

ارزیابی اثرات بهداشتی مواجهه با ارتعاش تمام بدن مسافرین نشسته و ایستاده در مترو تهران

کیکاوس ازره^۱، رمضان میرزایی^۲، حامد بیگلری^۳، زهرا صفری^۴، علی خوانین^{۵*}

۱. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد

۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت و مرکز ارتقای سلامت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان

۳. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد

۴. دانش آموخته کارشناسی بهداشت حرفه‌ای، پژوهشگر علوم بهداشتی

۵. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

مترو یکی از رایج‌ترین وسایل حمل و نقل عمومی در سراسر دنیاست. دامنه بالای ارتعاش منتقل شده به بدن مسافرین در اکثر وسایل نقلیه ممکن است سبب بروز بیماری و عوارض و اثرات بهداشتی متعددی در انسان و به ویژه سبب بروز کمر درد گردد. در این مطالعه عوارض بهداشتی احتمالی ناشی از مواجهه مسافرین مترو تهران با استفاده از روش استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱ و با دستگاه ارتعاش‌سنج سه محوره ای‌وی‌ای‌ان ۹۵۸ هنگام فعالیت معمول روزمره خطوط مختلف مترو بررسی می‌شود. میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب در سه محور مختصات x، y و z به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۵ و ۰/۴ متر بر مجذور ثانیه در وضعیت نشسته و ۰/۶۴، ۰/۴۸ و ۰/۳۹ متر بر مجذور ثانیه در وضعیت ایستاده محاسبه شد. در حالت نشسته محور غالب در ۷ مورد از ۱۱ قطار مورد بررسی محور z بود. مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب در وضعیت نشسته مسافرین برابر با ۱/۱ متر بر مجذور ثانیه و در مسافرین ایستاده برابر با ۰/۹۱ متر بر مجذور ثانیه و مقدار دوز ارتعاش میانگین در وضعیت نشسته و ایستاده عموماً در محدوده ناحیه راهنمای احتیاط بهداشتی، اچ‌جی‌سی‌زی، و به ترتیب برابر با ۶/۷۲ و ۶/۴۸ متر بر توان ۱/۷۵ ثانیه در زمان اندازه‌گیری به‌دست آمد. عمده‌تاً میانگین مواجهات محاسبه شده براساس معادله B.۲ استاندارد ایزو ۲۶۳۱ که حدود محتاطانه‌تری را در مدت زمان‌های مواجهه کوتاه‌تر تعیین می‌کند، در مدت زمان ۳۰ دقیقه در محدوده پایین‌تر از حد پایین ناحیه راهنمای احتیاط بهداشتی و در مدت زمان ۱۵۰ دقیقه در محدوده ناحیه راهنمای احتیاط بهداشتی قرار داشتند. لذا خطر بهداشتی ناشی از مواجهه محتمل است. این میزان مواجهه در افرادی که به واسطه شغل‌شان نیز در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند، بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

کلید واژه‌ها: ارتعاش، مسافرین، وسایل نقلیه، مترو، ارتعاش تمام بدن

۱. مقدمه

پشت سر (استراحت‌دهنده سر و گردن) به بدن وارد می‌شود. انرژی ارتعاشی از طریق پاها، باسن، کمر و پشت و گاهی سر و گردن به بدن شخص وارد شده و نهایتاً بر راحتی و آسایش و بازده انجام درست فعالیت‌ها در حین سفر تأثیر می‌گذارد. 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 تأثیر قرار گیرد [۲-۴]. عوامل متعددی در انتقال ارتعاش و ورود آن به بدن مؤثر هستند. انتقال ارتعاش مرتبط با دینامیک سازه به بسامد و جهت حرکت ورودی و مشخصات صندلی در محل تماس بستگی دارد. ارتعاشات

ارتعاش به عنوان یک عامل آزارنده و مشهود در بسیاری از محیط‌های شغلی و غیرشغلی به عنوان یک مشکل بهداشتی مطرح است [۱]. تقریباً تمامی مسافرین وسایل نقلیه، بدون در نظر گرفتن نوع وسیله، در حین سفر با نوعی از ارتعاش موسوم به ارتعاش تمام بدن مواجه هستند که انرژی منتقل شده در این نوع ارتعاش از طریق نقاط مختلف تماس بدن با سطوح مرتعشی مانند سطح نشیمن‌گاه صندلی، پشتی صندلی، کف کابین و گاهی

* نویسنده پاسخگو: khavanin@modares.ac.ir

وظایف دستی و مهارتی، کوتاهی تنفس و تأثیر بر مکالمه تجربه خواهد کرد. مواجهه طولانی مدت با ارتعاش تمام بدن 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 نواحی معده‌ای روده‌ای و ادراری تناسلی شود [۳ و ۱۳].

با توجه به اینکه مطالعات انجام شده عمدتاً بر روی شاغلین خطوط ریلی صورت گرفته‌اند و مطالعات اندکی در ارتباط با میزان مواجهه مسافری با ارتعاش تمام بدن خصوصاً در مسافری ایستاده انجام شده است، بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن و شوک‌های تکراری مسافرینی که از مترو جهت مسافرت در داخل و حومه شهر تهران در هر دو وضعیت نشسته و ایستاده استفاده می‌کنند، انجام گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. محیط مطالعه و روش اندازه‌گیری

از مطالعات متعدد در سالیان متمادی مشخص شده است که طیف بسامدی حائز اهمیت در مواجهه با ارتعاش تمام بدن از ۰/۵ تا ۸۰ هرتز می‌باشد [۶]. امروزه استانداردهای مختلف ملی و بین‌المللی نیز بر پایه همین محدوده بسامدی برای ارزیابی ارتعاش تمام بدن پیشنهاد می‌دهند. با توجه به این واقعیت که تأثیر حرکات طولی و عرضی در مسافری و خدمه می‌تواند در وضعیت‌های ایستاده و نشسته با هم متفاوت باشد (وضعیت نشسته مهم‌تر است)، در این مطالعه اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش مسافری در وضعیت‌های نشسته و ایستاده مسافری انجام شد. با عنایت به اینکه استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱^۱ با توجه به شرایط کلی، روش عمومی اندازه‌گیری ارتعاش سطح صندلی را جهت ارزیابی ارتعاش در افراد نشسته پیشنهاد نموده است. نصب شتاب‌سنج‌ها طبق رهنمود استانداردهای ایزو ۲۶۳۱-۱ و ایزو ۱۰۳۲۶-۱^۲ انجام گرفت [۷ و ۱۴-۱۵]. اندازه‌گیری توسط شتاب‌سنج سه محوره به طور هم‌زمان در اندازه‌گیری‌ها در هر سه محور بر روی سطح نشیمن‌گاه

تا بسامد ۱۲ هرتز بر همه اندام‌های بدن اثر می‌گذارد اما ارتعاشات با بسامد بالاتر از این حد عموماً اثرات موضعی دارند. راحتی استفاده از یک وسیله نقلیه جهت فراهم‌سازی رضایت مسافری ضروری است به همین سبب سازندگان وسایل نقلیه به طور مداوم در جستجوی روش‌های بهبود آسایش ارتعاشی در وسایل‌شان هستند [۵ و ۶].

عوامل بسیاری مانند عوامل محیطی تراز صدا، تحریکات بصری، دما و رطوبت بر آسایش مسافری در سامانه‌های حمل و نقل ریلی مؤثر هستند. علاوه بر این‌ها از دیگر عوامل تأثیرگذار می‌توان به تأثیر ارتعاش بر روی انجام فعالیت‌های مختلف در حین سفر، ساختمان فیزیکی واگن، کیفیت زیرسازی ریل و همچنین عوامل با حساسیت کم‌تر از قبیل انتظار و توقع مسافر (هزینه پرداختی برای بلیط و یا نوع و درجه قطار) تحت تأثیر قرار گیرد [۲ و ۷-۱۰].

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 خطر بهداشتی در انجام فعالیت سامانه‌های روانی- حرکتی، فیزیولوژیکی و روان‌شناختی نیز وجود دارند. ارتعاش هم‌چنین می‌تواند سبب تاری دید، از دست رفتن تعادل و کاهش تمرکز گردد. در برخی شرایط بسامدی و ترازهای ارتعاشی می‌توان صدمات دائمی به اندام‌های داخلی را ملاحظه کرد. بعد از مواجهه مداوم روزانه طی سالیان کاری ارتعاش تمام بدن ممکن است سبب اختلالات بهداشتی بسیار مؤثر بر کل بدن و اندام‌های مختلف شامل صدمات ثابت به اندام‌های داخلی، عضلات، مفاصل و ساختار استخوانی شود. تحقیقات نشان می‌دهند در کسانی که با ارتعاش تمام بدن مواجهه هستند در مقایسه با افرادی که تحت همان شرایط ولی بدون مواجهه ارتعاشی فعالیت می‌کنند، اختلالات کمر شیوع و شدت بیش‌تری دارد [۲-۳ و ۱۱-۱۲].

در مواجهه کوتاه مدت با ارتعاشاتی در محدوده ۲ تا ۲۰ هرتز با شتاب ۱ متر بر مجذور ثانیه، انسان عوارض متفاوتی هم‌چون درد شکمی، احساس عمومی عدم آسایش، شامل سرگیجه، درد قفسه سینه، کاهش تعادل و انقباضات ماهیچه‌ای همراه با کاهش بازده صحت انجام

^۱ ISO 2631-1

^۲ ISO 10326-1

شدند. مطالعه بر روی ۱۱ قطار مختلف در ۳ خط مترو تهران با زیرساخت و سامانه ریلی مشابه، با زمان اندازه‌گیری ثابت ۲۰ دقیقه انجام شد. این قطارها با هماهنگی با مدیریت شرکت بهره‌برداری مترو تهران به صورت تصادفی از خطوط مختلف انتخاب شدند و اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن با در نظر گرفتن معیارهای آسایشی بر روی صندلی مسافر و در کف کابین در سه جهت ذکر شده در استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱ انجام شد. قطارهای مورد اندازه‌گیری در خطوط مورد بررسی ۲، ۴ و ۱ از دو نوع ای‌سی و دی‌سی و سرعت متوسط حین حرکت قطارها ۶۷ کیلومتر بر ساعت با انحراف معیار ۵/۳ کیلومتر در تمامی خطوط محاسبه شد. طول مسافرت افراد ممکن است از چند دقیقه (حدود ۳۰ دقیقه در یک مسیر یک طرفه در خط ۴ مترو) تا حدود ۲ تا ۲/۵ ساعت طی یک روز در یک مسیر رفت و برگشت با استفاده از قطارهای مختلف مترو تهران باشد. در ارتباط با مدت زمان‌های اندازه‌گیری، استانداردها توصیه می‌کنند، در هر جا که ممکن است، اندازه‌گیری بایستی حداقل در طول زمانی معادل ۲۰ دقیقه انجام گردد. همچنین در جایی که امکان ندارد، زمان اندازه‌گیری بایستی حداقل ۳ دقیقه برای ارتعاش تمام بدن در هر محور به طول بیانجامد. حداقل مدت زمان اندازه‌گیری در این مطالعه ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد [۷ و ۱۶]. تجزیه و تحلیل و محاسبه ارتعاش تمام بدن در این مطالعه طبق دستورالعمل اجرایی استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱ انجام شد. مقدار ریشه میانگین مربعات شتاب، مقدار دوز ارتعاش (وی‌دی‌وی)^۵ و نسبت بدون بعد ضریب قله (سی‌اِف)^۶ که از مقایسه مقادیر شتاب حداکثر و شتاب ریشه میانگین مربعات بدست می‌آید، به ترتیب براساس معادله ۱، ریشه میانگین مربعات شتاب وزن‌یافته بسامدی، معادله ۲ مقدار دوز ارتعاشی و معادله ۳ ضریب قله تعیین گردید [۱۵ و ۲۰]. جزئیات کامل در مستندات استانداردها ارائه شده‌اند.

$$a_{wr.m.s} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad \text{m/s}^2 \quad (1)$$

^۵ VDV; Vibration Dose Value^۶ CF; Crest Factor

صندلی مسافر نشسته و همچنین در کف کابین جهت مسافر ایستاده انجام گردید. در حین اندازه‌گیری به جهت عدم مداخله ویژگی‌های فردی مسافر در تمامی اندازه‌گیری‌ها از یک فرد ثابت برای هر دو وضعیت نشسته و ایستاده با وزن ۷۸ کیلوگرم و قد ۱۷۵ سانتی‌متر در تمامی قطارها و خطوط استفاده شد. شتاب‌ها در محوره‌های سه‌گانه بر روی کف کابین برای مسافر ایستاده و سطح نشیمن‌گاه صندلی برای مسافر نشسته، طبق توصیه‌های استانداردهای ایزو ۲۶۳۱-۱ اندازه‌گیری شد. به منظور جلوگیری از تأثیر حرکات اولیه مسافر بر روی علامت (سیگنال) ارتعاشی، بعد از این که شتاب‌سنج دستگاه کاملاً نصب و ثابت در محل مورد نظر قرار می‌گرفت، دستگاه اندازه‌گیری فعال می‌شد.

اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه ارتعاش‌سنج و تحلیل‌گر اِس‌وی‌اِی‌ان ۹۵۸ ساخت شرکت سوانتک^۱ با شتاب‌سنج سه محوره اِس‌وی‌اِی‌اِل^۲ (در محدوده بسامدی ۰/۵ تا ۳ کیلوهرتز) مطابق با استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱ و اِس‌اِی‌اِی جی ۱۰۱۳^۳ طراحی شده و درون یک محفظه لاستیکی با ضخامت ۱۲ میلی‌متر نصب گردیده است. کالیبراسیون دستگاه با استفاده از کالیبراتور ساخت شرکت مذکور قبل و بعد از انجام اندازه‌گیری‌ها انجام شد. هنگام اندازه‌گیری زمان آشکارسازی^۴ دستگاه بر روی ۱۰۰ میلی‌ثانیه قرارگرفت و صافی باند توزین بسامدی مورد استفاده برای اندازه‌گیری در محوره‌های x، y و z در هر دو وضعیت، به ترتیب w_k و w_d ، w_b بود. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری شتاب در سه جهت مختلف به صورت جداگانه و هم‌زمان می‌باشد. تعداد واگن‌ها در قطارهای مورد استفاده در زمان اندازه‌گیری هفت واگن بود و طول این واگن‌ها در قطارهای ای‌سی و دی‌سی به ترتیب برابر با ۱۹۰۰۰ و ۱۹۵۲۰ میلی‌متر و عرض واگن‌ها به ترتیب ۲۶۶۰ میلی‌متر هستند. در همه قطارهای مورد بررسی، نمونه‌ها در واگن میانی قطار و روی سطح صندلی ثابتی در محدوده مرکزی واگن برای مسافری نشسته و در محلی نزدیک به همین مکان برای مسافری ایستاده اندازه‌گیری

^۱ SVAN 958 (Svantek Co.)^۲ SV39A/L Triaxial accelerometer^۳ SAE j1013^۴ Detection Time

برای یک انتقال معمول روزانه می‌باشد. علاوه بر مقادیر مربوط به ۴ و ۸ ساعت، مقادیر استنباط شده در مدت زمان ۰/۵ و ۲/۵ ساعت مورد نظر در این مقاله نیز در جدول ۱ به ترتیب برای روش ریشه میانگین مربعات شتاب و روش اندازه‌گیری مقدار دوز ارتعاش براساس استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱ ارائه شده‌اند.

مقادیر حدود بالا و پایین شاخص مقدار دوز ارتعاش برای زمان‌های ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه مورد استفاده در این مطالعه پس از مشخص نمودن مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب از نمودار نواحی راهنمای هشدار بهداشتی (اچ‌جی‌سی‌زی) ^۱، برای همان مقادیر به صورت تقریبی در مدت زمان‌های مورد نظر با استفاده از معادله زیر به دست آمد:

$$eVDV = 1.4 \times a_{w rms} \times T^{0.75} \quad (4)$$

در این رابطه $a_{w rms}$ مقدار حدود بالا و پایین ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی، در مدت زمان مورد نظر و T مدت زمان مورد نظر بر حسب ثانیه هستند. لازم به توضیح است که مقادیر دوز ارتعاش بایستی به منظور بررسی اثرات بهداشتی ارتعاش تمام بدن در مدت زمان‌های مذکور از آن استفاده شود و برای ارزیابی آسایش نمی‌توان این مقادیر برآورد شده را بکار گرفت.

مواجهه با شتاب زودگذر در محورهای جانبی یکی از مشخصه‌های سوارش در سامانه‌های ریلی مرسوم است. طبق نظر ایزو ۲۶۳۱-۴ تأثیرات حرکات طولی و عرضی می‌توانند برای مسافری و خدمه سامانه‌های حمل و نقل ریلی در وضعیت نشسته بسیار مهم‌تر باشند. هم‌چنین برخی از علامت‌های (سیگنال‌های) شتاب ممکن است به طراحی هندسی خطوط ریلی نیز مرتبط باشند. دامنه بالای شتاب در برخی از شرایط ممکن است به سبب سرعت زیاد قطار، سن قطار و نیاز به انجام تعمیرات در آن‌ها باشد [۳، ۱۵ و ۲۲].

در برخی از شرایط، نتایج محاسبه شده در سطح صندلی بیش‌تر از مقدار ارتعاش در کف کابین هستند که می‌توان نتیجه گرفت که صندلی تحت تأثیر برخی عوامل به جای اینکه به عنوان کاهنده و میراکننده میزان ارتعاش عمل نماید، سبب تقویت علامت (سیگنال) ارتعاشی شده است.

$$VDV(m/s^{1/75}) = \sqrt[75]{\int_0^T [a_w(t)]^4 dt} \quad m/s^{1/75} \quad (2)$$

$$CF = \frac{a_w(t)_{max}}{a_w r.m.s} \quad (3)$$

در این معادلات $a_{w rms}$ ریشه میانگین مربعات شتاب وزن یافته بسامدی، T مدت زمان اندازه‌گیری و $a_w(t)$ شتاب وزن یافته بسامدی در زمان t و مقدار دوز ارتعاش، ریشه چهارم توان‌های چهارم علامت (سیگنال) شتاب ارتعاشی هستند.

- روش ارزیابی ارتعاش

معمولاً شاخص اولیه برای بررسی ارتعاش انسانی، شتاب ریشه میانگین مربعات ^۱ یا شتاب مؤثر است اما در برخی از شرایط مثلاً زمانی که ضریب قله بیش‌تر از ۹ باشد، ارزیابی پاسخ انسان بر ارتعاش با استفاده از ریشه میانگین مربعات شتاب وزن یافته بسامدی کافی نیست و سلامت انسان به طور معناداری می‌تواند توسط ضریب قله تحت تأثیر قرار بگیرد. بنابراین ارزیابی با استفاده از روش ریشه میانگین مربعات شتاب ممکن است سبب ناچیز پنداشته شدن تراز خطر شود. در این موارد استفاده از شاخص مقدار دوز ارتعاش توسط استاندارد توصیه شده است و با توجه به اینکه براساس معیار بهداشتی حدودی برای شاخص مقدار دوز ارتعاش ارائه شده است. مقادیر ارتعاش به دست آمده در یک محیط ممکن است علاوه بر مقایسه با حدود ارائه شده برای ۸ ساعت توسط سازمان‌های مختلف، با مقادیر به دست آمده در محیطی دیگر نیز مقایسه شوند.

حدود مجاز مواجهه اثرات بهداشتی که توسط همین استاندارد هم ارائه شده است، با استفاده از نمودار، یک ناحیه احتیاطی را ارائه می‌دهد که در بالای آن "ناحیه‌ی خطرها و اثرات بهداشتی محتمل" بوده و قسمت پایین آن وضعیتی است که اثرات بهداشتی به طور مشخص مشاهده نشده‌اند. در ناحیه هشدار، خطرات بالقوه بهداشتی نشان داده شده‌اند. حدود پایین و بالا برای روش ارزیابی براساس ریشه میانگین مربعات شتاب و با کمی اغماض تقریباً در محدوده ۴ تا ۸ ساعت مشابه با هم بوده و برای مدت زمان مواجهه ۸ ساعت به ترتیب برابر با ۰/۴۵ و ۰/۹ متر بر مجذور ثانیه هستند. جهت ارزیابی براساس روش اندازه‌گیری، مقدار دوز ارتعاش به ترتیب ۱۷ و ۸/۵ $m/s^{1/75}$

² HGCZ; Health Guidance Caution Zone

¹ Root Mean square acceleration

جدول ۱ حدود پایین و بالای ارائه شده براساس ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی در مدت زمان‌های مختلف برگرفته از ایزو ۲۶۳۱-۱.

شتاب ریشه میانگین مربعات، a_{rms}									
مدت زمان (ساعت)		۰٫۵		۲٫۵		۴		۸*	
حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد بالا	
استخراج از نمودار مربوط به معادله B.۱	۱٫۹	۳٫۴	۰٫۸۵	۱٫۶	۰٫۶۵	۱٫۲	۰٫۴۵	۰٫۸۵	
استخراج از نمودار مربوط به معادله B.۲	۱٫۱	۱٫۹	۰٫۷	۱٫۳	۰٫۶	۱٫۱	۰٫۵	۰٫۹	
مقدار دوز ارتعاش									
مدت زمان (ساعت)		۰٫۵		۲٫۵		۴		۸	
حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد بالا	
استخراج از نمودار مربوط به معادله B.۱	۱۷٫۳	۳۱	۱۱٫۶	۲۱٫۸	۱۰	۱۸٫۴	۸٫۲	۱۵٫۵	
استخراج از نمودار مربوط به معادله B.۲	۱۰	۱۷٫۳	۹٫۵۴	۱۷٫۷	۹٫۲	۱۶٫۸۵	۹٫۱	۱۶٫۴	
معادله B.۱:	$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2}$			معادله B.۲:			$a_{w1} \cdot T_1^{1/4} = a_{w2} \cdot T_2^{1/4}$		

* در مورد ۸ ساعت براساس روش ریشه میانگین مربعات با توجه به مشابهت زیاد دو معادله با هم در این نواحی، معمولاً حد پایین معادله B.۱ و حد بالا از معادله B.۲ در متون مختلف گزارش شده‌اند. لازم به ذکر است که مقادیر عمومی که برای ارزیابی با شاخص مقدار دوز ارتعاش در متون مختلف ارائه شده‌اند براساس همین نمودارها برای حدود بالا و پایین در مدت زمان شیفت معمول کاری به ترتیب برابر با ۸٫۵ و ۱۷ m/s^{۱/۷۵} است.

ریشه دوم مجموع مربعات شتاب‌ها مطابق معادله ۵ با استفاده از روش سازمان بین‌المللی استاندارد با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

$$a_{xyz} = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (5)$$

در این رابطه a_{xyz} ریشه مجموع مربعات وزن یافته بسامدی و a_{wx} ، a_{wy} ، a_{wz} : به ترتیب ریشه میانگین مربعات شتاب‌های وزن یافته در محورهای x، y و z و k_x ، k_y و k_z به ترتیب ضرایب مربوط به محورهای x و y برابر با ۱٫۴ و محور z برابر با ۱ در وضعیت نشسته می‌باشند و برای ترکیب کردن محورهای مختصات مقادیر دوز ارتعاش معادله ۶ استفاده شد.

$$VDV_{xyz} = \sqrt{k_x^4 VDV_x^4 + k_y^4 VDV_y^4 + k_z^4 VDV_z^4} \quad (6)$$

در این رابطه VDV_{xyz} دوز ارتعاش ترکیب شده و VDV_x ، VDV_y و VDV_z به ترتیب دوز ارتعاش در محورهای x، y و z و k_x ، k_y و k_z به ترتیب ضرایب مربوط به محورهای x و y برابر با ۱٫۴ و محور z برابر با ۱ می‌باشند. مقادیر دوز ارتعاش براساس توان چهارم میانگین شتاب وزن یافته مواجهه بوده و به گونه‌ای است که تأکید می‌نماید که مقادیر شتاب بزرگ‌تر نسبت به متوسط توان دوم محاسبات ریشه مجموع مربعات شتاب ارزش بیش‌تری دارند [۷-۸ و ۱۵]. مقدار دوز ارتعاش معادل در مدت

مؤسسه استاندارد اروپایی ای‌یو^۱ برای هر دو بخش ارتعاش انسانی منتقله از دست و بازو و تمام بدن حدود مجازی را با توجه به خطرهای بهداشتی تعیین نموده است. البته در این استاندارد به جای حدود بالا و پایین از واژگان حد عمل و حد مجاز استفاده شده است، که مشابهت زیادی به حدود ارایه شده توسط ایزو دارد [۱۳].

۳. نتایج

طبق توصیه ایزو ۲۶۳۱ نتایج حاصل از ارزیابی مطالعاتی مشابه با این مطالعه برای افرادی با تراز سلامت طبیعی قابل استفاده هستند. مقادیر شتاب مؤثر، ضریب قله، مقدار دوز ارتعاش اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه و شتاب قله سطح نشیمن‌گاه مسافری نشسته در قطارها و خطوط مختلف، طبق توصیه ایزو ۲۶۳۱-۱ در جدول ۲ و برای مسافری ایستاده در جدول ۳ ارایه شده است.

این مطالعه براساس توصیه بسیاری از استانداردها و مطالعات انجام‌شده در سالین اخیر به روش ترکیب محورها صورت گرفته است [۶ و ۱۷-۱۸]. در اندازه‌گیری ریشه میانگین مربعات که شتاب میانگین را در طول زمان اندازه‌گیری نشان می‌دهد، محورهای سه گانه با گرفتن

¹ EU Directive 2002/44/CE

جدول ۲ مقادیر شتاب مؤثر، ضریب قله، مقدار دوز ارتعاش اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه و شتاب قله سطح نشیمن‌گاه مسافری نشسته در خطوط و قطارهای مختلف.

زمان اندازه‌گیری	ریشه میانگین مربعات شتاب (m/s ²)						ضریب قله			مقدار دوز ارتعاش (m/s ^{1/75})						شتاب قله (m/s ²)		
	xyz	RSS	Z	y	X	Z	y	X	XYZ	RSS	Z	y	X	Z	y	X		
قطار	خط ۱	۰.۳۶	۰.۴۴	۰.۷۵	۰.۹۴	۱.۱۰	۸.۵	۸.۹	۹	۶.۴۸	۶.۴۸	۳.۰۳	۳.۰۱	۲.۶۸	۲.۶۸	۲.۶۸	۲.۶۸	۲.۶۸
	خط ۲	۰.۴۳	۰.۶۲	۰.۴۰	۰.۸۹	۱.۱۶	۳.۳	۱۱	۶.۹	۲.۵۷	۴.۲۵	۳.۰۹	۳.۰۹	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲
	خط ۳	۰.۴۴	۰.۴۴	۰.۵۴	۰.۸۳	۱.۰۳	۵.۵	۴.۳	۹.۱	۴.۳۸	۲.۹۷	۳.۴۹	۳.۴۹	۱.۲۷	۱.۲۷	۱.۲۷	۱.۲۷	۱.۲۷
ایستگاه	ای سی	۰.۲۷	۰.۴۶	۰.۵۴	۰.۸۴	۱.۰۲	۵	۸.۱	۷.۹	۳.۴۲	۲.۸۸	۲.۸۸	۲.۸۸	۱.۶	۱.۶	۱.۶	۱.۶	۱.۶
	دی سی	۰.۴۷	۰.۵۷	۰.۵۸	۰.۹۹	۱.۲۴	۷.۱	۸.۹	۸.۸	۳.۸۴	۳.۸۴	۳.۸۴	۳.۸۴	۲.۵۲	۲.۵۲	۲.۵۲	۲.۵۲	۲.۵۲
میانگین		۰.۴۰	۰.۵۰	۰.۵۷	۰.۸۹	۱.۱۰	۵.۸	۸.۴	۸.۲	۳.۴۶	۳.۱۳	۳.۱۳	۳.۱۳	۱.۹۴	۱.۹۴	۱.۹۴	۱.۹۴	۱.۹۴
انحراف معیار		۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۲۱	۰.۱۰	۰.۱۴	۳.۶	۴.۵	۴.۶	۲.۳۶	۱.۰۴	۰.۸۷	۰.۸۷	۲.۷۵	۲.۷۵	۲.۷۵	۲.۷۵	۲.۷۵

* RSS بدون اعمال ضرایب افقی و XYZ با اعمال ضرایب افقی.

جدول ۳ میانگین مقادیر شتاب مؤثر، ضریب قله، مقدار دوز ارتعاش اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه و شتاب قله در مسافری ایستاده در خطوط و قطارهای مختلف.

مدت زمان اندازه‌گیری	ریشه میانگین مربعات شتاب (m/s ²)						ضریب قله			مقدار دوز ارتعاش (m/s ^{1/75})						شتاب قله (m/s ²)		
	Z	y	X	RSS	Z	y	X	Z	y	X	RSS	Z	y	X	Z	y	X	
قطار	خط ۱	۰.۳۳	۰.۴۶	۰.۶۹	۰.۹۱	۱.۱۲	۱.۱۲	۱.۱۲	۱.۱۲	۲.۵۹	۳.۳۸	۳.۳۸	۳.۳۸	۱.۰۷	۱.۰۷	۱.۰۷	۱.۰۷	۱.۰۷
	خط ۲	۰.۴۳	۰.۴۳	۰.۶۵	۰.۹	۹.۸	۹.۶	۹.۸	۹.۹	۳.۰۵	۲.۷۲	۲.۷۲	۲.۷۲	۱.۰۳	۱.۰۳	۱.۰۳	۱.۰۳	۱.۰۳
	خط ۳	۰.۴۱	۰.۶	۰.۵۶	۰.۹۳	۱.۲	۵.۳	۱.۲	۹.۴	۳.۱۷	۳.۷۷	۳.۷۷	۳.۷۷	۱.۱۲	۱.۱۲	۱.۱۲	۱.۱۲	۱.۱۲
ایستگاه	ای سی	۰.۴	۰.۵۳	۰.۵۷	۰.۹	۱.۰	۱.۰	۱.۰۵	۲.۸۶	۳.۶۸	۳.۶۸	۳.۶۸	۱.۰۶۴	۱.۰۶۴	۱.۰۶۴	۱.۰۶۴	۱.۰۶۴	۱.۰۶۴
	دی سی	۰.۳۶	۰.۳۹	۰.۷۶	۰.۹۳	۱.۲	۸.۴	۱.۲	۳.۰۰	۲.۴۹	۲.۴۹	۲.۴۹	۱.۰۸۶	۱.۰۸۶	۱.۰۸۶	۱.۰۸۶	۱.۰۸۶	۱.۰۸۶
میانگین		۰.۳۹	۰.۴۸	۰.۶۴	۰.۹۱	۱.۱	۸.۷۶	۱.۱	۲.۹۱	۲.۶۵	۲.۶۵	۲.۶۵	۱.۰۷۲	۱.۰۷۲	۱.۰۷۲	۱.۰۷۲	۱.۰۷۲	۱.۰۷۲
انحراف معیار		۰.۰۷	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۰۵	۰.۱۶	۴.۱۶	۶.۱	۷.۶۲	۰.۸۹	۰.۴۶	۰.۸۹	۱.۸۵	۱.۸۵	۱.۸۵	۱.۸۵	۱.۸۵	۱.۸۵

ترتیب ۰/۵۷، ۰/۵ و ۰/۴ متر بر مجذور ثانیه در وضعیت نشسته و ۰/۶۴، ۰/۴۸ و ۰/۳۹ متر بر مجذور ثانیه در وضعیت ایستاده محاسبه شد. در حالت نشسته محور غالب در هفت مورد از ۱۱ قطار مورد بررسی محور Z بود که غیر از دو نمونه قطار دی‌سی مربوط به خط یک بقیه پنج مورد از قطارهای ای سی بودند. هم‌چنین در دو قطار دی‌سی مورد بررسی در خط دو و یکی از دو مورد ای سی بررسی شده در همین خط مترو، محور غالب در جهت Y قرار داشت. محور غالب در یکی از سه قطار بررسی شده در خط یک محور X بود. تعداد محورهای غالب در وضعیت نشسته برای شاخص مقدار دوز ارتعاش نیز تقریباً مشابه همان وضعیت ریشه میانگین مربعات شتاب بود. یعنی هفت قطار در محور Z، سه قطار در محور Y و یک قطار نیز در محور X بود.

زمان‌هایی غیر از زمان اندازه‌گیری شده بر طبق معادله ۶ تعیین شد که در آن VDV_n (مقدار دوز ارتعاش کلی در زمان n)، t_n کل زمان مواجهه با ارتعاش برای وظیفه n، $t_{n \text{ measured}}$ مدت زمان اندازه‌گیری مقدار دوز ارتعاش برای زمان n اندازه‌گیری شده، $VDV_{n \text{ measured}}$ مقدار دوز ارتعاش اندازه‌گیری شده برای زیر وظیفه n می‌باشند.

$$VDV_n = \sqrt[4]{\frac{t_n}{t_{n \text{ measured}}} \times VDV_{n \text{ measured}}^4} \quad (7)$$

مطابق داده‌های جداول ۲ و ۳ و محاسبات انجام شده، ریشه میانگین مربعات شتاب برابر با ۰/۸۹ و با انحراف معیار ۰/۱ متر بر مجذور ثانیه به‌دست آمد. میانگین مقدار دوز ارتعاش در کل نمونه‌ها برابر با ۵/۶۷ و با انحراف معیار ۱/۳۸ m/s^{1/75} بود.

ریشه میانگین مربعات شتاب در محورهای X، Y و Z به

و برابر با $2/97 \text{ m/s}^{1/75}$ بود. هم‌چنین بالاترین میانگین مقدار دوز ارتعاش اندازه‌گیری شده در وضعیت ایستاده مربوط به همان محور Z در خط ۱ و برابر با $5/47 \text{ m/s}^{1/75}$ و پایین‌ترین مقدار دوز ارتعاش نیز مربوط به همین خط و در محور X برابر با $2/59$ بود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی ارتعاش تمام بدن اغلب دارای پیچیدگی‌های خاصی است زیرا معمولاً مواجهه و انتقال ارتعاش در هر محیطی در محدوده خاصی از بسامد اتفاق می‌افتد، در جهاتی مختلف رخ می‌دهد و شدت آن در طول زمان انتشار علامت (سیگنال) ارتعاشی متغیر است.

میانگین مقادیر ضریب قله در وضعیت نشسته از حدود ۵ در محور X برای قطارهای ای‌سی تا حدود ۸/۹ در محور Y برای قطارهای نوع دی‌سی در خط ۱ متغیر بود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار ضریب قله در محور X وضعیت نشسته نمونه هفت تا حدود ۲۹ در محور Z نمونه دو در وضعیت ایستاده متغیر بود.

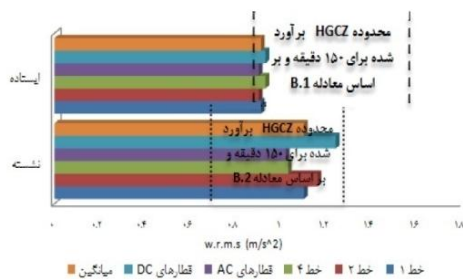
یکی از معیارهایی که در استاندارد ایزو ۲۶۳۱ استفاده از روش اندازه‌گیری مقدار دوز ارتعاش را به عنوان روش ثانویه همراه با روش ریشه میانگین مربعات شتاب برای ارزیابی ارتعاش توصیه می‌کند، هنگامی است که ضریب قله بیش‌تر از ۹ باشد. در مطالعه حاضر در ۷ نمونه در وضعیت نشسته و در ۱۰ مورد در وضعیت ایستاده حداقل در یکی از محورها ضریب قله بیش‌تر از ۹ بوده است.

به هر حال در ارزیابی با استفاده از روش اندازه‌گیری مقدار دوز ارتعاش، مقدار دوز ارتعاش کل برآیند محورها در مدت زمان اندازه‌گیری در وضعیت ایستاده و نشسته به ترتیب برابر با $6/48$ و $6/72 \text{ m/s}^{1/75}$ بودند. این مقادیر در مدت زمان در نظر گرفته شده برای یک مسیر یک طرفه در کوتاه‌ترین خط مترو تهران به ترتیب در مسافری نشسته و ایستاده برابر با $7/44$ و $7/17 \text{ m/s}^{1/75}$ بود. البته بایستی توجه داشت که مقادیر اندازه‌گیری شده در محورهای X و Y در وضعیت نشسته در ضریب $1/4$ ضرب شده‌اند. و بدین سبب است که مقادیر میانگین نهایی در وضعیت نشسته بیش‌تر از مقدار ایستاده هستند، اما میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در وضعیت ایستاده عموماً

میانگین مقادیر ضریب قله در وضعیت نشسته در محورهای X ، Y و Z به ترتیب برابر با $5/8$ ، $8/4$ و $8/2$ و هم‌چنین میانگین این مقادیر در وضعیت ایستاده به همان ترتیب برابر با 11 ، $8/76$ و $10/6$ بود. این مقادیر میانگین میزان‌های متوسطی در ارتباط با این شاخص هستند و به طور کلی بیانگر این موضوع می‌باشند که بهتر است از شاخص مقدار دوز ارتعاش نیز جهت ارزیابی ارتعاش استفاده گردد.

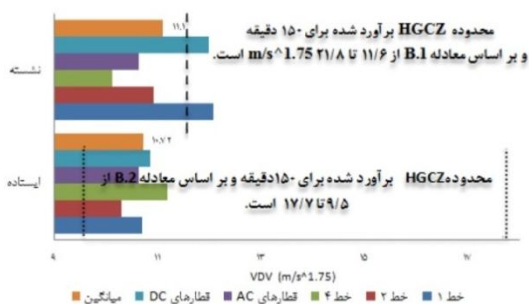
مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب در وضعیت نشسته در خطوط ۱، ۲ و ۴ به ترتیب برابر با $1/16$ ، $1/16$ و $1/03$ متر بر مجذور ثانیه هستند. در محورها بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین مربوط به خط ۱ و به ترتیب در محور Z برابر با $0/75$ و محور X برابر با $0/33$ بودند. در وضعیت ایستاده نیز میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب در خطوط ۱، ۲ و ۴ به ترتیب برابر با $0/91$ ، $0/9$ و $0/93$ متر بر مجذور ثانیه بودند. بیش‌ترین میانگین نیز مربوط به محور Z در خط ۱ و کم‌ترین میانگین هم در همین خط برابر با $0/33$ متر بر مجذور ثانیه بود. مطالعه‌ای توسط خوانین و همکاران بر روی رانندگان شاغل در مترو تهران انجام گرفته است [۲۰]. در مطالعه خوانین و همکاران (۲۰۱۴) عمدتاً محور غالب در راستای Z و سپس بیش‌ترین محور غالب راستای Y بوده‌اند (تعدادی از آن‌ها قطارهای مورد بررسی در مطالعه حاضر هستند). نتایج آن در مطالعه حاضر نیز چه در وضعیت نشسته و چه در وضعیت ایستاده این موضوع را تأیید می‌کنند. غالب بودن محور Z در مطالعاتی دیگر که بر روی وسایل حمل و نقل ریلی انجام گرفته‌اند نیز گزارش شده است [۳ و ۱۹-۲۲].

بالاترین مقدار ضریب قله در وضعیت ایستاده در محورهای X و Z در خط ۱ و محور X در خط ۴ برابر با 12 و پایین‌ترین مقدار در محور Y در خط ۴ برابر با $5/3$ بود. میانگین مقدار دوز ارتعاش ترکیب شده در محورهای X ، Y و Z در وضعیت نشسته برای خطوط ۱، ۲ و ۴ به ترتیب برابر با $7/3$ ، $6/6$ و $6/12$ و در وضعیت ایستاده به همین ترتیب برابر با $6/48$ ، $6/24$ و $6/79$ اندازه‌گیری شد. بالاترین میانگین مقدار دوز ارتعاش اندازه‌گیری شده در وضعیت نشسته مربوط به محور Z در خط ۱ برابر با $6/48$ و پایین‌ترین مقدار دوز ارتعاش مربوط به خط ۴ در محور Y



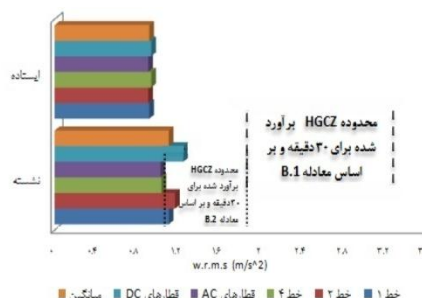
مقایسه مقادیر r.m.s محاسبه شده همراه با HGZZ برآورد شده مربوط به مدت زمان ۱۵۰ دقیقه

(ب)



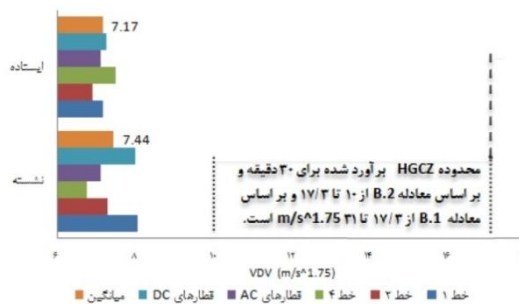
مقایسه مقادیر VDV محاسبه شده همراه با HGZZ برآورد شده مربوط به مدت زمان ۱۵۰ دقیقه

(د)



مقایسه مقادیر r.m.s محاسبه شده همراه با HGZZ برآورد شده مربوط به مدت زمان ۳۰ دقیقه

(ف)



مقایسه مقادیر VDV محاسبه شده همراه با HGZZ برآورد شده مربوط به مدت زمان ۳۰ دقیقه

(ج)

شکل ۱ الف) مقادیر محاسبه شده ریشه میانگین مربعات (rms) در ۳۰ دقیقه در مقایسه با حدود مجاز مرتبط با زمان مذکور، ب) مقادیر محاسبه شده ریشه میانگین مربعات شتاب در ۱۵۰ دقیقه در مقایسه با حدود مجاز مرتبط با زمان مذکور، ج) مقادیر محاسبه شده مقدار دوز ارتعاش در ۳۰ دقیقه در مقایسه با حدود مجاز مرتبط با زمان مذکور، د) مقادیر محاسبه شده مقدار دوز ارتعاش در ۱۵۰ دقیقه در مقایسه با حدود مجاز مرتبط با زمان مذکور.

اقدامی صحیح نیست. با این حال هنگامی که مدت زمان مواجهه کمتر می‌شود، حدود بالا و پایین ارائه شده نیز تغییر می‌کنند که این مقادیر برای مدت زمان ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه در جدول ۱ با توجه به معادلات مربوطه در استاندارد ارائه شده‌اند. برای تعیین تراز خطر بروز صدمات بهداشتی در مسافرین در صورت مواجهه متوالی و مکرر مطابق نمودارهای ۱ تا ۴ به ترتیب برای زمانی که مدت مواجهه روزانه ۰/۵ ساعت و ۱۵۰ دقیقه باشد، ارائه شده‌اند. مقادیر محاسبه شده شتاب ریشه میانگین مربعات در خطوط ۱، ۲ و ۴ و همچنین در دو نوع قطار ای سی و دی سی و میانگین کل قطارها در مدت ۳۰ دقیقه و ۱۵۰ دقیقه مورد نظر در این مطالعه همراه با حدود ایمن برآورد شده از جدول ۱ مطابق با استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱، براساس دو معادله با ترازهای ایمنی معمول و بالا به ترتیب در شکل ۱-الف و ۱-ب نشان داده شده‌اند. به همین ترتیب مقادیر دوز ارتعاش محاسبه شده در خطوط

بیش‌تر از وضعیت نشسته بود. میانگین مقادیر دوز ارتعاش در مدت زمان یک مسیر رفت و برگشت کامل در خط ۱ مترو سوئد [۲۱]، حدود ۱۵۰ دقیقه، در روز به ترتیب در مسافر نشسته و ایستاده برابر با ۱۱/۱ و ۱۰/۷۲ m/s^{۱/۷۵} محاسبه شد. مقادیر اخیر در مقایسه با مقادیر محاسبه شده در مطالعه نارایانامورسی و همکاران در قطارهای مورد بررسی در مترو تهران بیش‌تر و در مقایسه با مطالعه سید و همکاران [۳] در مترو قاهره نسبتاً کم‌تر است.

ارزیابی مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب با استفاده از معیارهای بهداشتی ارائه شده ایزو ۲۶۳۱ به طور کلی بایستی زمانی انجام گیرد که مقرر است خطر صدمات بهداشتی برآورد شود. البته، در شرایطی صحیح است که مواجهه مسافرین به صورت مداوم و در طول هفته و به طور مکرر اتفاق بیفتد. بنابراین اگر مواجهه مسافرین به صورت مداوم انجام نگیرد، استفاده از این معیار اصولاً

جدول ۴ ارزیابی در مدت زمان‌های مواجهه مورد نظر در این مطالعه و براساس معادلات B.۱ و B.۲ استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱.

ریشه میانگین مربعات شتاب				
وضعیت	معادله مورد استفاده	زمان مواجهه مورد نظر (دقیقه)	ارزیابی میانگین مواجهه محاسبه شده (تراز خطر)	ارزیابی مواجهه قطارهای بررسی شده
نشسته	B.۱	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	متوسط	تمامی موارد دارای تراز خطر بهداشتی متوسط
	B.۲	۳۰	روی مرز پایینی (پایین)	پنج مورد دارای تراز خطر متوسط شش مورد دارای تراز خطر پایین
		۱۵۰	متوسط (در محدوده تعیین شده هشدار بهداشتی)	۱۰ مورد در محدوده تعیین شده هشدار بهداشتی و با تراز خطر متوسط و یک قطار دی‌سی مربوط به خط ۲ بالاتر از مرز بالای راهنمای هشدار بهداشتی و با تراز خطر بالا
ایستاده	B.۱	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	متوسط	غیر از نمونه ۲ مربوط به یکی از قطارهای ای‌سی خط ۱ که پایین‌تر از حد پایین هشدار بهداشتی قرار داشت ۱۰ مورد دیگر در محدوده هشدار بهداشتی و با تراز خطر بهداشتی متوسط بودند.
	B.۲	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	متوسط	تمامی ۱۱ مورد در محدوده هشدار بهداشتی و دارای تراز خطر بهداشتی متوسط
مقدار دوز ارتعاش				
نشسته	B.۱	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	پایین	چهار نمونه در محدوده هشدار بهداشتی و با تراز خطر بهداشتی متوسط، هفت مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
	B.۲	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	متوسط (در محدوده تعیین شده هشدار بهداشتی)	هشت نمونه در محدوده هشدار بهداشتی و با تراز خطر بهداشتی متوسط، سه مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
ایستاده	B.۱	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	متوسط (در محدوده تعیین شده هشدار بهداشتی)	سه نمونه در محدوده هشدار بهداشتی و با تراز خطر بهداشتی متوسط، هشت مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
	B.۲	۳۰	پایین	تمامی ۱۱ مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین
		۱۵۰	متوسط (در محدوده تعیین شده هشدار بهداشتی)	هشت نمونه در محدوده هشدار بهداشتی و با تراز خطر بهداشتی متوسط، سه مورد دارای تراز خطر بهداشتی پایین

در روش ریشه میانگین مربعات و چه در روش مقدار دوز ارتعاش بر روی نمودارها به روشنی تراز خطر را برای کل نمونه‌ها، خطوط مختلف و دو نوع قطار مختلف در وضعیت‌های نشسته و ایستاده نشان می‌دهند. نتایج حاصل

و قطارهای مذکور و همچنین میانگین کل آن‌ها نیز در مدت زمان‌های ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه به ترتیب در شکل ۱- ج و ۱- د نشان داده شده‌اند. خطوط تعیین محدوده راهنمای هشدار بهداشتی برای هر مدت زمان مواجهه، چه

می‌کند، به ترتیب در پایین‌تر از حد ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی و در محدوده آن قرار داشت.

۵. تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته بهداشت حرفه‌ای و با حمایت مالی دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. در پایان هم‌چنین از مدیریت واحد بهداشت و طب کار شرکت بهره‌برداری مترو تهران و حومه و همکاران واحدهای ایمنی و سلامت خطوط ۱ و ۴ و خطوط ۲ و ۵ به خاطر همکاری بی‌شائبه در اجرای تحقیق حاضر قدردانی می‌نمائیم.

۶. فهرست منابع

- [1] A.R. Ismail, M.Z. Nuawi, C.W. How, N.F. Kamaruddin, M.J.M. Nor, N.K. Makhtar, "Whole body vibration exposure to train passenger," *American Journal of Applied Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 352-359, 2010.
- [2] M.J. Griffin, "Handbook of Human Vibration," Academic press, 2012.
- [3] M. El Sayed, S. Habashy, M. El Adawy, "Evaluation of whole-body-vibration exposure to cairo subway (metro) passengers," *International Journal of Computer Applications*, vol. 55, no. 8, pp. 7-15, 2012.
- [4] F. Mitsuhiko, K. Taoda, H. Tsujimura, K. Nishiyama, "Measurement of whole-body vibration in taxi drivers," *Journal of occupational health*, vol. 46, no. 2, pp. 119-124, 2004.
- [5] H. Ivo, Y. Papaioannou, A. Spaepen, H. Ramon, "A study of vibration characteristics on a luxury wheelchair and a new prototype wheelchair," *Journal of sound and vibration*, vol. 266, no. 3, pp. 443-452, 2003.
- [6] H. Nahvi, M. Hosseini Fouladi, M. Jailani Mohd Nor, "Evaluation of whole-body vibration and ride comfort in a passenger car," *International Journal of Acoustics and Vibration*, vol. 14, no. 3, pp. 143-149, 2009.
- [7] International Organization for Standardization, ISO 2631-1, "Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-part 1: general requirements," Switzerland, 1997.
- [8] International Organization for Standardization, ISO 8041, "Human response to vibration-Measuring instrumentation," Switzerland, 1997.
- [9] N.J. Mansfield, *Human Response to Vibration*, CRC Press, 2004.

از مواجهه در این مطالعه در مقایسه با نتایج حاصل از مواجهه مسافرین اتوبوس‌ها در مطالعه سید و همکاران مقادیر مواجهه کم‌تری را نشان می‌دهند [۲۱].

در جدول ۴ تراز خطر بهداشتی متفاوت براساس هر یک از دو روش ریشه میانگین مربعات و مقادیر دوز ارتعاش مورد بررسی با توجه به هر دو معادله تعریف شده در استاندارد ایزو ۲۶۳۱-۱ برای هر دو وضعیت نشسته و ایستاده نشان داده شده است. هم‌چنین در این جدول تعداد قطارهای قرار گرفته در هر تراز خطر در دو وضعیت مذکور و با توجه به ترازهای ایمن تعیین شده توسط استاندارد نیز بیان شده است. نهایتاً همان‌طور که از نمودارهای شکل ۱ می‌توان به روشنی مشاهده نمود، ریشه میانگین مربعات شتاب کلی در وضعیت نشسته ۱/۱ متر بر مجذور ثانیه برای مسافرینی با ۳۰ دقیقه مواجهه در روز به طور متوالی روی مرز پائین تعیین شده با استفاده از معادله مذکور در استاندارد که در مدت زمان‌های مواجهه کوتاه‌تر حدود ایمن‌تری را ارائه می‌دهد و در وضعیت ایستاده ۰/۹۱ متر بر مجذور ثانیه پایین‌تر از حد هشدار بهداشتی براساس همین معادله و دارای خطر بهداشتی پایینی بود. مطابق با محاسبات انجام شده با استفاده از استاندارد (جدول ۴)، در وضعیت نشسته و ایستاده برای مسافرین با میانگین مواجهه روزانه ۱۵۰ دقیقه نیز در محدوده هشدار بهداشتی قرار گرفت. 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. از طرف دیگر بایستی گفت که همین میزان مواجهه نیز در صورتی که مسافر فاقد مواجهه با ارتعاش در محیط شغلی خویش هم باشد، ممکن است، در صورت مواجهه مکرر و در سالیان متوالی، سبب بروز عوارض و آسیب‌هایی بر سلامت وی شود. این صدمات ممکن است در دسته‌ای از افراد که ذاتاً حساسیت بیشتری دارند شدیدتر و ملموس‌تر باشد.

مقادیر دوز ارتعاش برای مواجهه مسافرین نشسته و ایستاده در مدت زمان‌های ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه براساس دستورالعمل این استاندارد که ایمنی بیش‌تری ایجاد

- whole body vibration magnitude,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 310, no. 4, pp. 1080-1092, 2008.
- [17] G.S. Paddan, M.J. Griffin, “Evaluation of whole-body vibration in vehicles,” *Journal of sound and vibration*, vol. 253, no. 1, pp. 195-213, 2002.
- [18] B. Hinz, H. Seidel, G. Menzel, R. Blüthner, “Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seat with and without backrest,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 253, no. 1, pp. 265-282, 2002.
- [19] A. Khavanin, R. Mirzaei, M.H. Beheshti, Z. Safari, K. Azrah, “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*, vol. 4, no. 3, pp. 23-36, 2014.
- [20] A. Khavanin, K. Azrah, R. Mirzaei, S.B. Mortazavi, H. Asilian, A. Soleimani, “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*, vol. 4, no. 2, pp. 15-26, 2014.
- [21] R. Narayanamoorthy, V.H. Saran, V. K. Goel, S.P. Harsha, S. Khan, M. Berg, “Determination of activity comfort in Swedish passenger trains,” In *Proceedings of 8th World Congress on Railway Research (WCRR 2008)*, pp. 18-22, 2008.
- [22] M.Z. Nuawi, A.R. Ismail, M.J.M. Nor, M.M. Rahman, “A comparative study of whole-body vibration exposure in train and car passengers: A case study in Malaysia,” *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 4, pp. 490-503, 2011.
- [10] S. Nastac, M. Picu, “Evaluating methods of whole-body-vibration exposure in trains,” *The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati, Fascicle Xiv Mechanical Engineering*, pp. 55-60, 2010.
- [11] F. Joshua, J.A. Calcagno, W.T. Davis, A. Alvarez, “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*, vol. 2194, no.1, pp. 29-36, 2010.
- [12] T. South, *Managing Noise and Vibration at Work*, Routledge, 2013.
- [13] M.J. Griffin, H.V.C. Howarth, P.M. Pitts, S. Fischer, U. Kaulbars, P.M. Donati, P.F. Bereton, “Guide to Good Practice on Whole-Body Vibration,” *European Commission Directorate General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities (contract VC/2004/0341)*, 2006.
- [14] International Organization for Standardization, ISO 10326-1, “Mechanical vibration-Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration-Part 1: Basic requirements,” Switzerland, 1992.
- [15] International Organization for Standardization, 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 system,” Switzerland, 2001.
- [16] I.J.H. Tiemessen, C.T.J. Hulshof, M.H.W. Frings-Dresen, “Two way assessment of other physical work demands while measuring the

Evaluation of health effects of exposure to whole body vibration in seated and standing metro passengers

K. Azrah¹, R. Mirzaei², H. Biglari³, Z. Safari⁴, A. Khavanin^{*5}

1. Dept. of Occupational Health Eng., School of Public Health, Gonabad Univ. of Medical Sci.

2. Dept. of Occupational Health Eng., Health Promotion Research Center, Zahedan Univ. of Medical Sci.

3. Dept. of Environmental Health Eng., School of Public Health, Gonabad Univ. of Medical Sci.

4. Bachelor of Sci. in Occupational Health Eng., Researcher for Health Sci.

5. Dept. of Occupational Health Eng., School Of Medical Sci., Tarbiat Modares Univ.

Abstract

Metro is one of the commonest vehicles of public transportation in all over the world. High range of transmitted vibration to passengers' bodies on most of the vehicles of public transportation could cause different kinds of diseases and health effects, especially backache, in human beings. This study is aimed to investigate probable health effects of vibration exposure in the passengers of Tehran's metro based on ISO 2631-1, utilizing SVAN 958 tri-axial oscillator during the usual daily activity of the metro's different lines. Average r.m.s acceleration of sitting passengers on three axes of x, y, and z were 0.57, 0.5, and 0.4 m/s², accordingly, and of standing passengers 0.64, 0.48, 0.39 m/s². While sitting, the dominant axis was z in 7 out of 11 evaluated trains. The total average r.m.s. for sitting passengers equaled 1.1 m/s² and for standing ones 0.91 m/s². Average vibration dose of both sitting and standing conditions was in Health Guidance Caution Zone, HGCZ, range, calculated as 6.72 and 6.48 m/s^{1.75} in measurement time. Average amounts of exposures, which determine more cautious limits in shorter durations, were mostly under the low level of HGCZ in 30 minutes, while they were in the HGCZ range in 150 minutes. Therefore, health risk of exposure is likely. This amount of exposure is of significance for those who are exposed to whole body vibration because of their jobs.

Keywords: Vibration, Passengers, Vehicle, Metro, Whole body vibration

pp. 59-69 (In Persian)

* Corresponding author E-mail: khavanin@modares.ac.ir