بررسی تاثیر ارتعاش تمام بدن بر آسایش و راحتی مسافرین مترو

کیکاوس ازره[۱] - رمضان میرزایی[۲] - علیرضا شریفی[۳] - اردلان سلیمانیان[۴*]

solimana@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲

چکیده

مقدمه: ارتعاش تمام بدن یکی از عواملی است که حین مسافرت ممکن است بر آسایش مسافرین و یا خدمه سیستم‌های حمل و نقل ریلی تاثیرات منفی بگذارد. در این مطالعه تاثیرات احتمالی ارتعاش تمام بدن بر روی آسایش مسافرین مترو تهران مورد بررسی قرار گرفته است.

روش کار: طرح ریزی، اندازه‌گیری و انجام محاسبات قبل از ارزیابی عمدتاً بر طبق توصیه‌ها و روش‌های ISO 2631- 1,4 انجام گرفت. هم‌چنین در انجام اندازه‌گیری و انجام محاسبات به ترتیب از دستگاه SVAN 958 و نرم افزار Excel استفاده گردید.

یافته ها: میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده شتاب rms در محل‌های سطح نشیمن‌گاه صندلی، پشتی صندلی و پاها به ترتیب در محورهای غالب برابر با ۰/۵۷ ، ۰/۴۴ و ۰/۶۴ m/s^2 و مقدار کل شتاب rms اندازه‌گیری شده در هر سه محل ورود ارتعاش به بدن مسافر برابر با ۱/۰۲و با انحراف معیار ۰/۱۱ m/s^2 بود. میانگین مقدار ارتعاش کل مواجهه در حداقل و حداکثر زمان مواجهه مورد نظر به ترتیب برابر با ۶/۴۴ و ۹/۶۳ $m/s^{1.75}$ محاسبه شد.

نتیجه گیری: مقادیر محورهای غالب محاسبه شده عمدتاً در سطح نسبتاً ناخوشایند در طبقه بندی آسایشی ISO 2631-1 قرار داشتند، اما مقدار کلی مواجهه محاسبه شده بر اساس wrms در سطح ناخوشایند قرار داشت. مقادیر VDV اندازه‌گیری شده عمدتاً در محور z غالب بودند.

کلمات کلیدی: *ارتعاش، ارتعاش تمام بدن، آسایش مسافرین، ارتعاش مترو*

۱- مربی گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد

۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت و مرکز ارتقای سلامت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان

۳- کارشناس ارشد بهداشت حرفه ای، بازرس اداره بازرسی کار استان تهران

۴- مربی گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

ارتعاش تمام بدن به عنوان یک عامل آزار دهنده و مشهود در بسیاری از محیط‌های شغلی و غیر شغلی به عنوان یک مشکل بهداشتی مطرح است، که انرژی منتقله در این نوع ارتعاش از طریق نقاط مختلف تماس بدن با سطوح مرتعشی مانند سطح نشیمن‌گاه صندلی، پشتی صندلی، کف کابین و گاهی پشت سری استراحت دهنده سر و گردن به بدن وارد می‌شود.[1] در انتقال ارتعاش و ورود آن به بدن عوامل متعددی موثر هستند. 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 ارگان‌های بدن موثر هستند، اما ارتعاشات با فرکانس بالاتر از این حد عموماً اثرات موضعی دارند. راحتی سوارش برای یک وسیله نقلیه جهت فراهم سازی رضایت مسافرین ضروری است به همین سبب سازندگان وسایل نقلیه به طور مداوم در جستجوی روش‌های بهبود آسایش ارتعاشی در وسایلشان هستند.[2] علاوه بر این در برخی افراد و تحت شرایطی که فرد نیاز به استفاده مداوم و روزانه از وسایل نقلیه دارد، ممکن است سلامتی و بهداشت وی نیز تحت تاثیر قرار بگیرد . [3-5]

در آسایش مسافرین سیستم‌های حمل ونقل ریلی، عوامل زیادی مانند عوامل محیطی سطح صدا، تحریکات بصری، دما و رطوبت موثر هستند. علاوه بر این‌ها از دیگر عوامل موثر می‌توان به تاثیر ارتعاش بر روی انجام فعالیت‌های مختلف در حین سفر، ساختمان فیزیکی واگن، کیفیت زیر سازی ریل و نیز عوامل کم‌تر محسوس از قبیل انتظار و توقع مسافر اشاره کرد (که می‌تواند در اثر هزینه پرداختی برای بلیط و یا نوع و درجه قطار تحت تاثیر قرار گیرد). [3, 9-6]

فقط یک ساعت مواجهه با ارتعاش در حالت نشسته ممکن است سبب خستگی عضلانی و آماده سازی اولیه جهت آسیب به کمر شود.[4] ارتعاش سبب شیوع بیش‌تر اختلالات اسکلتی عضلانی در بخش‌هایی از بدن مثل شانه‌ها، گردن و کمر می‌شود. علاوه بر این در مواجهه با ارتعاش تمام بدن مشکلات دیگری از جمله ریسک بهداشتی در انجام فعالیت سیستم‌های روانی – حرکتی ، فیزیولوژیکی و روان‌شناختی نیز وجود دارد. ارتعاش هم‌چنین می‌تواند سبب تاری دید، از دست رفتن تعادل و کاهش تمرکز گردد. در برخی شرایط فرکانس‌ها و سطوح ارتعاشی می‌توانند صدمات دایمی به ارگان‌های داخلی وارد کنند. بعد از مواجهه مداوم روزانه طی سالیان کاری، ارتعاش تمام بدن ممکن است سبب اختلالات بهداشتی بسیار موثری بر کل بدن و ارگان‌های مختلف شامل صدمات ثابت به ارگان‌های داخلی، عضلات، مفاصل و ساختار استخوانی شود. تحقیقات نشان می‌دهد در کسانی که با ارتعاش تمام بدن مواجهه دارند در مقایسه با افرادی که تحت همان شرایط ولی بدون مواجهه ارتعاشی فعالیت می‌کنند، اختلالات کمر شیوع و شدت بیش‌تری دارد. [3, 7, 10]

راحتی و آسایش مسافرین در طول سفر با توجه به عواملی مانند انتظار مسافر و طول سفر متغیر خواهد بود. به طور مشخص معمولاً آسایش با افزایش طول مدت سفر کاهش می‌یابد. انتظار مسافرین مختلف نیز با توجه به عواملی مانند هزینه پرداختی برای تهیه بلیط، درجه قطار و هم‌چنین انجام فعالیت‌های متنوع مانند مطالعه کردن، نوشتن، تایپ کردن، خوردن، آشامیدن و ... که ممکن است در اثر ارتعاش تحت تاثیر قرار گیرند، متفاوت است.

از طرفی به واسطه عواملی مانند شرایط محیطی اعم از دما و رطوبت، طراحی کابین، میزان صدایی که مسافر با آن مواجه است،تحریکات بصری، زیرسازی ریل، ساختمان فیزیکی واگن و ... نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد.[3, 6, 9, 11]

از مطالعات متعدد در سالیان متمادی مشخص شده است که طیف فرکانسی حایز اهمیت در مواجهه با ارتعاش تمام بدن از ۰/۵ تا ۸۰ هرتز می‌باشد. امروزه استانداردهای مختلف ملی و بین المللی نیز همین محدوده فرکانسی را برای بررسی ارتعاش تمام بدن پیشنهاد می‌دهند. [6, 11-13]

با توجه به این واقعیت که تاثیر حرکات طولی و عرضی در مسافرین و خدمه می‌تواند در وضعیت‌های ایستاده و نشسته با هم متفاوت باشد و در وضعیت نشسته به علت سطح وسیع‌تری از بدن که در تماس قرار می‌گیرد مهم‌تر است، بنابراین اندازه‌گیری و ارزیابی در این مطالعه در مسافرین نشسته در تمامی‌محل‌های ورود ارتعاش به بدن که ممکن است بر آسایش و راحتی مسافر موثر باشند، انجام گردید.

روش کار

محیط مطالعه و روش اندازه‌گیری

استاندارد ISO 2631-1 با توجه به شرایط کلی، روش عمومی اندازه‌گیری ارتعاش سطح صندلی را جهت ارزیابی ارتعاش در افراد نشسته پیشنهاد نموده است. اما این روش ممکن است همیشه روشی کاملاً مناسب برای بررسی و ارزیابی ارتعاش منتقله از وسایل نقلیه در مسیرهای ریلی نباشد. بنابراین انجام یک ارزیابی صحیح و متناسب در وسایل نقلیه ریلی علاوه بر به‌کار بردن توصیه‌ها و پیشنهادات بخش ۱ استاندارد ISO 2631 باید از توصیه‌ها و توجهات خاص بخش ۴ استاندارد ISO 2631 – که به‌طور اختصاصی جهت ارزیابی اثرات ارتعاش بر روی آسایش مسافرین و خدمه سیستم‌های حمل و نقل ریلی به‌کار می‌رود - و هم‌چنین استانداردهای دیگری مانند BS 6841 نیز بهره گرفت.

نصب شتاب سنج‌ها و اندازه گیری طبق رهنمود استانداردهای ISO 2631-1,4 و ISO 10326-1 انجام گرفت. اندازه گیری‌ها با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج و آنالیزور SVAN 958 ساخت کمپانی Svantek با شتاب سنج سه محوره SV39A/L (در محدوده فرکانسی ۰/۵ تا ۳ کیلو هرتز)،که مطابق با استاندارد ISO 2631-1 و SAE j1013 طراحی شده و درون یک پد لاستیکی با ضخامت 12 mm نصب شده انجام گردید. هنگام اندازه‌گیری زمان تشخیص دستگاه بر روی ۱۰۰ میلی ثانیه قرارگرفت و فیلتر باند توزین فرکانسی مورد استفاده برای اندازه‌گیری در محورهای

جدول ۱. فیلترهای توزین و ضرایب مربوط به وضعیت نشسته با توجه با آسایش در محورهای مختلف برگرفته شده از ISO 2631-1:1997

محل اندازه‌گیری	نشیمن‌گاه صندلی			پشتی صندلی			کف کابین		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
فیلتر توزین	W_d	W_d	W_b	W_c	W_d	W_d	W_b	W_b	W_b
عامل ضرب شونده	۱	۱	۱	۰/۸	۰/۵	۰/۴	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴

z,y,x در وضعیتی که اندازه‌گیری ارتعاش سطح صندلی انجام می‌گرفت، به ترتیب wb,wd,wd و در اندازه‌گیری محورهای پشتی صندلی به همین ترتیب wd,wd,wc و در حین اندازه‌گیری ارتعاش ورودی از طریق پاها که بر سطح کابین قرار داشتند در هر سه محور Wb بود. شبکه توزین و ضرایب اضافی توصیه شده محورهای مختلف مشتق شده از استاندارد ISO 2631 در این مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است. به منظور جلوگیری از تاثیر حرکات اولیه مسافر بر روی سیگنال ارتعاشی، بعد از این‌که شتاب سنج دستگاه کاملاً نصب شده و ثابت در محل مورد نظر قرار گرفت، دستگاه اندازه‌گیری شروع به‌کار کرد.

مطالعه بر روی ۱۱ قطار مختلف در ۳ خط مترو تهران با زیر ساخت و سیستم ریلی مشابه، با زمان اندازه‌گیری ثابت ۲۰ دقیقه انجام شد. با توجه به این موضوع که تعداد واگن‌ها در قطارهای مورد استفاده در زمان اندازه‌گیری ۷ واگن بود و طول این واگن‌ها در قطارهای AC و DC به ترتیب برابر با ۱۹۰۰۰ و ۱۹۵۲۰ میلی متر و عرض واگن‌ها به ترتیب ۲۶۰۰ و ۲۴۶۰ میلی متر بود، در همه ۱۱ قطار مورد بررسی، نمونه‌ها در واگن میانی قطار و روی سطح وپشتی صندلی با جایگاه مشخص در واگن، در محدوده ی مرکزی واگن و هم‌چنین در محلی نزدیک به پای مسافر اندازه‌گیری شد. در حین اندازه‌گیری به دلیل عدم مداخله ویژگی‌های فردی مسافر در تمامی‌اندازه‌گیری‌ها از یک فرد ثابت برای هر دو وضعیت نشسته و ایستاده با وزن ۷۸ کیلوگرم و قد ۱۷۵ سانتی متر در تمامی‌قطارها و خطوط استفاده شد.

قطارهای مورد استفاده در مترو تهران در خطوط مورد بررسی ۴و۱،۲ از دو نوع AC,DC هستند که در این مطالعه هر دو نوع قطار موجود در خطوط مذکور مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد ایستگاه‌های فعال در زمان اندازه‌گیری در خطوط ۴و۲و۱ به ترتیب ۵و۱۸و۲۷ ایستگاه بود و سرعت متوسط حین حرکت قطارها ۶۷ کیلومتر بر ساعت با انحراف معیار ۵،۳ کیلومتر در تمامی‌خطوط محاسبه شد. طول کل مسیر یک طرفه در خطوط ۴،۲،۱ به ترتیب برابر با ۵/۶، ۲۰/۴، ۳۴/۲۶ کیلومتر بود. هر مسافر ممکن است با استفاده از مترو طی یک روز از یک یا چند خط مترو استفاده نماید. طول مسافرت نیز ممکن است از چند دقیقه (حدود ۳۰ دقیقه در یک مسیر یک طرفه در کوتاه‌ترین خط مترو) تا حدود ۲ تا ۲/۵ ساعت طی یک روز در یک مسیر رفت و برگشت با استفاده از قطارهای مختلف مترو تهران صورت پذیرد.

اندازه‌گیری و محاسبات ارتعاش تمام بدن در این مطالعه طبق دستورالعمل اجرایی استاندارد ISO 2631-1 انجام شد. ترکیب محورها در روش rms و VDV به ترتیب در معادلات ۱ و ۲ با توجه به ضرایب اضافی در محورهای مختلف مطابق جدول ۱ انجام گرفت. جزییات کامل در مستندات استانداردها ارایه شده است.

در اندازه‌گیری شتاب rms – که شتاب میانگین را در طول زمان اندازه‌گیری نشان می‌دهد- محورهای سه گانه با گرفتن ریشه دوم مجموع مربعات شتاب‌ها با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند که این ترکیب برای مقادیر شتاب rms با استفاده از روش سازمان بین المللی استاندارد از طریق معادله زیر انجام می‌شود:

$$a_x = \sqrt{k_x^2 a_w^2 + k_y^2 a_w^2 + k_z^2 a_w^2} \qquad (۱)$$

a_{xyz}: ریشه مجموع مربعات وزن یافته

فرکانسی و a_{wy}، a_{wx} و a_{wz} به ترتیب شتاب‌های rms وزن یافته در محورهای z,y,x و k_x ، k_y و k_z به ترتیب ضرایب مربوط به محورهای x ، y و z است که مقادیر آن‌ها در هر وضعیت در جدول ۱ بیان شده است.

و برای ترکیب کردن محورهای مختصات VDV ها رابطه زیر به‌کار می‌رود:

$$V_x = \sqrt[4]{k_z^4 V_x^4 + k_z^4 V_y^4 + k_z^4 V_z^4} \quad (۲)$$

که در این رابطه :

VDV_{xyz}: دوز ارتعاش ترکیب شده و VDV_x VDV_y و VDV_z، به ترتیب مقدار ارتعاش در محورهای z,y,x و k_x ، k_y و k_z به ترتیب ضرایب مربوط به محورهایy ، x و zاست که مقادیر آن‌ها در هر وضعیت در جدول ۱ بیان شده است.

VDV معادل در مدت زمان‌هایی غیر از زمان اندازه‌گیری شده برطبق معادله ۳ تعریف شده است که درآن VDV، VDV_n کلی در زمان t_n، n کل زمان مواجهه با ارتعاش برای وظیفه n، $t_{n\ measured}$ ، مدت زمانی که VDV برای زمان n اندازه‌گیری شده است و $VDV_{n\ measured}$؛ VDV اندازه‌گیری شده برای زیر وظیفه n می‌باشد

$$V_n = \sqrt[4]{\frac{t_n}{t_{n\,m}} \times V_{n\,m}^4} \quad (۳)$$

$m/s^{1.7}$

مقادیر VDV بر اساس توان چهارم میانگین شتاب وزن یافته مواجهه بوده و به گونه ای است که تاکید می‌نماید مقادیر شتاب بزرگ‌تر نسبت به متوسط توان دوم محاسبات شتاب rms ارزش بیش‌تری دارد. هم‌چنین از معادلات ۱ و ۲ برای محاسبه rms کل و VDV کل حاصل از هر سه محل مواجهه هم استفاده شد.

ارزیابی ارتعاش

از آن‌جا که مقادیر قابل پذیرش برای بررسی آسایش به عوامل متعددی بستگی دارد که می‌تواند در هر کاربردی متفاوت باشد، بنابراین مقادیر حدود کلی ارتعاش تمام بدن با در نظر داشتن راحتی و آسایش به‌طور مطلق تعریف نشده‌اند. حدود تعیین شده توسط استاندارد ISO 2631-1 در ارتباط با آسایش و بیان کننده تقریبی واکنش احتمالی به بزرگی‌های مختلف مقدار کل ارتعاش در سیستم حمل و نقل عمومی‌در جدول ۲ ارایه شده است. [14 ,12] (ایزو و رفرنس شماره ۶)

جدول۲. واکنش ذهنی احتمالی انسان در برابر مقادیر مختلف ارتعاش تمام بدن

بزرگی ارتعاش (m/s^2)	واکنش ذهنی	سطح ریسک مورد نظر در این مقاله
کم‌تر از ۰/۳۱۵	بدون ناخوشایندی	۱
۰/۳۱۵ تا ۰/۶۳	کمی‌ناخوشایند	۲
۰/۵تا۱	نسبتاً ناخوشایند	۳
۰/۸ تا ۱/۶	ناخوشایند	۴
۱/۲۵تا ۲/۵	خیلی ناخوشایند	۵
بیش‌تر از ۲	بی نهایت ناخوشایند	۶

به هر حال همان‌طور که قبلاً عنوان شد، واکنش به بزرگی‌های متفاوت بر حسب تجربه مسافرین با توجه به زمان سفر، نوع فعالیت مسافر، انتظار انجام فعالیت خاص (مثلا مطالعه کردن، نوشیدن چای، نوشتن و ...) و عوامل متعدد دیگر (اختلال صوتی، دما و ...) متفاوت خواهد بود.

معمولاً شاخص اولیه و همیشگی برای بررسی ارتعاش انسانی، شتاب rms است، اما در برخی شرایط مثل زمانی که عامل قله بیش‌تر از ۹ باشد، ارزیابی پاسخ انسان به ارتعاش با استفاده از شتاب rms وزن یافته فرکانسی کافی نباشد. آسایش انسان به طور معنی داری می‌تواند توسط مقادیر پیک تحت تاثیر قرار بگیرد. بنابراین ارزیابی با استفاده از روش میانگین گیری rms ممکن است سبب ناچیز پنداشته شدن سطح ریسک شود. در این موارد استفاده از شاخص VDV توسط استاندارد توصیه شده است و با توجه به این‌که بر اساس معیار آسایش حدودی برای شاخص VDV ارایه نشده است، مقادیر ارتعاش به دست آمده در یک محیط ممکن است با مقادیر به دست آمده در محیطی دیگر برای سنجش عدم آسایش با هم مقایسه شوند.[12, 15]

یافته ها

بررسی ارتعاش تمام بدن اغلب دارای پیچیدگی‌های خاصی است، چون معمولاً مواجهه و انتقال ارتعاش در هر محیطی در محدوده‌ی خاصی از فرکانس اتفاق می‌افتد، در جهات مختلفی رخ می‌دهد و شدت آن در طول زمان انتشار سیگنال ارتعاشی متغیر است. ارزیابی آسایش مسافرین زمانی که در دیگر وسایل حمل ونقل، غیر از سیستم‌های با مسیر ثابت، انجام می‌گیرد مستلزم توجهات بسیار بیش‌تری است. چون در تاکسی‌ها و اتوبوس‌ها عموماً مسیرها متغیر است و علاوه بر این سطحی که وسیله نقلیه بر روی آن هدایت می‌شود، سرعت متغیر راهبری وسایل با توجه به میزان ترافیک شهری و عوامل دیگر و کیفیت متفاوت رانندگی رانندگان مختلف نیز با هم متفاوت است که این عوامل در حین اندازه‌گیری و ارزیابی باید مد نظر قرار گیرند. در طراحی انجام گرفته در این مطالعه، آسایش مسافرین با توجه به این موضوع که نوع مسیر ریلی به‌کار رفته در خطوط یکسان، سرعت مجاز تمامی‌خطوط برابر با ۸۰ کیلومتر در ساعت و نیز قطارهایی که توسط سیستم کنترل مرکزی یکسانی نظارت می‌شوند، صورت گرفت. بنابراین بررسی آسایش مسافرین بدون نگرانی از عوامل مداخله گر اصلی و فقط با تکیه بر میزان ارتعاش تمام بدن انجام گردید.

طبق توصیه ISO2631 نتایج حاصل از ارزیابی مطالعاتی مشابه، این مطالعه برای افرادی با سطح سلامت طبیعی قابل استفاده است. نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده wrms و VDV در جهات سه گانه z,y,x نشیمن‌گاه صندلی،پشتی صندلی و پاها در قطارها و خطوط مختلف، طبق توصیه‌های ISO 2631-1,4 برای مسافرین در جداول ۳ و ۴ ارایه شده است. هم‌چنین مقادیر محاسبه شده با توجه به حداقل و حداکثر مدت زمان احتمالی مواجهه مسافرین طی یک روز نیز در همین جداول آورده شده است. به سبب جلوگیری از تاثیر ازدحام زیاد و یا کم مسافرین بر نتایج حاصله ، فرآیند انجام اندازه‌گیری‌ها در ساعات معمول روزانه از ۱۰ صبح تا ۵ بعد از ظهر که تقریباً ازدحام مسافرین در قطارها و واگن‌ها معمولی است انجام گردید.

جدول۳. نتایج شتاب rms در محل‌های ورود مختلف و مواجهه کلی

کد	خط	نوع قطار	شتاب rms سطح صندلی				شتاب rms پشتی صندلی				شتاب rms کف کابین				rms کل
			X	y	Z	r.s.s	X	y	Z	r.s.s	x	y	z	r.ss	
۱	۱	AC	۰/۲۷	۰/۴۶	**۰/۵۹**	**۰/۸۰**	۰/۳۳	۰/۳۶	**۰/۵۶**	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۷	**۰/۷۱**	**۰/۳۱**	۰/۹۴
۲	۱	AC	۰/۳۶	۰/۴۸	**۰/۶۹**	**۰/۹۲**	۰/۴۷	۰/۳۸	**۰/۴۹**	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۶۳	۰/۴۲	۰/۲۵	۱/۰۱
۳	۱	DC	۰/۲۸	۰/۴۷	**۰/۸۶**	**۱/۰۲**	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۳۹	**۰/۸۸**	**۰/۳۷**	۱/۱۸
۴	۱	DC	۰/۵۱	۰/۳۳	**۰/۸۵**	**۱/۰۴**	۰/۳۸	۰/۳۵	**۰/۵۸**	۰/۴۲	۰/۲۷	۰/۴۳	**۰/۷۶**	**۰/۳۳**	۱/۱۷
۵	۲	AC	۰/۲۸	**۰/۵۳**	۰/۴۹	**۰/۷۷**	۰/۳۷	۰/۲۸	**۰/۵۳**	۰/۳۵	۰/۴۸	**۰/۵۵**	۰/۴۸	**۰/۲۶**	۰/۸۹
۶	۲	DC	۰/۵۱	**۰/۷۲**	۰/۲۵	**۰/۹۱**	۰/۴۶	**۰/۷۷**	۰/۲۷	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۴۱	**۰/۷۳**	**۰/۳۲**	۱/۰۹
۷	۲	DC	۰/۵۷	**۰/۷۷**	۰/۲۰	**۰/۹۸**	۰/۵۲	**۰/۶۴**	۰/۰۹	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۳۶	**۰/۶۵**	**۰/۳۰**	۱/۱۰
۸	۲	AC	۰/۳۵	۰/۴۶	**۰/۶۷**	**۰/۸۹**	**۰/۳۸**	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۹	**۰/۷۲**	**۰/۳۲**	۱/۰۱
۹	۴	AC	۰/۳۹	۰/۳۹	**۰/۴۸**	**۰/۷۳**	**۰/۴۴**	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۴۱	۰/۴۶	**۰/۷۵**	**۰/۳۴**	۰/۸۵
۱۰	۴	AC	**۰/۵۲**	۰/۳۵	۰/۵۱	**۰/۸۱**	**۰/۶۱**	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۳۴	**۰/۶۷**	۰/۵۳	**۰/۲۸**	۰/۹۷
۱۱	۴	AC	۰/۴۱	۰/۵۷	**۰/۶۴**	**۰/۹۵**	۰/۳۴	۰/۳۹	**۰/۴۴**	۰/۳۴	۰/۴۸	**۰/۶۶**	۰/۳۹	**۰/۲۶**	۱/۰۵
میانگین			۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۸۹	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۳۰	۱/۰۲
انحراف معیار			۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۱۱

متاسفانه برخی استانداردها از مد نظر قرار دادن محور غالب پشتیبانی می‌کنند و دو محور از سه محور بدون استفاده باقی می‌ماند که صحت انجام این کار قابل بحث می‌باشد. استاندارد ISO 2631-1:1997 پیشنهاد می‌کند که ارتعاش در سه جهت انتقالی بر روی نشیمن‌گاه اندازه‌گیری گردد و جهتی با بیش‌ترین شدت(محور غالب) را برای ارزیابی شدت ارتعاش، زمانی که مقادیر در محورها با هم قیاس پذیر نباشند، توصیه می‌کند. در این مطالعه بر اساس توصیه بسیاری از استانداردها و مطالعات صورت گرفته در سالیان اخیر روش ترکیب محورها مورد استفاده قرار گرفته است.[4, 15-17]

همان‌طور که از جداول ۳و۴ می‌توان به وضوح فهمید، میانگین مقادیر rms و VDV کل در مسافرین در زمان اندازه‌گیری انجام شده به ترتیب برابر با ۱/۰۲ و با انحراف معیار ۰/۱۱ m/s^2 و ۹/۶۳ با انحراف معیار ۲/۱۴ $m/s^{1.75}$ بود.

میانگین مقادیر شتاب rms سطح نشیمن‌گاه در محورهای z,y,x به ترتیب ۰/۴، ۰/۵۰ و ۰/۵۷، در پشتی صندلی به همان ترتیب ۰/۴۴ ، ۰/۴۱ و ۰/۴۱ و در قسمت قرار گیری پاها به ترتیب ۰/۳۹ ، ۰/۴۸ و ۰/۶۴ m/s^2 بود. در محل نشیمن‌گاه محور غالب در ۷ مورد از ۱۱ قطار مورد بررسی، محور z بود که غیر از دو نمونه قطار DC مربوط به خط ۱ بقیه ۵ مورد از قطارهای AC بودند. هم‌چنین در ۲ قطار DC مورد بررسی در خط ۲ و هم‌چنین یکی از ۲ مورد AC بررسی شده در همین خط مترو ، محور غالب در جهت y قرار داشت. محور غالب در یکی از ۳ قطار بررسی شده در خط ۴ محور x بود.

تعداد محورهای غالب در محل نشیمن‌گاه برای شاخص VDV نیز مشابه همان وضعیت rms بود. یعنی ۷ قطار در محور z، ۳ قطار در محور y و ۱ قطار نیز در محور x، همان قطارهایی بودند که شتاب موثر غالبی در همین محورها داشتند. محور غالب در محل پشتی صندلی در ۵ مورد محور Z ، در ۲ مورد از خط ۲ در مورد محور Y و در ۴ مورد محور X بود که ۳ مورد از این موارد اخیر

جدول۴. نتایج VDV در محل‌ها و مدت زمان‌های مختلف مواجهه احتمالی

کد	خط	نوع قطار	VDV سطح صندلی				VDV پشتی صندلی				VDV کف کابین				VDV کل در ... دقیقه		
			X	y	Z	r.s.q	X	y	Z	r.s.q	x	y	z	r.s.q	۲۰	۳۰	۱۵۰
۱	۱	AC	۲/۴۵	۳/۲۳	**۵/۳۲**	**۵/۵۴**	۲/۷۸	۲/۴۷	**۵/۱۰**	۲/۵۸	۱/۹۷	۳/۹۴	**۵/۶۹**	۲/۲۹	۵/۶۴	۶/۲۵	۹/۳۴
۲	۱	AC	۱/۸۶	۳/۱۸	**۸/۳۴**	**۸/۳۸**	۱/۳۹	۲/۳۹	**۶/۷۳**	۲/۷۴	۲/۸۶	۴/۳۰	**۴/۷۴**	۱/۹۵	۸/۴۱	۹/۳۱	۱۳/۹۰
۳	۱	DC	۳/۰۱	۳/۶۵	**۶/۰۵**	**۶/۳۳**	**۴/۰۹**	۳/۰۸	۲/۳۹	۳/۳۱	۳/۰۹	۲/۵۰	**۶/۲۲**	۲/۴۹	۶/۴۸	۷/۱۷	۱۰/۷۰
۴	۱	DC	۴/۷۱	۲/۰۷	**۶/۲۱**	**۶/۶۹**	۳/۷۹	۲/۱۸	**۴/۵۴**	۳/۱۴	۲/۴۲	۲/۷۸	**۵/۲۴**	۲/۱۰	۶/۷۸	۷/۵۱	۱۱/۲۰
۵	۲	AC	۲/۵۰	**۳/۵۰**	۳/۰۳	**۴/۰۷**	۲/۶۱	۱/۷۲	**۲/۸۳**	۲/۱۴	۲/۵۳	**۳/۶۴**	۱/۵۱	۰/۹۹	۴/۱۵	۴/۵۹	۶/۸۶
۶	۲	DC	۲/۶۳	**۳/۸۶**	۱/۰۸	**۴/۰۶**	۱/۷۸	**۴/۱۰**	۱/۲۲	۲/۱۶	۳/۰۷	۲/۲۷	**۷/۹۳**	۳/۱۸	۴/۴۶	۴/۹۳	۷/۳۷
۷	۲	DC	۴/۴۰	**۵/۷۹**	۰/۷۰	**۶/۲۲**	۲/۹۵	**۴/۸۵**	۰/۸۶	۲/۸۵	۳/۴۳	۲/۴۱	**۴/۳۴**	۱/۷۷	۶/۳۰	۶/۹۷	۱۰/۴۰
۸	۲	AC	۲/۸۴	۳/۸۵	**۵/۴۷**	**۵/۸۶**	**۳/۰۲**	۲/۶۶	۲/۹۱	۲/۵۰	۳/۱۶	۲/۵۴	**۴/۹۱**	۱/۹۸	۵/۹۳	۶/۵۶	۹/۸۱
۹	۴	AC	**۳/۰۷**	۲/۵۰	۲/۴۳	**۳/۵۷**	**۲/۲۰**	۲/۰۲	۱/۰۲	۱/۸۱	۳/۱۷	۳/۰۰	**۷/۱۰**	۲/۸۵	۳/۹۳	۴/۳۵	۶/۵۱
۱۰	۴	AC	۳/۷۴	۲/۲۱	**۵/۱۷**	**۵/۵۳**	۳/۸۲	۲/۳۶	**۴/۶۳**	۳/۱۷	۲/۸۱	۳/۳۱	**۳/۳۶**	۱/۴۱	۵/۶۸	۶/۲۸	۹/۳۹
۱۱	۴	AC	۳/۶۷	۴/۲۰	**۵/۵۴**	**۶/۱۵**	**۳/۳۴**	۲/۹۵	۲/۱۵	۲/۷۴	۳/۵۱	**۵/۰۲**	۳/۰۱	۱/۵۱	۶/۲۲	۶/۸۸	۱۰/۳۰
میانگین			۳/۱۷	۳/۴۶	۴/۴۹	۵/۶۷	۲/۸۹	۲/۸۰	۳/۱۲	۲/۶۵	۲/۹۱	۳/۲۵	۴/۹۱	۲/۰۴	۵/۸۲	۶/۴۴	۹/۶۳
انحراف معیار			۰/۸۷	۱/۰۴	۲/۳۶	۱/۳۸	۰/۸۶	۰/۹۳	۱/۹۰	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۸۹	۱/۸۵	۰/۶۴	۱/۲۹	۱/۴۳	۲/۱۴

مربوط به قطارهای AC و یکی مربوط به قطارهای DC بود.

میانگین مقادیر عامل قله در سطح صندلی در محورهای x،y و z به ترتیب برابر با ۵/۸ ، ۸/۴ و ۸/۲ و میانگین این مقادیر در محل پاها به همان ترتیب برابر با ۱۱، ۸/۷۶ و ۱۰/۶، هم‌چنین در محل پشتی صندلی نیز به ترتیب برابر با ۷/۸، ۸/۴ و ۱۰/۸ بود، که مقادیر متوسطی در ارتباط با این شاخص است و به طور کلی بیان می‌کند که بهتر است از شاخص VDV نیز جهت ارزیابی ارتعاش استفاده گردد.

بالاترین مقدار عامل قله در محل پاها در محورهای x و z در خط ۱ و محور x در خط ۴ برابر با ۱۲ و پایین ترین مقدار در محور y در خط ۴ برابر با ۵/۳ بود. بیش‌ترین مقدار عاملقله در سطح نشیمن‌گاه مربوط به محور y در خط ۲ بود که دارای مقدار حداکثری برابر با ۱۶ در نمونه ۸ بود.

بالاترین میانگین VDV اندازه‌گیری شده در سطح صندلی مربوط به محور z در خط ۱ و در نمونه ۲ برابر با ۸/۳۴ و پایین ترین مقدار ارتعاش نیز مربوط به همین نمونه در محور y و برابر با ۱/۸۶ بود. هم‌چنین بالاترین میانگین VDV اندازه‌گیری شده در محل پاها مربوط به همان محور z نمونه ۶ در خط ۲ در یک قطار DC و برابر با ۷/۹۳ و پایین ترین مقدار دوز ارتعاش نیز مربوط به قطاری از نوع AC درخط ۱ و در محور x برابر با ۱/۹۷ بود.

در قسمت پشتی صندلی بیش‌ترین مقدار VDV مربوط به محورz نمونه ۲ در خط ۱ و کم‌ترین آن مربوط به نمونه ۷ در محور z در خط ۲ بود.

میانگین مقادیر شتاب rms ترکیب شده در سطح صندلی در قطارهای نوع AC و DC به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۰/۹۹ m/s^2 و میانگین VDV به همین ترتیب برابر با ۵/۵۹ و ۵/۸۲ در زمان اندازه‌گیری شده بود. بالاترین مقدار rms در محل پاها در محورها مربوط به محور z برابر با ۰/۸۸ در قطار DC نمونه ۳ مربوط به خط ۱ و کم‌ترین

مقدار نیز مربوط به نمونه ۴ در همین خط و در محور x برابر با ۰/۲۷ بود. بیش‌ترین میانگین در محور z در قطارهای DC برابر با ۰/۵۸ و کم‌ترین میانگین نیز در محور x قطارهای AC برابر با ۰/۳۷ به‌دست آمد. هم‌چنین در سطح صندلی بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین VDV محورها به ترتیب در محور z قطارهای AC برابر با ۵/۰۴ و محور x همین نوع قطار برابر با ۲/۸۸ بود.

در محل پاها بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین rms در محورها نیز به ترتیب برابر با ۰/۷۶ مربوط به محور z در قطارهای نوع DC و ۰/۳۶ در همین قطارها بود. بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین VDV در محورها نیز به ترتیب برابر با ۵/۹۳ مربوط به محور z در قطارهای نوع DC و ۲/۸۶ مربوط به محور x در قطارهای نوع AC بود. از طرفی بیش‌ترین مقدار VDV در محل قرار گیری پاها مربوط به محور z قطار DC نمونه ۶ برابر با ۷/۹۳ و کم‌ترین مقدار مربوط به همین محور در قطار AC شماره ۱۰ برابر با ۳/۳۶ بود.

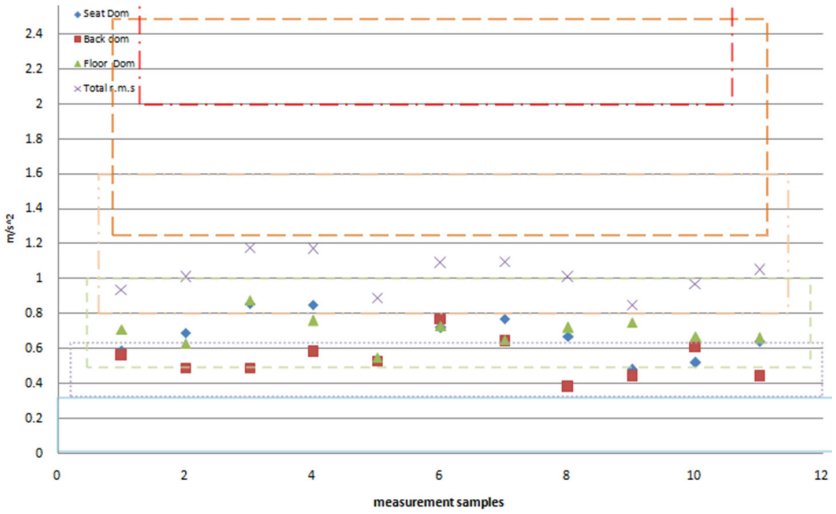
بحث و نتیجه گیری

در شرایطی خاص ممکن است به علت به وجود آمدن ناراحتی غیر قابل پذیرش، یک وضعیت ارتعاشی مورد توجه قرار گیرد. در حالی که ممکن است همان ارتعاش در وضعیتی دیگر به عنوان یک ارتعاش مطلوب یا مهیج طبقه بندی شود. مواجهه با شتاب زودگذر در محورهای جانبی، یکی از مشخصه‌های سوارش در سیستم‌های ریلی مرسوم است. طبق نظر ISO2631-4 تاثیرات حرکات طولی و عرضی می‌تواند برای مسافرین و خدمه سیستم‌های حمل و نقل ریلی در وضعیت نشسته بسیار قلمداد شود. هم‌چنین برخی از سیگنال‌های شتاب ممکن است به طراحی هندسی خطوط ریلی نیز مرتبط باشد. دامنه بالای شتاب در برخی از شرایط ممکن است به سبب سرعت زیاد قطار، سن قطار و نیاز به انجام تعمیرات در آن‌ها باشد. [5, 10, 11]

در برخی از شرایط، نتایج محاسبه شده در سطح صندلی بیش‌تر از مقدار ارتعاش اندازه‌گیری شده اولیه در کف کابین است که می‌توان نتیجه گرفت صندلی تحت تاثیر برخی عوامل به جای این‌که به عنوان کاهنده و میراکننده میزان ارتعاش عمل نماید سبب تقویت سیگنال ارتعاشی شده است. EU Directive 2002/44/CE برای هر دو بخش ارتعاش انسانی منتقله از دست و بازو و تمام بدن حدود مجازی را با توجه به ریسک‌های بهداشتی تعیین نموده است اما آسایش مسافرین را تامین نمی‌کند.

در محیط‌های بسیاری مطالعات متعددی در ارتباط با ارزیابی ارتعاش با توجه به اثرات بهداشتی خصوصاً در محور z انجام گرفته است، اما مطالعات اندکی روی ارزیابی ارتعاش با توجه به معیارهای آسایشی صورت گرفته است و عمدتاً نتایج موجود مقالات در این ارتباط با عدم قطعیت همراه است. از طرفی متاسفانه در بسیاری از مقالات – حتی مقالات منتشر شده در سال‌های اخیر - به اشتباه ارزیابی آسایش مسافرین وسایل حمل و نقل با استفاده از معیارهای بهداشتی انجام گرفته است و تاسف بیش‌تر آن‌که با حدود مجاز ارایه شده جهت معیارهای بهداشتی در شیفت کاری معمول روزانه نیز مقایسه شده اند که این موضوع خصوصا هنگامی‌که مسافرت در طی یک مدت زمان کوتاه انجام می‌گیرد و به طور مکرر صورت نمی‌پذیرد، کاملاً اشتباه است. عوامل متعددی در تعیین و

نمودار ۱. مقادیر محاسبه شده شتاب در محور غالب سطح نشیمن‌گاه، پشتی صندلی، پاها و شتاب کل محل‌های مواجهه همراه با محدوده‌های آسایشی مورد نظر استاندارد ISO 2631-1



تصمیم گیری درباره این‌که چه میزان از ناراحتی ممکن است قابل ملاحظه و یا قابل تحمل باشد، موثر هستند.

تداخل با فعالیت‌های معمولی روزمره (مثل مطالعه کردن، نوشتن و نوشیدن) به علت ارتعاش گاهی اوقات ممکن است به عنوان یک دلیل عدم آسایش مورد توجه قرار گیرد. این اثرات اغلب وابستگی زیادی به جزییات (مانند سطح حمایت کننده مورد استفاده برای نوشتن - سطحی که بر روی آن می‌نویسیم- و ظرفی که برای نوشیدن به کار می‌رود) دارند.

میانگین مقدار محاسبه شده شتاب rms کل اندازه‌گیری‌ها، زمانی که روش توصیه شده استاندارد ISO 2631-1 به‌کار گرفته شد در مسافر نشسته برابر با ۱/۰۲ m/s^2 بود که این مقدار در روش ارزیابی آسایش ارایه شده ISO 2631 در سطح چهارم تقسیم بندی یعنی در دسته ناخوشایند قرار می‌گیرد. البته زمانی که فقط ارتعاش سطح نشیمن‌گاه مورد نظر باشد، برابر با ۰/۸۹ m/s^2 بود که این مقدار اخیر در سطح سوم و چهارم در نوسان است، یعنی هم می‌تواند در سطح سوم،نسبتاً ناخوشایند، قرار گیرد و هم می‌تواند در دسته ناخوشایند قرار داده شود. قرار گرفتن در هر یک از سطوح مذکور ممکن است علاوه بر میزان ارتعاش تمام بدنی که فرد با آن مواجهه دارد، به عوامل دیگری که در بخش‌های پیشین مقاله ذکر شد وابسته باشد، بنابراین در شرایطی که محیط دارای شرایط مناسبی است می‌توان میزان مواجهه در این وضعیت را در دسته سوم و زمانی که محیط مذکور علاوه بر ارتعاش دارای عوامل دیگر موثر بر آسایش نیز باشد، می‌توان آن‌را در سطح چهارم تقسیم بندی در نظر گرفت. مقادیر میانگین محاسبه شده rms سطح صندلی در محورهای y، z و x به ترتیب با ۰/۵۷ ، ۰/۵ و ۰/۴ رو به کاهش است که اگر طبق توصیه کلی استاندارد ISO 2631 محور غالب معیار ارزیابی باشد، زمانی که ضرایب اعمال نشود، شرایط موجود در سطح دوم، کمی‌ناخوشایند ، قرار می‌گیرد. مقادیر میانگین شتاب rms محاسبه شده مسافرین در قطارهای DC برابر با ۱/۱۳۵ و در قطارهای AC

برابر با ۰/۹۶ m/s^2 بود که در این شرایط قطارهای نوع DC با قطعیت در سطح ریسک ۴ قرار گرفته و قطارهای AC نیز با توجه به دیگر شرایط می‌توان در سطوح ۳ یا ۴ قرار می‌گیرد. هرچند که با توجه به شرایط محیطی تقریباً مناسب مترو تهران می‌توان قطارهای AC را نیز در شرایط معمول در سطح سوم قرار داد. مقادیر میانگین محاسبه شده rms به ترتیب در خطوط ۲، ۱ و ۴ دارای بالاترین مقدار بود البته مقادیر هر سه خط در سطح ۴، ناخوشایند، قرار می‌گرفت. هم‌چنین نتایج نهایی محاسبه شده در نمودار ۱ بر روی حدود تعیین شده آسایش توسط ISO 2631-1 نشان داده شده است. در این نمودار محورهای غالب در هر سه محل بررسی شده مواجهه مسافر(پاها، پشتی و نشیمن‌گاه) بدون اعمال ضرایب محورها، همراه با مقدار ریشه مجموع مربعات برآیند هر سه محل مطابق روش پیشنهادی ISO2631-1، بر روی مرزهای مشخص شده سطوح آسایشی به روشنی نشان داده شده است.

همان‌طور که از نمودار نیز می‌توان فهمید محور غالب به طور کلی در پشتی صندلی، نشیمن‌گاه و محدوده قرار گیری پاها رو به افزایش است و تقریباً تمامی‌موارد مذکور در هر قطار مقادیری پایین تر از شتاب موثر کل محاسبه شده برای همان قطار می‌باشد. بنابراین بر اساس نتایج این مقاله نیز می‌توان استنباط نمود که استفاده از ترکیب محورها در ارزیابی ارتعاش انسانی با احتیاط بیش‌تری مورد توجه قرار می‌گیرد.

میانگین مقادیر محاسبه شده محورها نشان داد که محور z به ترتیب با ۰/۵۷ و ۰/۶۴ m/s^2 در سطح نشیمن‌گاه و محدوده قرار گیری پاها محور غالب و محور x در پشتی صندلی با مقدار ۰/۴۴ m/s^2 محور غالب بود. همان‌طور که عنوان شد در صورتی که این مقادیر ملاک ارزیابی باشند، در هر سه محل اندازه‌گیری با کمی‌اغماض نسبت به پاها در سطح کمی‌ناخوشایند قرار می‌گیرند.

در مطالعه ای که توسط ازره و همکاران بر روی رانندگان شاغل در مترو تهران انجام گرفته است، نیز محور غالب در قطارهای مورد بررسی که تعدادی از آن‌ها همین قطارهای مورد بررسی در این مطالعه بودند، عمدتاً مقادیر محور غالب در محور z و سپس بیش‌ترین محور غالب محور y بود که نتایج آن در مطالعه حاضر نیز در نتایج سطح نشیمن‌گاه صندلی و در وضعیت پاها این موضوع را تایید می‌کند. غالب بودن محور z سطح صندلی و کف در مطالعاتی دیگر که بر روی وسایل حمل و نقل ریلی انجام گرفته است نیز گزارش شده است. البته عموماً محور غالب در پشتی صندلی محور x است و به همین سبب است که در ارزیابی اثرات بهداشتی در اکثر استانداردها اندازه‌گیری محور پشتی صندلی نیز علاوه بر اندازه‌گیری محورهای اصلی در سطح صندلی توصیه گردیده است.

یکی از معیارهایی که در استاندارد ISO 2631 استفاده از روش VDV را به عنوان روش ثانویه همراه با روش rms جهت ارزیابی ارتعاش توصیه می‌کند، این است که عامل قله بیش‌تر از ۹ باشد که در مطالعه حاضر در ۷ مورد در سطح صندلی، در ۱۰ مورد در محل قرار گیری پاها و در ۹ مورد در پشتی صندلی حداقل در یکی از محورها عاملقله بیش‌تر از ۹ بوده است. البته در استاندارد BS 6841 این مقدار بحرانی برابر با ۶ توصیه شده و در مطالعه ای دیگر در سال‌های اخیر این مقدار برابر با ۴/۵ عنوان شده است . [15 ,12] [18]

به هر حال در ارزیابی با استفاده از روش VDV، به سبب این‌که مقیاسی با استفاده از این شاخص

برای ارزیابی آسایش توسط هیچ سازمانی ارایه نشده است، بنابراین فقط از نتایج حاصله می‌توان در مقایسه با نتایج VDV در محیط‌های مشابه استفاده نمود. مقدار VDV کل برایند محورها در مدت زمان اندازه‌گیری برابر با ۵/۸۲ $m/s^{1.75}$ بود. این مقدار در مدت زمان در نظر گرفته شده برای یک مسیر یک طرفه در کوتاهترین خط مترو تهران برابر با ۶/۴۴ بود. میانگین مقادیر VDV در مدت زمان یک مسیر رفت و برگشت کامل در خط ۱ مترو تهران ، حدود ۱۵۰ دقیقه ، برابر با ۹/۶۳ محاسبه شد . مقادیر اخیر در مقایسه با مقادیر محاسبه شده در مطالعه Ramasamy Narayanamoorthy و همکارانش در قطارهای بررسی شده درتهران بیش‌تر است و در مقایسه با مطالعه Manal El Sayed و همکارانش در مترو قاهره نسبتاً کم‌تر می‌باشد. [5, 19]

ارزیابی مقادیر شتاب rms با استفاده از معیارهای بهداشتی ارایه شده ISO 2631 به‌طور کلی باید زمانی انجام گیرد که مقرر است ریسک صدمات بهداشتی برآورد شود و در شرایطی صحیح است که مواجهه مسافرین به صورت مداوم و در طول هفته عموماً برای چند سال اتفاق بیفتد. بنابراین اگر مواجهه مسافرین به صورت مداوم انجام نگیرد، استفاده از این معیار اصولاً اقدامی‌صحیح نیست. البته لازم به ذکر است که این میزان مواجهه در مسافرینی که به واسطه شغل‌شان نیز در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند می‌تواند مهم باشد و در بررسی شغلی آن‌ها مقادیر مواجهه در این مطالعه نیز مد نظر قرار گیرد. البته زمانی که ارزیابی اثرات بهداشتی مورد نظر باشد، اندازه‌گیری تمامی‌محل‌های بررسی شده در این مطالعه توصیه نشده است و هم‌چنین روش کار، فیلترهای توزین، ضرایب اعمالی و حدود مواجهه پیشنهاد شده مختلف، نتایج متفاوت تری نسبت به این نتایج را بدست خواهد داد.

نهایتاً می‌توان وضعیت مسافرین مترو تهران را به‌طور کلی در بررسی آسایش ناشی از مواجهه با ارتعاش تمام بدن در سطح چهارم یعنی ناخوشایند در نظر گرفت. هر چند که محورهای غالب در محل‌های سه گانه بررسی شده عموماً در سطح سوم یعنی نسبتاً ناخوشایند قرار داشتند. به عنوان یک قاعده کلی برای محافظت موثر در مواجهه با ارتعاشات انسانی باید از ترکیبی از اقدامات مختلف مانند، بهبود سیستم تعلیق صندلی و استفاده از وسایل حمل و نقل روزآمد و کاراتر برای بهبود وضعیت آسایش مسافرینی که از مترو استفاده میکنند، به‌کار رود.[20]

انتظار یا توقع از راحتی و تحمل آزردگی در وسایل حمل و نقل در مقایسه با ساختمان‌های تجاری یا مسکونی کاملا متفاوت هستند. در ارزیابی دقیق قابلیت پذیرش ارتعاش و تدوین حدود مجاز ارتعاش، می‌توان از دانش موجود در ارتباط با عوامل متعدد بهره جست. هم‌چنین توصیه می‌شود که با طراحی مطالعات آینده در این زمینه جهت تهیه مقادیر لازم برای تعیین شاخصی دیگر مانند VDV که به شوک‌های سیگنال ارتعاشی حساسیت بیش‌تری داشته باشد، به جمع آوری اطلاعات مفید و ضروری پرداخته شود. در صورتی که مقادیر VDV با توجه به آسایش نیز با روشنی ارایه شود، از قضاوت اشتباه با استفاده از این شاخص جلوگیری خواهد شد.

REFERENCES

[1]. Ismail, A., et al., Whole Body Vibration Exposure to Train Passenger. American Journal of Applied Sciences, 2010. 7(3): p. 352.

[2]. Hostens, I., et al., A study of vibration characteristics on a luxury wheelchair and a new prototype wheelchair. Journal of sound and vibration, 2003. 266(3): p. 443-452.

[3]. Griffin, M., Handbook of human vibration. Academic, London, 1990.

[4]. Nahvi, H., M.H. Fouladi, and M.J.M. Nor, Evaluation of whole-body vibration and ride comfort in a passenger car. International Journal of Acoustics and Vibration, 2009. 14(3): p. 143-149.

[5]. El Sayed, M., S. Habashy, and M. El Adawy, Evaluation of Whole-Body-Vibration Exposure to Cairo Subway (Metro) Passengers. International Journal of Computer Applications, 2012. 55(8): p. 7-15.

[6]. Iov J.H. Tiemessen, C.T.J.H., Monique H.W. Frings-Dresen Two way assessment of other physical work demands while measuring the whole body vibration magnitude. journal of sound and vibration, 2008. 310(2008): p. 1080-1092.

[7]. Mansfield, N.J., Human response to vibration. 2005.

[8]. South, T., Managing noise and vibration at work. 2013: Routledge.

[9]. Nastac, S. and M. Picu, Evaluating methods of whole-body-vibration exposure in trains. Ann."Dunarea De Jos" Univ. Galati, Fasc. XIV Mech. Eng, 2010: p. 55-60.

[10]. El Sayed, M., S. Habashy, And M. El Adawy, Whole-Body-Vibration Measurement And Assessment For Cairo Subway (Metro), Car And Bus Passengers. Development (Ijecierd), 2013. 3(1): P. 185-202.

[11]. ISO 2631-4, 2001. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects ofvibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems. International Organization for Standardization (ISO).

[12]. International Organization for Standardization, 2001. ISO 2631-4 Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed- guideway transport systems.

[13]. European Committee for Standardization. Mechanical vibration- European Directive 2002/44/EC of The European parliament. Guide to good practice on Whole Body Vibration – Non-binding guide to good practice with to implementation of directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents.(vibrations). 2003.

[14]. Fu, J.S., et al., Evaluation of Noise Level, Whole-Body Vibration, and Air Quality Inside Cabs of Heavy-Duty Diesel Vehicles. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010. 2194(1): p. 29-36.

[15]. Zhao, X. and C. Schindler, 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.

[16]. Paddan, G. and M. Griffin, Evaluation of whole-body vibration in vehicles. Journal of sound and vibration, 2002. 253(1): p. 195-213.

[17]. Hinz, B., et al., Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seatwith and without backrest. Journal of sound and vibration, 2002. 253(1): 265-282.

[18]. British Standards Institution BS 6841, Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock, 1987.

[19]. Narayanamoorthy, R., et al. Determination of activity comfort in Swedish passenger trains. in Proceedings of 8th World Congress on Railway Research (WCRR 2008). 2008.

[20]. Harris, C.M., A.G. Piersol, and T.L. Paez, Harris' shock and vibration handbook. Vol. 5. 2002: McGraw-Hill New York.

The study of whole-body vibration effects on the passenger's comfort commuting in Tehran metro system

K. Azrah[1], R. Mirzaei[2], A.R. Sharifi[3], A. Solaimaniann[4*]

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

[2] Department of Occupational Health Engineering and Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

[3] Labor Inspector of Tehran Labor Office, Tehran, Iran

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

Abstract

Introduction: Whole-body vibration is one of the factors which may have adverse effects on the comfort of passengers and crew of rail transportation vehicles. In this study, the probable impacts of whole-body vibration were explored on the convenience of the passengers of Tehran metro.

Material and Method: Planning, measurement, and pre-analysis calculations were mainly done based on ISO guidelines No. 2631-1, 4. Moreover, measurements and calculations were done using SVAN 958 sound & vibration analysis and Microsoft Excel software, respectively.

Result: Average calculated RMS acceleration values on the levels of seat cushion, seat back, and legs were 0.57, 0.44, and 0.64 m/s2 on the dominant axes, and total r.m.s acceleration in all these three levels equaled to 1.02 with the standard deviation of 0.11 m/s2. Mean Vibration Dose Value (VDV) of total exposure in the minimum and maximum exposure durations were 6.44 and 9.63 m/s 1.75, respectively.

Conclusion: Calculated amounts of dominant axes were mainly ranked as "relatively unpleasant" in the convenience limits of ISO 2631-1, but the total calculated amount of exposure based on WRMS was at "unpleasant level". The measured VDV amounts were mostly on the z axis, as the dominant one.

Keywords: *Vibration, Whole Body Vibration, Passengers Comfort, Metro Vibration*

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