی برآورد شده در روش‌های ارزیابی مختلف

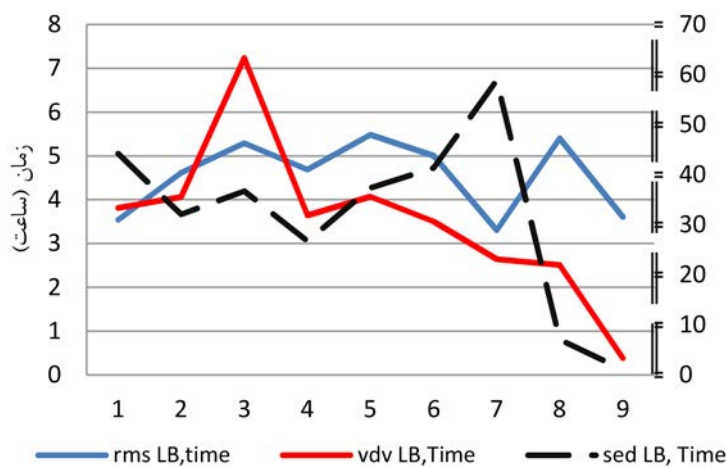
کد	RMS _{vsv}	VDV _{vsv}	Sed
۱	۰/۶۸	M ۱۰/۲۳	L ۰/۳۳
۲	۰/۵۹	M ۱۰/۰۷	L ۰/۳۵
۳	۰/۵۵	M ۸/۷۲	L ۰/۳۴
۴	۰/۵۹	M ۱۰/۳۵	L ۰/۳۷
۵	۰/۵۴	M ۱۰/۰۶	L ۰/۳۴
۶	۰/۵۷	M ۱۰/۴۵	L ۰/۳۳
۷	۰/۷۰	M ۱۱/۲۱	L ۰/۳۰
۸	۰/۵۵	M ۱۱/۳۶	M ۰/۵۱
۹	۰/۶۷	M ۱۸/۲۲	H ۰/۸۴
میانگین	۰/۶۰	M ۱۱/۱۸	L ۰/۴۱
انحراف معیار	۰/۰۶	۲/۷۴	۰/۱۷
		L: Low	M: Medium
			H: High

در جدول ۳ ارایه شده است. محاسبه نتایج اخیر نیز مطابق با روش VSV صورت گرفته است. مقادیر VDV_{8h} نهایی دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار به ترتیب برابر با ۸/۷۲ و ۱۸/۲۲ $m/s^{1.75}$ می‌باشد. در روش VDV در یک نمونه PAIK محور Y، در ۲ نمونه PAIK و یک نمونه S1325 محور Z و در ۵ مورد دیگر محور X محور بزرگ‌تر بود. بالاترین مقدار VDV اندازه‌گیری شده مربوط به یکی از خودروهای PAIK در محور Y بود. دامنه مقادیر VDV_{8h} در خودروهای S1۳۲۵ از ۸/۷۲ تا ۱۰/۳۵ $m/s^{1.75}$ و در خودروهای PAIK از ۱۰/۰۶ تا ۱۸/۲۲ $m/s^{1.75}$ برآورد گردید. پراکندگی مقادیر VDV_{8h} همراه با ارتباط آن با مقادیر متناظر در روش ISO 2631-5 در شکل ۲ ارایه شده است.

برآورد ریسک بهداشتی کلی در این روش نیز مشابه با روش RMS می‌باشد، به گونه‌ای که در ۸ مورد مقدار مواجهه ۸ ساعته محاسبه شده بر اساس مقادیر مجموع محورها در محدوده HGCZ تعریف شده توسط ISO قرار داشت. فقط نمونه شماره ۹ که مربوط به یکی از خودروهای PAIK و دارای عامل قله‌ای برابر با ۱۶/۶۱ در محور Y و

جدول ۵: نتایج میانگین (انحراف معیار) مقادیر شتاب $r.m.s$ و VDV استخراج شده از مطالعات مشابه بر روی ناوگان حمل و نقل شهری در مقایسه با نتایج حاصل از این مطالعه میانگین

محیط مطالعه	تاکسی ها	تاکسی	تاکسی ها	خودروها	خودرها
محقق	(مطالعه حاضر)	Chen JC و همکاران	Funakoshi و همکاران	SAYED و همکاران	paddan & Griffin
	۲۰۰۳	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۱۲	۲۰۰۲
شتاب $r.m.s$	۰/۶۰	۰/۳۱	۰/۴۴	۱/۶۰	۰/۳۹
	(۰/۷۰ تا ۰/۵۴)	(۰/۱۷ تا ۰/۵۵)	(۰/۳۷ تا ۰/۵۲)	(۱/۶۰ تا ۱/۱۸)	(۰/۲۶ تا ۰/۷۵)
VDV	۱۱/۱۸	۱۵/۰۶	---	۱۶/۰۴	۷/۰۷
	(۸/۷۲ تا ۱۸/۲۲)	(۷/۴۰ تا ۳۱/۲۵)		(۱۶/۰۴ تا ۱۵/۰۰)	(بطور واضح مشخص نشده)



شکل ۳. مدت زمان‌های برآورد شده مطابق با کران پایین HGCZ در روش‌های ارزیابی مختلف

ترتیب در محدوده HGCZ و بالاتر از کران بالایی HGCZ قرار داشتند. مقادیر اخیر بیانگر وجود ریسک‌های بهداشتی متوسط و بالا در رانندگان این دو خودرو می‌باشد. این دو خودرو به ترتیب دارای میانگین مقادیر عامل قله برابر با ۱۵/۴۳ و ۱۴ و نسبت $\frac{VDV}{a_w T^{1/4}}$ برابر با ۳/۲۴ و ۱/۸۰ بودند.

بحث

در این مطالعه در هر دو روش ارزیابی ISO2631-1 عموماً جهت Z محور غالب بود که این موضوع سازگار با بررسی‌های قبلی انجام شده در وسایل نقلیه صنعتی (۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۷)، در قطارها (خوانین و همکاران ۲۰۱۲، و ال سید و

گیری و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین مقادیر پیک محور Z در کل نمونه‌ها برابر با $6/13 m/s^2$ بود. قبل از اعمال ضرایب محورهای X و Y، غیر از نمونه شماره ۹ در بقیه موارد محور عمودی (Z) بالاترین مقادیر را داشت.

نتایج محاسبه شده مقدار تراکمی فشار استاتیک معادل روزانه S_{ed} در جدول ۴ ارائه شده است. این مقادیر در محدوده ۰/۳۰ تا ۰/۸۴ مگاپاسکال بود. ریسک بهداشتی برآورد شده در این روش در هر ۴ خودرو S1۳۲۵ و نمونه‌های ۵، ۶ و ۷ پایین‌تر از کران پایینی HGCZ قرار داشت. در دو نمونه شماره ۸ و ۹ مقادیر S_{ed} برآورد شده به ترتیب برابر با ۰/۵۲ و ۰/۸۴ بود و به

جدول ۶. مدت زمان‌های حدود اقدام و مجاز برآورد شده در روش‌های ارزیابی مختلف

مدت زمان برآورد شده کران بالا (ساعت)			مدت زمان برآورد شده کران پایین (ساعت)			نوع خودرو
Sed	VDV	RMS	Sed	VDV	RMS	
۲۲/۸۱	۷۵/۰۲	۱۶/۱۷	۳۴/۹۱	۴/۶۹	۴/۵۳	میانگین SD
۴۸/۵۲	۲۷/۲۹	۲/۶۰	۷/۴۰	۱/۷۱	۰/۷۳	S1325
۱۹۰/۹۵	۴۱/۹۴	۱۶/۲۷	۲۹/۱۴	۲/۶۲	۴/۵۶	میانگین SD
۱۵۹/۷۹	۲۲/۵۲	۳/۶۷	۲۴/۳۸	۱/۴۱	۱/۰۳	PAIK

گزارش شده در مطالعه Chen JC و همکاران و El Sayed و همکاران و از طرف دیگر حدود ۵۰ درصد بالاتر از میانگینی است که توسط پادن و گریفین گزارش شده است. در مطالعه Chen JC و همکاران متاسفانه شرایط و روش ارزیابی صورت گرفته به خوبی مستند نشده و مشخص نیست که مقادیر گزارش شده به چه شرایطی ارایه شده است. (۹، ۱۵، ۱۶، ۱۸)

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است هنگامی که از روش RMS استفاده شد، هر ۹ راننده تاکسی مورد بررسی سطح ریسک متوسطی داشتند. اما در روش VDV در یک مورد سطح ریسک بالا و در ۸ مورد دیگر سطح ریسک متوسطی برآورد گردید. البته در این روش به‌طور کلی در ۷ نمونه سطح ریسک بزرگ‌تری نسبت به روش قبلی پیش بینی شده است.

در روش ISO 2631-5 هنگامی که کران‌های پایین و بالای توصیه شده استاندارد استفاده شد، غیر از نمونه‌های شماره ۸ و ۹ که به ترتیب دارای سطوح ریسک متوسط و بالایی بودند، در بقیه رانندگان ریسک بهداشتی پایینی به‌دست آمد.

از آن‌جا که مواجهه رانندگان تاکسی‌ها در مدت زمان‌های طولانی روزانه صورت می‌گیرد بنابر این با وجودی که سطح مواجهه متوسطی معمولاً وجود دارد اما زمان روزانه و سال‌های معمولاً طولانی مواجهه و نیز طیف وسیع

همکاران (۲۰۱۲) و در خودروها (فاناکوشی ۲۰۰۴، ال سید و همکاران ۲۰۱۲) می‌باشد. (۹، ۱۳، ۱۵، ۱۸، ۲۴، ۲۶، ۲۷)

در جدول ۳ میانگین و محدوده مقادیر گزارش شده در تاکسی‌ها در این مطالعه و دیگر مطالعات مشابه ارایه و با هم مقایسه شده است. نتایج مطالعه حاضر بالاتر از مقدار میانگین $0.39 m/s^2$ محور غالب گزارش شده توسط padan and Griffin 0.44 (۰/۳۷ تا ۰/۵۲) گزارش شده توسط Fu-nakoshi و همکاران و نیز 0.31 (۰/۱۷ تا ۰/۵۵) گزارش شده توسط Chen JC و همکاران می‌باشد (۱۵، ۱۶، ۱۸) البته تفاوت‌های مشاهده شده در جدول ۵ ممکن است به سبب مسایل متفاوتی از قبیل نوع وسیله نقلیه، توان موتور، کیفیت سطوح جاده‌ای در کشورهای مختلف، وضعیت و پیچ‌های مسیر عبوری و یا حتی فرهنگ رانندگی باشد.

همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است، میانگین مقادیر rms اندازه‌گیری شده در مقایسه با مطالعاتی که بر روی خودروها توسط Chen JC و همکاران، Funakoshi و همکاران و Paddan and Griffin انجام شده، بزرگ‌تر بوده و در مقایسه با مقدار گزارش شده توسط El Sayed و همکاران کم‌تر است. در مطالعه اخیر فقط نتایج مواجهه در دو خودرو و بر روی صندلی مسافری بررسی شده است. میانگین مقادیر VDV در این مطالعه از طرفی حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد کم‌تر از مقادیر

روش ارزیابی (مثلاً در روش VDV به ترتیب برابر با $8/5$ و $17 \text{ m/s}^{1.75}$) ، V_m مقدار اندازه گیری شده در هر روش ارزیابی (متناظر با BL) و P توان‌های متناظر هر روش است که به ترتیب برای روش پایه، VDV و S_{ed} برابر با ۲، ۴ و ۶ می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است غیر از نمونه‌های ۱ و ۳ در بقیه نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه مدت زمان‌های برآورد شده در روش VDV از روش RMS کم‌تر است. همچنین با توجه به ارزیابی صورت گرفته مطابق با کران‌های پایین و بالایی تعیین شده در روش ISO 2631-5، تمامی زمان‌های برآورد شده دارای زمان مواجهه مجاز به مراتب بیش‌تری در این روش نسبت به روش ISO 2631-1 می‌باشد. زمان‌های برآورد شده در روش ISO 2631-5 به طور بسیار معنی داری بالاتر از دو روش ارایه شده در ISO 2631-1 است. زمان برآوردی در سطح پایین برای کل خودروها در روش S_{ed} حدود ۷ و ۹ مرتبه به ترتیب از روش RMS و VDV بیش‌تر است. جهت محدود سازی تصاویر ارایه شده، فقط زمان‌های پیش‌بینی شده در کران پایین در این مقاله ارایه شده است.

میانگین نتایج ارایه شده در جدول ۵ نیز به خوبی بیان‌گر عدم هماهنگی بین شاخص‌های ارایه شده توسط ISO 2631 می‌باشد. این وضعیت ممکن است منجر به ارزیابی‌های اشتباه و حتی سوء استفاده توسط برخی از افراد گردد. بنابراین توصیه می‌شود که در مطالعات آتی اصلاح کران بالای روش VDV در دستور کار پژوهش‌گران قرار گیرد. موضوع اخیر در مطالعات ALEM و Zhao & Schindler نیز مورد اشاره قرار گرفته و هر یک به نوبه خود حدود اصلاحی خاصی را برای روش VDV و Sed برای خودروهای نظامی و لودرهای

جمعیتی رانندگان تاکسی‌ها اهمیت ارزیابی مذکور را بیش‌تر می‌کند. عدم ارتباط مستقیم بین بخش‌های مختلف در استانداردها نگران کننده بوده و می‌تواند منجر به سردرگمی شود. مثلاً اگر ISO 2631-5 مورد استفاده قرار گیرد، ریسک بهداشتی پایین تا متوسطی برای ستون فقرات در این مطالعه گزارش می‌شود. از طرف دیگر اگر ISO 2631-1 مورد نظر باشد، ریسک بهداشتی متوسط تا بالایی گزارش می‌شود. در این مطالعه ارزیابی مواجهه مطابق با ISO 2631-5 در ناحیه ایمن قرار دارد و این در حالی است که حقیقتاً احتمال ریسک بهداشتی نامطلوب وجود دارد. بنابراین ممکن است استانداردها برای پیش‌بینی شرایط مواجهه شاغلین مورد سوء استفاده قرار گیرند.

جهت مقایسه بزرگی‌های برآورد شده در روش‌های ارزیابی مختلف برای مشابه سازی همه شاخص‌های دارای واحدهای مختلف، بهتر آن است که زمان‌های برآورد شده مواجهه در روش‌های مختلف با هم مقایسه گردند. در این شرایط مقایسه ساعات مجاز مواجهه در هر روش به سادگی امکان پذیر بوده و به نوعی شدت ریسک تعیین شده در آن روش مشخص می‌گردد. در این شرایط هر چه قدر شدت ریسک بزرگ‌تری توسط روش پیش‌بینی گردد، زمان مواجهه کم‌تری اجازه داده خواهد شد. زمان‌های عمل و مجاز برآورد شده در این مطالعه با استفاده از رابطه ذیل محاسبه و نتایج مربوطه در دو نوع خودرو مورد مطالعه در جدول ۵ ارایه شده است.

$$D = 8 \left(\frac{B}{V_m} \right)^P \quad (10)$$

در این رابطه D مدت زمان برآورد شده بر حسب ساعت در هر یک از روش‌های ارزیابی، BL کران پایین یا بالای تعیین شده مورد نظر در هر

مورد استفاده واقع گردید. مطابق با ISO 2631-1 روش مجموع محورهای مقادیر شتاب و VDV به کار رفت. ارزیابی اثرات ارتعاش تمام بدن ناشی از راهبری تاکسی‌ها در روش‌های مختلف سطوح ریسک متفاوتی را نشان داد و مشخص شد که حدود HGCZ ارایه شده در ISO 2631-5 بالاتر از آن است که در ISO 2631-1 وجود دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که جهت اصلاح حدود مربوطه، مطالعاتی در این زمینه انجام گردد. همچنین به سبب عدم هم‌خوانی روش‌های ارزیابی ارایه شده، باید ارزیابی مطابق با بخش‌های مذکور این استاندارد با احتیاط به کار گرفته شده و تا برطرف شدن مشکلات مربوطه، پیشنهاد می‌شود که همواره روشی که بالاترین ریسک بهداشتی را ارایه می‌کند به کار گرفته شود.

تشریح و قدردانی

نتایج این مطالعه حاصل از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه علوم پزشکی گناباد به شماره پ / ۱ / ۴۶۲ بوده و لازم است که از مدیریت تاکسی‌رانی شهرگناباد و تمامی رانندگان شاغل در سامانه تاکسی‌رانی ۱۳۳ این شهرستان قدردانی نماییم.

REFERENCES

1. Ismail AR, Nuawi MZ, How CW, Kamaruddin NF, Nor MJ, Makhtar NK. Whole body vibration exposure to train passenger. American Journal of Applied Sciences. 2010;7(3):352-9.
2. Griffin MJ. Handbook of human vibration. London: Academic press; 2012.
3. Nawayseh N. Effect of the seating condition on the transmission of vibration through the

چرخ‌دار متوسط ارایه نموده‌اند. در صورتی که حدود اصلاحی ۳/۵ تا ۴/۸ توصیه شده در روش VDV در مطالعه Alem مورد استفاده قرار گیرد سطح ریسک بهداشتی هر ۹ راننده بالاتر از کران بالا و ریسک بهداشتی محتمل خواهد بود. همچنین زمانی که حدود اصلاحی ۰/۳۴ تا ۰/۵۲ در روش S_{ed} در مطالعه Zhao & Schindler مورد نظر باشد فقط سه نمونه دارای ریسک بهداشتی غیر محتمل خواهند بود. (۲۴، ۲۸)

بنابراین با توجه به مدت زمان روزانه و سالیان طولانی مواجهه رانندگان، منطقی است که استفاده از خودروهایی با میزان شتاب RMS و VDV بالاتر - خودروهای نوع PAIK1761 محدود شده و ترجیحاً به مرور از ناوگان تاکسی‌رانی حذف و از خودروهای دیگر استفاده شود

نتیجه گیری

شتاب سه محور ارتعاش تمام بدن بر روی صندلی ۹ راننده تاکسی حین فعالیت معمول روزمره اندازه‌گیری شد. روش‌های پیشنهاد شده ISO 2631-1,5 برای پیش بینی ریسک بهداشتی مواجهه با ارتعاش تمام بدن در رانندگان تاکسی‌ها

- seat pan and backrest. International Journal of Industrial Ergonomics. 2015; 45:82-90.
4. Azrah K, Khavanin A, Human Exposure to Mechanical Vibration. Fanavaran Publication: Tehran; 2015.
5. Nawayseh N, Griffin MJ. Power absorbed during whole-body fore-and-aft vibration: Effects of sitting posture, backrest and footrest. Journal of sound and vibration.

- 2012; 331(1): 252-62.
6. Wang W, Rakheja S, Boileau P.-É. Effects of sitting postures on biodynamic response of seated occupants under vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2004; 34(4):289-306.
 7. Hostens I, Ramon H. Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body. *Journal of sound and vibration*. 2003; 266(3):453-64.
 8. Nahvi H, Fouladi MH, Nor MJ. Evaluation of whole-body vibration and ride comfort in a passenger car. *International journal of acoustics and vibration*. 2009; 14(3):143-9.
 9. El Sayed M, Habashy S, El Adawy M. Evaluation of whole-body-vibration exposure to Cairo subway (Metro) passengers. *International Journal of Computer Applications*. 2012; 55(8).
 10. Ciloglu H, Alziadeh M, Mohany A, Kishawy H. Assessment of the whole body vibration exposure and the dynamic seat comfort in passenger aircraft. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2015; 45:116-23.
 11. Thamsuwan O, Blood RP, Ching RP, Boyle L, Johnson PW. Whole body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a low-floor city bus. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2013; 43(1):9-17.
 12. Chen HC, Chen WC, Liu YP, Chen CY, Pan YT. Whole-body vibration exposure experienced by motorcycle riders—An evaluation according to ISO 2631-1 and ISO 2631-5 standards. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2009; 39(5):708-18.
 13. Khavanin A, Azrah K, Mirzaei R, Mortazavi SB, Asilian H, Soleimani A. Evaluating subway drivers' exposure to whole body vibration based on Basic and VDV methods (with ISO 2631-1 standard). *Journal of Health and Safety at Work*. 2014; 4(2):15-26.
 14. Ahmad Rasdan I, Nuawi MZ. Comparative study of whole-body vibration exposure between train and car passengers: a case study in Malaysia. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2011; 4: 490-503.
 15. Funakoshi M, Taoda K, Tsujimura H, Nishiyama K. Measurement of whole-body vibration in taxi drivers. *Journal of occupational health*. 2004; 46(2):119-24.
 16. Chen JC, Chang WR, Shih TS, Chen CJ, Chang WP, Dennerlein JT, et al. Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. *Ergonomics*. 2003; 46(11):1075-90.
 17. Burström L, Lindberg L, Lindgren T. Cabin attendants' exposure to vibration and shocks during landing. *Journal of sound and vibration*. 2006; 298(3):601-5.
 18. Paddan GS, Griffin M. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *Journal of sound and vibration*. 2002, 253(1): 195-213.
 19. Khanin A, Mirzaei R, Beheshti MH, Safari Z, Azrah K. Evaluation of health risk caused by whole body vibration exposure, using ISO 2631-1 and BS 6844 Standards. *Journal of*

- Health and Safety at Work. 2014; 4(3):23-36.
20. International Organization for Standardization (ISO). Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration- part 1: general requirements (Standard No. ISO 2631- 1:1997). Geneva, Switzerland.
21. International Organization for Standardization (ISO). Mechanical Vibration and Shock e Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration e Part 5: Method for Evaluation of Vibration Containing Multiply Shocks. (Standard No. ISO 2631- 5:2004). Geneva, Switzerland.
22. Eger T, Stevenson J, Boileau PE, Salmoni A, Vib RG. Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 1 - analysis of whole-body vibration exposure using ISO 2631-1 and ISO-2631-5 standards. International Journal of Industrial Ergonomics. 2008; 38(9):726-738.
23. Aye SA. Evaluation of Operator Whole-body Vibration and Shock Exposure in a South African Open Cast Mine. Thesis for the degree of Master of Science. University of Pretoria, Pretoria. 2009.
24. Zhao X, Schindler C. Evaluation of whole-body vibration exposure experienced by operators of a compact wheel loader according to ISO 2631-1: 1997 and ISO 2631-5: 2004. International Journal of Industrial Ergonomics. 2014; 44(6):840-50.
25. International Organization for Standardization (ISO). Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 1: Basic requirements. (Standard No. ISO 10326-1:1992 Geneva, Switzerland.
26. Wolfgang R, Burgess-Limerick R. Whole-body vibration exposure of haul truck drivers at a surface coal mine. Applied ergonomics. 2014; 45(6):1700-4.
27. Smets MP, Eger TR, Grenier SG. Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: A comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks. Applied Ergonomics. 2010; 41(6):763-70.
28. Alem N. Application of the new ISO 2631-5 to health hazard assessment of repeated shocks in US army vehicles. Industrial Health. 2005; 43(3):403-12.