

ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با ارتعاش تمام بدن در مسافرین نشسته مترو تهران

علی خوانین

دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای دانشکده
علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس
khavanin@modares.ac.ir

رمضان میرزایی

دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت و
مرکز ارتقای سلامت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان
rammir277@gmail.com

کیکاوس ازره*

مربی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده
بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد
Azrah.1365@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴

چکیده

بدن ما در تمامی وسایل نقلیه با ارتعاش تمام بدن مواجه است. ارتعاش سبب اختلالات اسکلتی - عضلانی در اندام‌هایی مانند شانه‌ها، گردن و کمر می‌شود. در این پژوهش، مواجهه مسافرین در وضعیت نشسته در ۱۱ قطار در خطوط فعال مترو تهران در زمان انجام مطالعه بر اساس روش‌های RMS^1 و VDV^2 استانداردهای BS 6841 و ISO 2631-1 و با دستگاه ارتعاش سنج و آنالیزور SVAN 958 انجام گردیده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که میانگین مقادیر RMS برابر با $\frac{m}{s^2}$ ۱ و مقادیر میانگین VDV در زمان مواجهه حداقل و حداکثر مورد نظر در این مطالعه به ترتیب برابر با $\frac{m}{s^{1.75}}$ ۶/۴۲ و ۹/۶ بود. میانگین سطوح ریسک بهداشتی برآورد شده در این مطالعه بر اساس دو روش RMS و VDV به ترتیب در زمان مواجهه ۳۰ دقیقه در هر دو روش پایین و در مواجهه ۱۵۰ دقیقه ای در هر دو روش در سطح متوسط ریسک بهداشتی و درون ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی توسط ISO قرار داشتند.

واژگان کلیدی: ارتعاش تمام بدن، مواجهه مسافرین، مترو تهران، شتاب موثر، دوز ارتعاش

۱. مقدمه

معمولاً هدف اصلی اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش، پیشگیری از ریسک‌های بهداشتی و ارزیابی اثر ارتعاش بر آسایش و راندمان کاری در شرایط مختلف است [۱-۳]. ارتعاشات تمام بدن معمولاً از طریق سطح نشیمنگاه، پشت و پاها در فرد نشسته، پاها در فرد ایستاده و سر و پشت در فرد خوابیده به بدن انسان وارد می‌شود. این نوع ارتعاش انسانی ممکن است سبب سرگیجه یا صدمه به ستون فقرات شود. در مطالعات اپیدمیولوژیکی که در بین مهندسیین

تأثیر ارتعاشات مکانیکی بر بدن انسان را ارتعاش انسانی می‌نامند که بطور کلی شامل ارتعاش منتقله از دست و ارتعاش تمام بدن است. تعاریف متفاوتی برای ارتعاش تمام بدن در دیکشنری‌ها، شرکت‌ها و نویسندگان مختلف بیان شده است در دایرکتیو $2002/44/EC$ ارتعاش تمام بدن به معنی ارتعاشات مکانیکی است که از سطوح مرتعش توسط ناحیه‌ای عموماً وسیع از بدن که با آن سطح در تماس است به بدن وارد، و سبب تأثیرات منفی در ارگان‌های مختلف می‌شود.

لوکوموتیو آمریکای شمالی انجام شده است، مشخص شد که شیوع انواع اختلالات گردن و کمر نزدیک به دو برابر گروه شاهد در وضعیت نشسته، بدون مواجهه با ارتعاش تمام بدن می‌باشد [۱، ۴-۶].

امروزه قطارها یکی از رایج‌ترین و راحت‌ترین وسایل نقلیه هستند که هم در سفرهای درون شهری و هم در مسافرت‌های بین شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. دامنه‌ی بالای ارتعاش تمام بدن تولید شده در مترو ممکن است سبب بیماری و مشکلات بهداشتی در انسان و بویژه سبب بروز کمر درد شود. ریسک ناشی از مواجهه با ارتعاش تمام بدن بر سلامت انسان زمانی که دامنه ارتعاش بیشتر می‌شود، مدت زمان مواجهه طولانی می‌شود یا در ارتعاشات حاوی شوک‌ها و تکانه‌های شدید منظم و مکرر، افزایش می‌یابد [۷-۱۰].

بطور کلی 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. همچنین ارتعاش می‌تواند سبب تاری دید، از دست رفتن تعادل و کاهش تمرکز گردد. در برخی شرایط فرکانس‌ها و سطوح ارتعاشی می‌توانند صدمات دائمی 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 [۱، ۶، ۱۱]. در مواجهه کوتاه مدت با ارتعاشاتی در محدوده ۲ تا ۲۰ هرتز با شدت $1 \frac{m}{s^2}$ انسان عوارض متفاوتی همچون 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 می‌تواند سبب مشکلات بهداشتی جدی خصوصاً در ستون فقرات پشتی، مانند جابجایی دیسک، تغییرات فرساینده ستون فقرات، کج شدن ستون مهره‌ها، بیماری‌های دیسک‌های بین مهره‌ای، اختلالات تخریبی مهره‌ها، فتق دیسک مهره‌ای، اختلالات سیستم معده‌ای روده‌ای و ادراری تناسلی شوند [۱، ۸، ۱۲].

ارزیابی مواجهه انسانی با ارتعاش تمام بدن و شوک‌های تکراری را می‌توان به روش‌های مختلفی انجام داد. رایج‌ترین استانداردهای مورد استفاده به منظور برآورد ریسک بهداشتی ارتعاش تمام بدن ISO 2631 و BS6841 هستند که این دو استاندارد در روش‌های انجام اندازه‌گیری، ارزیابی، حدود مواجهه ایمن محتمل، ضرایب اعمالی و فیلترهای توزین مورد استفاده با هم تفاوت دارند [۱۳-۱۵]. در بررسی اثرات سلامتی ارتعاش تمام بدن اولین و مهمترین سوالات عبارتند از:

- در هر وضعیت نیاز به اندازه‌گیری ارتعاش کدامیک از محورهای انتقال ارتعاش وجود دارد؟
 - از کدامیک از محورهای ارتعاشی به منظور ارزیابی اثرات بهداشتی بهتر است استفاده نمود؟
 - آیا در ارزیابی از روش بررسی مجموع محورها استفاده شود یا محور غالب ملاک ارزیابی قرار گیرد؟
 - در شرایط مختلف کدام شاخص جهت ارزیابی ارجح‌تر است؟
- استانداردهای مختلف با توجه به هدف از اندازه‌گیری و ارزیابی، محورهای مختلفی را جهت بررسی توصیه می‌کنند. اما بطور کلی اندازه‌گیری و استفاده از سه محور اصلی x ، y و z سطح نشیمنگاه در تمامی استانداردها به صورت مشترک توصیه شده است. استاندارد BS 6841 توصیه می‌کند که اندازه‌گیری در ۴ جهت ارتعاشی بر روی صندلی (سه جهت اصلی سطح نشیمنگاه و محور x پشتی صندلی) انجام گردد

و ترکیب مجموع این ۴ محور به عنوان ملاک ارزیابی استفاده شود. در بررسی ارتعاش خطوط حمل و نقل ریلی با توجه به اهمیت محورهای افقی و همچنین سطح تماس نسبتاً وسیع در قسمت پشتی صندلی با بدن مسافری و عموماً مواجهه طولانی مدت، به نظر می‌رسد که روش توصیه شده BS 6841 نسبت به روش ISO 2631-1 ارجح‌تر است.

استاندارد ISO 2631-1 از اندازه‌گیری ارتعاش در سه محور اصلی سطح نشیمنگاه و ارزیابی بر اساس شدیدترین محور حمایت می‌کند. بنابراین، از مطالب فوق می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که روش ارجح در ارزیابی اثرات بهداشتی ارتعاش تمام بدن در وسایل حمل و نقل ریلی استفاده از روش مجموع محورها و همچنین تاثیر دادن محور X پشتی صندلی در محاسبات است که چنین روش ارزیابی در استاندارد BS6861 ارائه شده است. بنابراین، طراحی و اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن در این مطالعه طبق روش‌های توصیه شده استاندارد BS 6841 انجام گرفت.

مطابق با این استاندارد مطالعات زیادی در دنیا بر روی ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن در انواع مختلفی از محیط‌های شغلی، غیر شغلی و وسایل نقلیه صورت گرفته است [۱۶-۲۰]. با توجه به اینکه مطالعات انجام شده عمدتاً بر روی شاغلین در خطوط حمل و نقل صورت گرفته و بر روی میزان مواجهه مسافرین با ارتعاش تمام بدن مطالعات بسیار محدود هستند، بنابراین در مطالعه حاضر بررسی میزان مواجهه مسافرینی که از مترو جهت مسافرت در داخل و حومه شهرها استفاده می‌کنند، مورد نظر است. این میزان مواجهه خصوصاً در کلان‌شهرهایی مثل تهران که مدت زمان‌های سفر رفت و برگشت درون شهری در طول یک روز معمولاً حدود ۱ تا ۲ ساعت است اهمیت بیشتری می‌یابد.

۲. مواد و روش‌ها

استانداردهای مختلف ملی و بین‌المللی بر پایه مطالعات متعدد محدوده فرکانسی ۰/۵ تا ۸۰ را برای ارزیابی ارتعاش

تمام بدن پیشنهاد می‌دهند. 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. در این مطالعه نصب شتاب سنج طبق رهنمود استانداردهای BS 6841 و ISO 10326-1 انجام گرفت و اندازه‌گیری توسط شتاب سنج سه محوره به طور همزمان در هر سه محور بر روی سطح نشیمنگاه صندلی مسافر نشسته و در محل تماس مشترک پشتی صندلی و پشت مسافر انجام گردید. در حین اندازه‌گیری به جهت عدم مداخله ویژگی‌های فردی مسافر در تمامی اندازه‌گیری‌ها از یک فرد ثابت با وزن ۷۸ کیلوگرم و قد ۱۷۵ سانتی متر در تمامی قطارها و خطوط استفاده شد. شتاب‌ها در محورهای سه‌گانه بر روی سطح نشیمنگاه صندلی و محور X پشتی صندلی برای مسافر طبق توصیه‌های استانداردهای BS 6841 اندازه‌گیری شد. به منظور جلوگیری از تاثیر حرکات اولیه مسافر بر روی سیگنال ارتعاشی، بعد از اینکه شتاب سنج دستگاه کاملاً نصب و ثابت در محل مورد نظر قرار می‌گرفت، دستگاه اندازه‌گیری فعال می‌شد [۱۳، ۱۴، ۲۱].

اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج و آنالیزور SVAN 958 ساخت کمپانی اسوانتک^۴ با شتاب سنج سه محوره^۵ (SV39A/L) در محدوده فرکانسی ۰/۵ تا ۳ کیلوهرتز، که مطابق با استاندارد ISO 2631-1 و SAE J1013 طراحی شده و درون یک پد لاستیکی با ضخامت ۱۲ میلی‌متر نصب شده انجام گردید. کالیبراسیون دستگاه با استفاده از کالیبراتور ساخت کمپانی مذکور قبل و بعد از انجام اندازه‌گیری‌ها انجام شد. هنگام اندازه‌گیری زمان تشخیص^۶ دستگاه بر روی ۱۰۰ میلی ثانیه قرار گرفت و فیلتر باند توزین فرکانسی مورد استفاده برای اندازه‌گیری در محورهای X, Y, Z، به ترتیب Wb, Wd, Wd در سطح نشیمنگاه و Wc در محور X پشتی صندلی بود. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری شتاب در ۳ جهت مختلف بصورت و همزمان می‌باشد. 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 میلیمتر و عرض واگن‌ها به ترتیب ۲۶۰۰ و ۲۴۶۰ میلیمتر بود، در همه قطارهای مورد بررسی، نمونه‌ها در واگن میانی قطار و روی سطح صندلی ثابتی در محدوده‌ی مرکزی واگن اندازه‌گیری شد.

مطالعه بر روی ۱۱ قطار مختلف در ۳ خط فعال مترو تهران با زیر ساخت و سیستم ریلی مشابه، با زمان اندازه‌گیری ثابت ۲۰ دقیقه انجام شد. این قطارها با هماهنگی با مدیریت شرکت بهره برداری مترو تهران به صورت تصادفی از خطوط مختلف انتخاب و اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن با در نظر گرفتن اثرات بهداشتی بر روی مسافر در چهار جهت ذکر شده در استاندارد BS6841 انجام شد. قطارهای مورد اندازه‌گیری در خطوط ۱، ۲ و ۴ از دو نوع AC, DC 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 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 صورت پذیرد.

بیشتر استانداردها در ارتباط با مدت زمان اندازه‌گیری توصیه می‌کنند که، هر جا ممکن است اندازه‌گیری بایستی حداقل در طول زمانی معادل ۲۰ دقیقه انجام گردد و در جایی که امکان ندارد، زمان اندازه‌گیری بایستی حداقل ۳ دقیقه برای ارتعاش تمام بدن در هر محور به طول بیانجامد. هر چند که مدت زمان اندازه‌گیری‌های طولانی مدت و گاهاً در نصف زمان مواجهه امکان پذیر است. در این مطالعه مدت زمان اندازه‌گیری در هر قطار ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. حداقل مدت زمان اندازه‌گیری در هر محور در استاندارد BS6841 برابر با ۱ دقیقه در نظر گرفته شده است [۱، ۲، ۱۴، ۲۲، ۲۳]. تجزیه و تحلیل و محاسبه ارتعاش تمام بدن در این مطالعه طبق دستورالعمل اجرایی استاندارد BS6841 انجام شد. مقدار شتاب $r.m.s$ ، VDV و فاکتور قله به ترتیب بر اساس معادلات ۱ شتاب $r.m.s$ وزن یافته فرکانسی، ۲

مقدار دوز ارتعاشی (VDV) و (۳) فاکتور قله (CF) تعیین گردید [۱۶، ۲۱]. جزئیات کامل در مستندات استاندارد ارائه شده است.

$$(1)$$

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

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T [a_w(t)]^4 dt} \quad (m/s^{1.75}) \quad (3)$$

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

در این معادلات؛ $a_{wr.m.s}$ شتاب $r.m.s$ وزن یافته فرکانسی، T ؛ مدت زمان اندازه‌گیری و $a_w(t)$ ؛ شتاب وزن یافته فرکانسی در زمان t ، $VDV.t$ ، ریشه چهارم توان‌های چهارم سیگنال شتاب ارتعاشی است.

در اندازه‌گیری شتاب $r.m.s$ که شتاب میانگین را در طول زمان اندازه‌گیری نشان می‌دهد، از چهار محور اندازه‌گیری شده با گرفتن ریشه دوم مجموع مربعات شتاب‌ها مطابق معادله ۴ طبق توصیه استاندارد با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

$$a_{vsv} = (a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2 + a_{wxb}^2)^{0.5} \quad (4)$$

در این رابطه a_{vsv} ریشه مجموع مربعات وزن یافته فرکانسی a_{wx} ، a_{wy} ، a_{wz} و a_{wxb} به ترتیب شتاب-های $r.m.s$ وزن یافته در محورهای X ، Y ، Z ، X صندلی و پشتی صندلی است و برای ترکیب کردن محورهای مختصات VDV ها معادله ۵ استفاده می‌شود.

$$(5)$$

$$VDV_{vsv} = (VDV_x^4 + VDV_y^4 + VDV_z^4 + VDV_{xb}^4)^{0.25}$$

است متاسفانه حدود مجاز خاصی براساس روش RMS ارائه نکرده است و برای شاخص VDV نیز یک مقدار کلی $\frac{m}{s^{1.75}}$ را جهت ارزیابی و مقایسه مقادیر محاسبه شده در ۸ ساعت تعیین نموده است. البته این مقدار VDV بر اساس نمودار ارائه شده در استاندارد تقریباً برابر با $\frac{m}{s^2} \cdot 0.9$ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این بخش BS 6841 نیاز به اصلاح دارد. مقادیر سطوح ایمن RMS از این استاندارد در مدت زمان‌های ۱۸۰۰ و ۹۰۰۰ ثانیه مورد نظر در این مقاله به ترتیب تقریباً برابر با $\frac{m}{s^2} \cdot 1/8$ و $\frac{m}{s^2} \cdot 1/1$ می‌باشد. اما حدود مجاز مواجهه اثرات بهداشتی که توسط استاندارد ISO 2631-1 ارایه شده است، با استفاده از نموداری که یک ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی^۷ مشخص شده است که در بالای آن "ناحیه‌ی ریسک‌ها و اثرات بهداشتی محتمل" بوده و قسمت پایین آن وضعیتی است که اثرات بهداشتی به طور مشخص مشاهده نشده است. در ناحیه هشدار، خطرات بالقوه بهداشتی نشان داده شده است. حدود پایین و بالا برای روش ارزیابی بر اساس شتاب r.m.s 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 $\frac{m}{s^2} \cdot 0.45$ و $\frac{m}{s^2} \cdot 0.9$ و جهت ارزیابی بر اساس روش VDV به ترتیب $\frac{m}{s^{1.75}} \cdot 1/5$ و $\frac{m}{s^{1.75}} \cdot 1/7$ برای یک شیفت معمول روزانه می‌باشد.

در این رابطه VDV_{vsv} دوز ارتعاش ترکیب شده VDV_x ، VDV_y ، VDV_z و VDV_{xb} به ترتیب دوز ارتعاش در محورهای X و Z, Y, X پشتی صندلی می‌باشد. معادله‌ی ۴ در ترکیب نتایج محورهای RMS استفاده شد و برای ترکیب نتایج محورهای VDV معادله‌ی ۵ بکار گرفته شد. VDV معادل در مدت زمان‌هایی غیر از زمان اندازه‌گیری شده برطبق معادله ۶ تعیین شد که در آن؛ VDV_n کلی در زمان n، t_n کل زمان مواجهه با ارتعاش برای وظیفه n، t_n measured؛ مدت زمانی که VDV برای زمان n اندازه‌گیری شده است، VDV_n measured؛ اندازه‌گیری شده برای زیر وظیفه n می‌باشد.

(۶)

$$VDV_n = \sqrt[4]{\frac{t_n}{t_n \text{ measured}} \times VDV_n \text{ measured}^4}$$

۳. روش ارزیابی ارتعاش

استانداردهای ارزیابی ارتعاش معمولاً همراه با تعیین ملزومات اندازه‌گیری، روش اندازه‌گیری، روش‌های انجام محاسبات و ...، حدود مواجهه‌ای که تامین کننده سلامت انسان در مدت زمان‌های مختلف مواجهه باشد را نیز تعیین می‌کنند اما برخی از استانداردها هم متاسفانه همه‌ی موارد لازم در فرایند اندازه‌گیری و ارزیابی را در یک استاندارد ارایه نکرده و گاهی در برخی استانداردها روش‌های گیج کننده‌ای هم وجود دارد. در استاندارد BS6841 که به نظر می‌رسد در ارزیابی ارتعاش در شرایطی مشابه به این مطالعه کاملترین پیشنهادات و توصیه‌ها را در مرحله اندازه‌گیری ارائه نموده

جدول ۱. حدود پایین و بالای ارایه شده بر اساس ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی در مدت زمان‌های مختلف - برگرفته از ISO 2631-1

RMS				
مدت زمان (ساعت)				
۲/۵ ساعت		۰/۵ ساعت		HGCZ
مرز بالا	مرز پایین	مرز بالا	مرز پایین	
۱/۶	۰/۸۵	۳/۴	۱/۹	استخراج از نمودار مربوط به معادله B.1

۱/۳	۰/۷	۱/۹	۱/۱	استخراج از نمودار مربوط به معادله B.2
VDV				
مدت زمان (ساعت)		۰/۵ ساعت		۲/۵ ساعت
HGCZ				
مرز بالا	مرز پایین	مرز بالا	مرز پایین	
۲۱/۸	۱۱/۶	۳۱	۱۷/۳	استخراج از نمودار مربوط به معادله B.1
۱۷/۷	۹/۵۴	۱۷/۳	۱۰	استخراج از نمودار مربوط به معادله B.2
$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2}$: معادله B.1 $a_{w1} \cdot T_1^{1/4} = a_{w2} \cdot T_2^{1/4}$: معادله B.2				

تمام بدن در مدت زمان‌های مذکور از آن استفاده شود و برای ارزیابی آسایش نمی‌توان این مقادیر برآورد شده را بکار گرفت.

۴. نتایج

در ارزیابی ارتعاش تمام بدن انتخاب محورهای مناسب جهت ارزیابی بسیار حایز اهمیت است، که استفاده از این محورها با توجه به اهداف ارزیابی، محیط مورد ارزیابی و ویژگی‌های سیگنال ارتعاش وارده به بدن انسان متفاوت است. در ارزیابی وسایل حمل و نقل ریلی در برآورد اثرات بهداشتی ارتعاش تمام بدن در عموم استانداردها استفاده از شتاب RMS سه محور اصلی سطح صندلی توصیه شده است. علاوه بر این به سبب تاثیر حرکات عرضی در احساس مسافری و خدمه سیستم‌های حمل و نقل ریلی طبق توصیه BS 6841 شتاب موثر محور X پستی صندلی نیز در ارزیابی تاثیر داده شد و از مقادیر مجموع محورها در چهار جهت اندازه‌گیری شده طبق توصیه استاندارد جهت ارزیابی استفاده شد. زمانیکه انتخاب محورهای اندازه‌گیری شده جهت ارزیابی مقرر است انجام شود لازم است که محورها در هر ۴ جهت با هم مقایسه شوند. در این شرایط استاندارد BS توصیه می‌کند که هنگامیکه مقدار یکی از محورها از ۲۵٪ مقدار محور دیگری کمتر است، دیگر آن محور نیاز نیست که در محاسبات دخالت داده شود. نتایج مقادیر میانگین اندازه‌گیری RMS، VDV، CF در محورهای چهارگانه مورد بررسی و مقدار مجموع محورها (Vector Sum Of Value)

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 شتاب r.m.s و روش VDV براساس استاندارد ISO 2631-1 ارائه شده است. بنابراین اساس ارزیابی نتایج حاصل از این مطالعه بر طبق این استاندارد اخیر صورت گرفته است [۱۳، ۱۴].

در مورد ۸ ساعت بر اساس روش r.m.s با توجه به مشابهت زیاد دو معادله با هم در این نواحی، معمولاً حد پایین معادله B.1 و حد بالا از معادله B.2 در متون مختلف گزارش شده است. همچنین لازم به ذکر است که مقادیر عمومی که جهت ارزیابی با شاخص VDV در متون مختلف ارائه شده است بر اساس همین نمودارها برای حدود بالا و پایین در مدت زمان شیفتم معمول کاری به ترتیب برابر با $\frac{m}{s^{1.75}}$ و ۸/۵ و ۱۷ است.

مقادیر حدود بالا و پایین شاخص VDV برای زمان‌های ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه مورد استفاده در این مطالعه پس از مشخص نمودن مقادیر r.m.s از نمودار نواحی راهنمای هشدار بهداشتی، HGCZT، برای همان مقادیر به صورت تقریبی در مدت زمان‌های مورد نظر با استفاده از معادله زیر بدست آمد:

$$eVDV = 1.4 \times a_{wrms} \times T^{0.25} \quad (7)$$

در این رابطه a_{wrms} مقدار حدود بالا و پایین HGCZ در مدت زمان مورد نظر و T مدت زمان مورد نظر بر حسب ثانیه است. لازم به توضیح است که این مقادیر مشخص شده VDV بایستی به منظور بررسی اثرات بهداشتی ارتعاش

در هر دو شاخص RMS و VDV برای خطوط مختلف مترو و دو نوع قطار مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر میانگین محور غالب در هر محور به صورت برجسته مشخص شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده در چهار محور اندازه‌گیری شده و مواجهه روزانه حداقل و حداکثر مسافری مترو مطابق با دو روش ارزیابی پایه و VDV بررسی شده‌اند:

۴-۱. روش ارزیابی پایه

در ارزیابی ارتعاش انسانی همیشه اولین روش ارزیابی روش ارزیابی پایه است که این موضوع توسط بسیاری از استانداردهای ملی و بین‌المللی از جمله $BS6841$ و $ISO 2631-1$ نیز توصیه شده است. حتی هنگامیکه برخی استانداردها تحت شرایط خاصی روش ارزیابی دیگری مانند VDV ، Se ، فاکتور ریسک و ... را نیز جهت ارزیابی پیشنهاد می‌دهند، باز هم توصیه می‌کنند که در ارزیابی مواجهات ارتعاشی بایستی نتایج حاصل از روش RMS هم گزارش شود. در هر حال نتایج اندازه‌گیری شده در محورهای چهارگانه و نیز نتایج نهایی ارزیابی مواجهات مسافری در ۱۱ قطار مورد بررسی در نمودار ۲ همراه با حدود $HGCZ$ برآورد شده از $ISO 2631-1$ و $BS 6841$ نشان داده شده است.

همانطور که از جدول ۲ می‌توان فهمید، مقادیر میانگین شتاب RMS در خطوط مترو از $۰/۳۶$ در محور X سطح صندلی تا $۰/۷۵$ در محور Y سطح صندلی، هر دو مقدار مربوط به خط ۱ مترو، متغیر بودند. میانگین بزرگترین و کوچکترین مقدار در دو نوع قطار مورد بررسی به ترتیب مربوط به $۰/۵۸$ در محور Z در قطارهای DC و $۰/۳۷$ در محور X در قطارهای AC بود. در میانگین کل ۱۱ قطار مورد بررسی نیز محور X دارای کمترین مقدار میانگین شتاب RMS و محور Z دارای بیشترین مقدار برابر با $۰/۵۷ \frac{m}{s^2}$ بود. محدوده نتایج RMS در قطارها از مقدار $۰/۲۷$ مربوط به قطار AC شماره ۱ تا مقدار $۰/۸۶ \frac{m}{s^2}$ در قطار DC شماره ۳ بودند.

همچنین همانطور که از جدول ۲ مشخص است میانگین شتاب RMS میانگین در خطوط ۱، ۲ و ۴ به ترتیب با مقادیر $۰/۳۳ \frac{m}{s^2}$ ، $۰/۹۹$ و $۰/۹۶$ رو به کاهش است و نیز در قطارهای نوع DC و AC نیز به ترتیب با مقادیر $۱/۲۴$ و ۱ رو به کاهش است. نتایج ارزیابی حاصل از مجموع محورها با استفاده از روش ریشه دوم مربعات شتاب در محورها محاسبه و ارزیابی مواجهه در هر دو مدت زمان ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه مورد نظر مواجهه در جدول ۳ نشان داده شده است.

۴-۲. روش VDV

همانطور که اشاره شد روش VDV یکی از روش‌های ثانویه ارزیابی ارتعاش است که فقط در بررسی ارتعاشات انسانی بکار می‌رود. VDV ریشه چهارم توان‌های چهارم شتاب در سیگنال ارتعاش بوده و به صورت تجمعی با افزایش زمان مواجهه افزایش می‌یابد. برای انتخاب روش مناسب ارزیابی سازمان‌ها، استانداردها و نویسندگان مختلف رویکردهای متفاوتی را ارایه نموده‌اند. در استاندارد $BS6841$ تجاوز مقدار فاکتور قله از ۶ در هر اندازه‌گیری به عنوان معیار انتخاب روش ارزیابی ارایه شده است. مقدار اخیر در استاندارد $ISO 2631$ برابر با ۹ در نظر گرفته شده است. همچنین در مطالعات دیگری که توسط مانسفیلد و دیگران^۸ (۲۰۰۰) و ژائو و شیندلر^۹ (۲۰۱۴) انجام شده است نیز مقدار بحرانی مذکور برابر با $۴/۸$ و $۴/۵$ تعیین شده است که گواهی بر نزدیکی بودن مقدار بحرانی استاندارد BS به عنوان یک روش قانونمند به مقدار صحیح‌تر است. رویکرد دیگری که در مطالعه ژائو و شیندلر به عنوان یک ملاک جهت انتخاب روش ارزیابی ارائه شده است مقدار شاخص $\frac{(VDV-eVDV)*100\%}{eVDV}$ است که مشخص شده که زمانیکه شاخص مذکور بالاتر از ۱۰٪ باشد روش ارزیابی بایستی روش VDV باشد و هنگامیکه کمتر از ۱۰٪ است می‌توان از هر دو روش RMS و VDV جهت ارزیابی استفاده نمود. در این مطالعه در همه

۱۱ قطار مورد بررسی، غیر از یک نمونه از قطارهای AC در خط ۱ مترو، حداقل در یک محور مقدار فاکتور قله بالاتر از ۶ بود و همچنین در همه ۱۱ قطار حداقل در یک محور فاکتور قله بالاتر از ۴/۵ بود. بررسی انجام شده بر اساس شاخص اخیراً استفاده شده نیز نشان داد که ارزیابی بایستی بر اساس هر دو روش RMS و VDV انجام گردد [۱۳، ۱۴، ۱۶، ۲۴، ۲۵].

میانگین مقدار VSV دوز ارتعاش در کل نمونه‌ها در زمان اندازه‌گیری شده برابر با ۵/۸ و انحراف معیار $\frac{m}{s^{1.75}}$ ۱/۳۷ و در خطوط ۱، ۴ و ۲ و نیز در قطارهای DC و AC به ترتیب رو به کاهش است. کمترین و بیشترین مقدار VDV

به ترتیب مربوط به یک قطار AC در خط ۱ برابر با $\frac{m}{s^{1.75}}$ ۱/۳۹ در محور X پشتی صندلی و یک قطار DC در همین خط برابر با $\frac{m}{s^{1.75}}$ ۲۱/۶ بود. میانگین مقادیر VDV اندازه‌گیری شده در محورهای مختلف در خطوط مترو و در قطارهای AC و DC در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین حدود مشخص شده جهت ارزیابی بر اساس مدت زمان‌های مواجهه مورد نظر همراه با مقادیر برآورد شده مواجهه بر اساس روش VDV نیز بر روی نمودار ۳ (الف و ب) نشان داده شده است. مقادیر میانگین شاخص‌ها نیز برای خطوط و دو نوع قطار AC و DC در نمودار ۱ نشان داده شده است.

جدول ۲. میانگین مقادیر RMS، فاکتور قله و VDV محورها و مقدار مجموع محورها در خطوط و قطارهای مختلف

VDV										فاکتور قله				I.m.s			
۱۵۰ (min)	۳۰ (min)	VSV	X _{br}	Z	y	X	X	X _{br}	Z	y	X	VSV	X _{br}	Z	y	X	
۱۲/۰۸	۸/۰۸	۶/۸۶	۳/۰۱	۶/۴۸	۳/۰۳	۳/۰۱	۶/۰۵	۶/۰۵	۹	۸/۹	۸/۵	۱/۰۳	-۰/۴۲	-۰/۷۵	-۰/۴۴	-۰/۳۶	
۱۱/۳۶	۷/۶	۵/۱۵	۲/۵۹	۲/۵۷	۴/۲۵	۲/۰۹	۸/۱۵	۸/۱۵	۶/۹	۱۱	۳/۳	-۰/۹۹	-۰/۴۳	-۰/۴	-۰/۶۲	-۰/۴۳	
۸/۵۲	۵/۷	۵/۳۷	۳/۱۲	۴/۳۸	۷/۹۷	۳/۴۹	۶/۱۳	۶/۱۳	۹/۱	۴/۳	۵/۵	-۰/۹۶	-۰/۴۶	-۰/۵۴	-۰/۴۴	-۰/۴۴	
۸/۷۱	۵/۸۳	۵/۷۲	۲/۷۴	۵/۰۴	۳/۲۴	۲/۸۸	۵/۹	۵/۹	۷/۹	۸/۱	۵	۱/۰۰	-۰/۴۲	-۰/۵۴	-۰/۴۶	-۰/۳۷	
۹/۴۶	۶/۳۲	۵/۹۶	۳/۱۵	۳/۵۱	۳/۸۴	۳/۶۹	۷/۲۵	۷/۲۵	۸/۸	۸/۹	۷/۱	۱/۳۴	-۰/۴۶	-۰/۵۸	-۰/۵۷	-۰/۴۷	
۹/۶	۶/۴۲	۵/۸	۲/۹	۴/۴۹	۳/۴۶	۳/۱۷	۷/۷	۷/۷	۸/۲	۸/۴	۵/۸	۱/۰	-۰/۴۴	-۰/۵۷	-۰/۵	-۰/۴	
۲/۲۷	۱/۵۲	۱/۳۷	۰/۸۶	۲/۳۶	۱/۰۴	-۰/۸۷	۲/۳	۲/۳	۴/۶	۴/۵	۳/۶	-۰/۱	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۱۱	

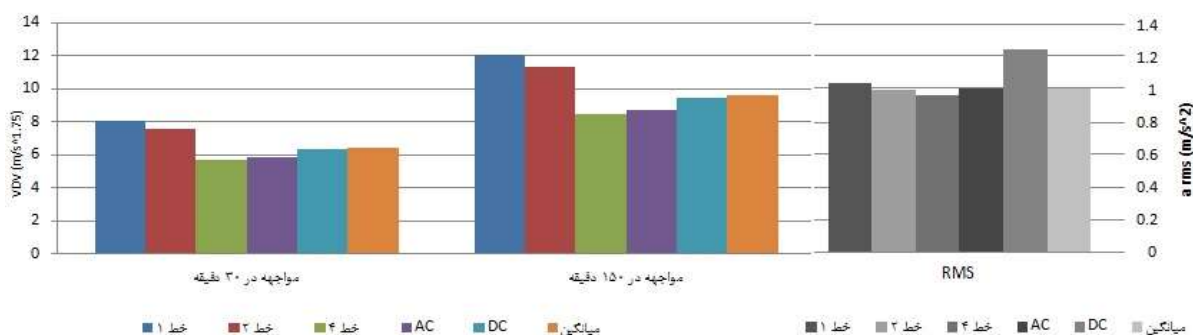
جدول ۳. مقادیر RMS و VDV محاسبه شده مجموع محورها در قطارها و سطوح مواجهه مطابق با روش ارزیابی ISO 2631-1

VDV				r.m.s				نوع قطار		ردیف	
سطح ریسک در مواجهه ۱۵۰ دقیقه ای	۱۵۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	سطح ریسک در مواجهه ۱۵۰ دقیقه ای	۳۰ دقیقه	سطح ریسک در مواجهه ۱۵۰ دقیقه ای	۳۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	VSV	نوع قطار	خط	ردیف
پایین	۹/۳۲	۶/۳۳	متوسط	۶/۳۳	متوسط	۶/۳۳	پایین	۰/۸۶	AC	۱	۱
متوسط	۱۳/۹	۹/۳۹	متوسط	۹/۳۹	متوسط	۹/۳۹	پایین	۱/۰۳	AC	۱	۲
متوسط	۱۰/۹	۷/۲۹	متوسط	۷/۲۹	متوسط	۷/۲۹	متوسط	۱/۱۳	DC	۱	۳
متوسط	۱۱/۳	۷/۵۸	متوسط	۷/۵۸	متوسط	۷/۵۸	متوسط	۱/۱۱	DC	۱	۴
پایین	۷	۴/۶۸	متوسط	۴/۶۸	متوسط	۴/۶۸	پایین	۰/۸۶	AC	۲	۵
پایین	۶/۷۸	۴/۵۳	متوسط	۴/۵۳	متوسط	۴/۵۳	پایین	۱/۰۳	DC	۲	۶
متوسط	۱۰/۴	۶/۹۷	متوسط	۶/۹۷	متوسط	۶/۹۷	متوسط	۱/۱۱	DC	۲	۷
متوسط	۹/۸۷	۶/۶	متوسط	۶/۶	متوسط	۶/۶	پایین	۰/۹۶	AC	۲	۸
پایین	۶/۱۱	۴/۰۹	متوسط	۴/۰۹	متوسط	۴/۰۹	پایین	۰/۸۵	AC	۴	۹
متوسط	۹/۶۳	۶/۴۴	متوسط	۶/۴۴	متوسط	۶/۴۴	پایین	۱/۰۱	AC	۴	۱۰
متوسط	۱۰/۴	۶/۹۵	متوسط	۶/۹۵	متوسط	۶/۹۵	پایین	۱/۰۱	AC	۴	۱۱
متوسط	۹/۶	۶/۴۲	متوسط	۶/۴۲	متوسط	۶/۴۲	پایین	۱			میانگین

۵. مقایسه روش‌های پایه و VDV

در حقیقت می‌توان گفت که در هیچ‌کدام از قطارها در مترو هیچ مسافری به اندازه یک روز کاری معمول مواجهه ندارد. به عبارت دیگر هر مواجهه مسافرین را نمی‌توان با مقادیر حدود مجازی که به صورت مشخص برای مواجهه روزانه و طولانی مدت با ارتعاش تمام بدن ارائه شده‌اند مقایسه نمود. همانطور که ذکر شد در این مطالعه بر اساس نتیجه‌گیری حاصل از بندهای قبل مقدار مجموع/برآیند سه محور در محل تماس صندلی - مسافر برای ارزیابی اثرات ارتعاش تمام بدن ناشی از مسافرت با مترو بر روی سلامت انسان انتخاب شد. نتایج مواجهه در مدت زمان‌های مورد

نظر در این مقاله با ارتعاش تمام بدن مطابق با هر دو روش در جدول ۳ ارائه شده است و سطح ریسک بهداشتی تعیین شده در جدول ۳ برای هر دو روش مشخص شده است. همانطور که در جدول ۳ مشخص است، عمدتاً ریسک‌های بهداشتی یکسانی بر اساس دو روش پیش بینی شده است. با اینحال سطوح ریسک بهداشتی در برخی از قطارها با هم بر اساس دو روش ارزیابی متفاوت است که این موضوع به مشخصات ویژه سیگنال ارتعاشی در هر قطار که ممکن است وابسته به شیب مسیری که قطار بر روی آن راهبری می‌شود، تفاوت کمی در سرعت قطارها در خطوط مختلف، انحنای مسیر راهبری قطار در هر خط مترو، خصوصیات مکانیکی ساختارهای هر قطار و ... باشد.



نمودار ۱. نتایج مواجهات RMS، VDV محاسبه شده مجموع محورها در خطوط و قطارهای مختلف

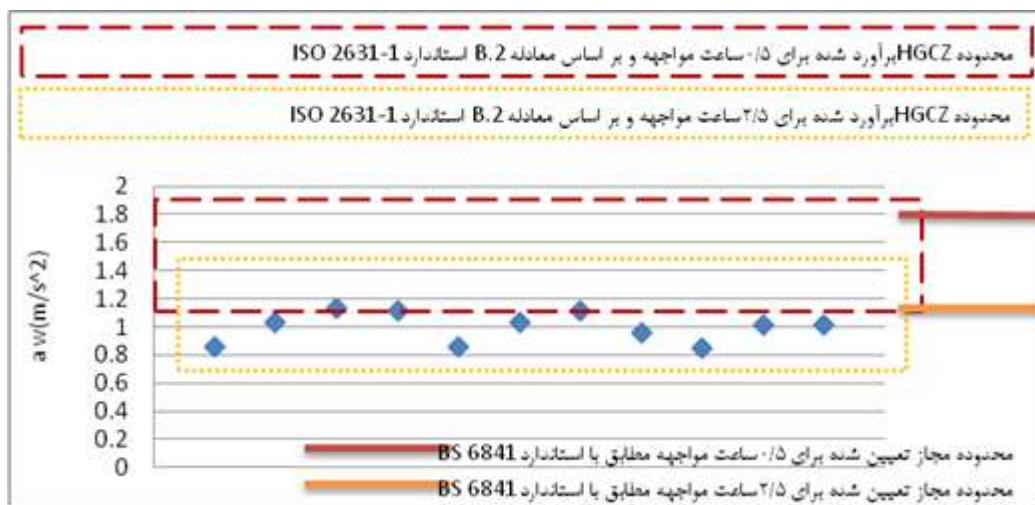
۶. بحث

در استانداردهای ارتعاش انسانی سطوح مواجهه‌ای که سلامت انسان را تامین می‌کند، معمولاً برای مواجهه در یک شیفت کاری معمول روزانه ارائه شده‌اند. البته در برخی از استانداردها نیز با رویکردهایی مانند استفاده از یک نمودار می‌توان حدود مواجهه ایمن در سایر زمان‌ها را نیز محاسبه نمود. در حین بررسی مواجهه مسافرین وسایل حمل و نقل استفاده از سطوح مواجهه ایمنی که برای ۸ ساعت تماس ارائه شده، متأسفانه در برخی از مطالعات صورت گرفته است که این موضوع عملی کاملاً اشتباه است چرا که زمان مسافرت معمولاً ۸ ساعت نیست و ثانیاً مواجهه مسافرین با

تفاوت‌های بین مقادیر RMS و VDV بدین سبب است که روش VDV توان چهارم را به جای توان دوم در روش RMS بکار می‌گیرد. که این موضوع روش VDV را نسبت به پیک‌های سیگنال ارتعاشی در مقایسه با RMS حساس‌تر می‌کند. هر چند که مقادیر CF سیگنال ارتعاشی در این مطالعه آنقدر بالا نبودند که با اطمینان بتوان گفت که سیگنال ارتعاش دارای تعداد زیادی شوک‌های ارتعاشی با دامنه بالا بوده است و به همین سبب است که ریسک بهداشتی مواجهه در دو روش در اکثر شرایط با هم یکسان است.

ارتعاش در مدت زمان‌های طولانی در طول یک روز، معمولاً به صورت مداوم و در روزهای متوالی انجام نمی‌گیرد. در مسافرت‌های بین شهری مواجهه مسافری معمولاً در هر سال بیشتر از چند بار تکرار نمی‌شود، بجز در افراد محدودی که دارای مشاغلی خاص هستند. این نوع مقایسه زمانی که چنین شرایطی وجود داشته باشد می‌تواند صحیح باشد. در مسافرت‌های درون شهری و مسافرت در حومه شهرها، معمولاً مدت زمان مواجهه کمتر از حدود ۲ تا ۲/۵ ساعت است البته در بسیاری از مسافرت‌های این دسته مواجهه معمولاً به صورت مکرر و در تعداد روزهای زیادی در طول سال اتفاق می‌افتد که ارزیابی مواجهه در این شرایط بایستی با حدود برآورد شده برای مدت زمان‌های کوتاه‌تر انجام گیرد. این سطح از مواجهه را می‌توان در ارزیابی مواجهه شغلی

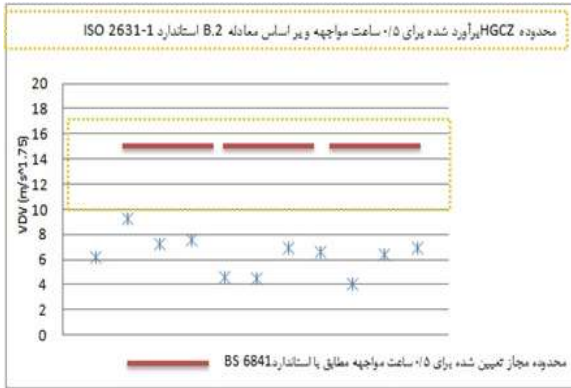
افرادی که در محیط کارشان نیز در معرض ارتعاش تمام بدن هستند، استفاده نمود. همچنین این سطح از مواجهه گاهی می‌تواند در صورت عدم وجود تماس شغلی پتانسیل صدمه و آسیب‌رسانی به مسافرین را در همین مدت زمان حین مسافرت درون شهری را نیز داشته باشد. در این مطالعه همانطور که از جدول ۳ و نمودار ۱ مشخص است، در مواجهه با ارتعاش تمام بدن طبق روش RMS زمانیکه زمان ۳۰ دقیقه مورد نظر بوده است دارای سطح ریسک بهداشتی پایینی در ۸ مورد و سطح ریسک بهداشتی متوسطی در سه قطار (۳، ۴ و ۷) و زمانی که مواجهه روزانه ۱۵۰ دقیقه با همان بزرگی باشد، ریسک بهداشتی در تمامی قطارها در سطح متوسط احتمال آسیب‌رسانی قرار گرفت.



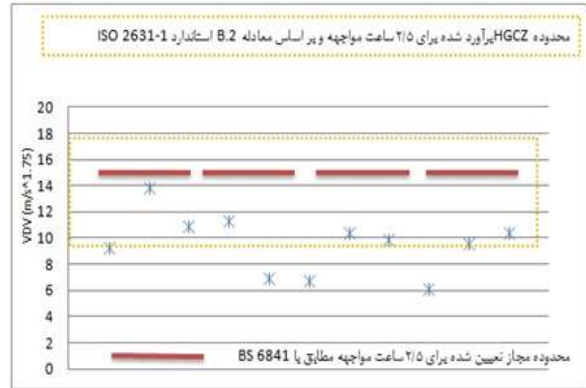
نمودار ۲. مقایسه مقادیر RMS و حدود HGCZ برآورد شده در ۳۰ و ۱۵۰ دقیقه بر اساس سطوح مجاز استانداردهای ISO 2631-1, BS 6841

هنگامیکه روش VDV به عنوان روش ارزیابی بکار گرفته شد، در صورت مواجهه ۳۰ دقیقه‌ای مکرر در روز تمامی مواجهات برآورد شده در ۱۱ قطار، سطح ریسک بهداشتی پایینی داشتند و در زمان مواجهه ۱۵۰ دقیقه غیر از ۴ مورد (۱، ۵، ۶ و ۹) که سطوح ریسک پایینی داشتند، بقیه‌ی قطارها در سطح ریسک متوسط و پتانسیل بروز اثرات

بهداشتی قرار گرفتند. محدوده‌ی RMS و VDV نهایی محاسبه شده در این مطالعه در مقایسه با مطالعه انجام شده توسط منال ال سید^{۱۰} و همکاران در مترو قاهره سطوح ریسک پایین‌تری را نشان داده است و نسبت به مطالعه راماسامی نارایانا مورثی^{۱۱} و همکاران در سوئد سطوح ریسک بالاتری مشاهده شده است [۸، ۲۶].



(الف)



(ب)

نمودار ۳. (الف) مقادیر محاسبه شده VDV در ۳۰ دقیقه همراه با حدود مجاز مربوطه از استانداردهای ISO, BS (ب) مقادیر محاسبه شده VDV در ۱۵۰ دقیقه همراه با حدود مجاز مربوطه از استانداردهای ISO, BS

بینی شده است. این موضوع احتمالاً بدین سبب است که معمولاً در سیگنال‌های ارتعاشی که دامنه شتاب در آن در یک محدوده‌ی ثابت تغییر می‌کند و سیگنال فاقد شوک‌های مکرر و ناگهانی است. روش‌هایی که از ریشه دوم مربعات شتاب بدست می‌آید نتایج دقیق تری را ارائه می‌کند و بهمچنین روش‌هایی که از ریشه چهارم توان‌های چهارم هستند نتایج دقیق تری از روش‌هایی که ریشه ششم توان‌های ششم را بدست می‌دهند، ارائه می‌کنند. وضعیتی مشابه با این شرایط در مطالعه چائو^{۱۴} و همکاران، کوپرایدر و گوردن^{۱۵} (۲۰۰۶)، ایگر و همکاران^{۱۶} (۲۰۰۸) و اسمتزر و همکاران^{۱۷} (۲۰۱۰) نیز بدست آمده است. چائو در سال ۲۰۱۴ در ارزیابی مواجهه لودرهای چرخدار متوسط (CWL)، کوپرایدر و گوردن در لوکوموتیوها، ایگر در ماشین‌های LHD و اسمتزر در یدک-کش‌ها؛ ریسک‌های بهداشتی ناشی از مواجهه با ارتعاش تمام بدن را مطابق با ISO 2631-1,5 بررسی نموده اند. [۱۶, ۱۷, ۱۹, ۲۸]

البته بایستی یاد آور شد که در ارزیابی صورت گرفته با روش VDV مقادیر سطوح ایمن از معادله ۷ بدست آمد و در استاندارد ISO 2631-1 هم متاسفانه فقط حدود بالا و پایین در ۸ ساعت مشخص شده است و ممکن است که در آینده مطالعات دیگری مشخص نمایند که مقادیر دوز ارتعاش در مدت زمان‌های کوتاه‌تر یا طولانی‌تر از ۸ ساعت بر اساس

طی مطالعات انجام شده در سالیان اخیر مشخص شده است که سطوح تعیین شده جهت شاخص VDV به منظور تامین سلامت بهداشتی در مواجهه با ارتعاش تمام بدن احتمالاً به اندازه کافی ایمن نبوده و بنابراین بایستی به صورت جدی اصلاح و کاهش یابد. عالم^{۱۲} پیشنهاد نموده است که حدود پایین و بالای VDV بایستی به ترتیب به ۳/۵ و ۴/۸ کاهش یابد. با توجه به این موضوع اگر بررسی انجام شده بر اساس حدود VDV برآورد شده توسط Alem صورت پذیرد همه قطارها در صورت مواجهه ۱۵۰ دقیقه در سطح ریسک بهداشتی بالا و در صورت مواجهه ۳۰ دقیقه‌ای غیر از دو مورد (۵ و ۶) در سطح ریسک متوسط و بقیه قطارها دارای سطح ریسک بالایی بودند [۲۷].

مطابق با نتایج اندازه‌گیری شده همچنین مشخص شد که هم در روش RMS و هم در روش VDV در ۷ قطار محور غالب محور Z بوده است البته این ۷ مورد بر اساس دو روش همگی در ۷ قطار ثابت رخ نداده و در قطارهای مختلفی اتفاق افتاده است. نتایج مشابهی نیز در مطالعه خوانین و همکاران در همین قطارها و در مطالعه جانینگ^{۱۳} و همکاران نیز وجود دارد.

همانطور که در جدول ۳ نیز نشان داده شده است، ریسک بهداشتی پیش بینی شده در این مطالعه، در روش RMS معمولاً سطح ریسک بالاتری نسبت به روش VDV پیش

روشی دیگر برآورد شوند. در هر صورت بر اساس مطالعه حاضر روش RMS به نظر روش ارجح تر است. با این وجود بررسی ارتعاش در دسته‌های دیگری از وسایل نقلیه نشان داده است که روش VDV عموماً ارزیابی ایمن تری را نسبت به روش RMS نشان می‌دهد.

مسئله حائز اهمیت دیگری که در مطالعات اخیر در مقایسه دو استاندارد اصلی ISO صورت گرفته است این است که حدود ارائه شده VDV در استانداردهای مختلف ممکن است ایمنی لازم و کافی را برای تامین سلامت انسان فراهم نکند بنابراین مطالعات بیشتری بایستی در این ارتباط خصوصاً در تعیین مرزهای ایمن مواجهه با ارتعاش بر اساس شاخص VDV صورت پذیرد. مواجهه ارتعاش در هر محیط یا در هر یک از ماشین‌آلاتی که ممکن است سبب تولید ارتعاش انسانی نماید دارای ویژگی‌های خاص خود بوده و عموماً نمی‌توان روش کلی را برای عموم تجهیزات و شرایط در نظر گرفت.

همانطور که ذکر شد 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 ۲ با توجه به معادلات مربوطه در استاندارد ارائه شده است. برای تعیین سطح ریسک بروز صدمات بهداشتی در مسافری در صورت مواجهه متوالی و مکرر مطابق نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب برای زمانی که مدت مواجهه روزانه ۰/۵ ساعت و ۱۵۰ دقیقه باشد ارائه شده‌اند. قرارگیری محدوده HGCZ تعیین شده برای هر مدت زمان مواجهه چه در روش r.m.s و چه در روش VDV بر روی نمودارها به روشنی سطح ریسک را برای کل نمونه‌ها، خطوط مختلف و دو نوع قطار مختلف را نشان می‌دهد.

ارزیابی نتایج بر اساس حدود مجاز ارائه شده در استاندارد BS طبق روش RMS نیز نشان داد که در زمان مواجهه ۱۵۰ دقیقه سه مورد ۳، ۴ و ۷ بالاتر از حد مجاز برآورد شده از نمودار تعیین‌کننده سطوح ایمن در BS و در مدت زمان ۳۰

دقیقه‌ای مواجهه همگی در سطح ایمنی از تماس قرار داشتند بر اساس روش VDV تمامی مواجهات محاسبه شده از مقدار کلی ۱۵ مشخص شده در این استاندارد پایین تر بودند.

۷. نتیجه گیری

نهایتاً همانطور که از نمودار ۲ می‌توان به روشنی مشاهده نمود، شتاب r.m.s کلی پیش‌بینی شده مطابق با BS 6841، $1 \frac{m}{s^2}$ برای مسافرینی با ۳۰ دقیقه مواجهه در روز بطور متوالی عمدتاً دارای ریسک بهداشتی پائینی، تعیین شده با استفاده از معادله ایمن تر در استاندارد، که در مدت زمان‌های مواجهه کوتاه‌تر حدود ایمن تری را ارائه می‌دهد و در مواجهه ۱۵۰ دقیقه در محدوده HGCZ بر اساس همین معادله و دارای ریسک بهداشتی پائینی بود. بر طبق محاسبات استاندارد، مقادیر VDV برای مواجهه مسافرین در مدت زمان ۳۰ دقیقه بر اساس دستورالعملی که ایمنی بیشتری ایجاد می‌کرد، تمامی مواجهات در پایین تر از حد HGCZ و در زمان ۱۵۰ دقیقه غیر از ۴ مورد که ریسک پائینی داشتند، بقیه‌ی ۷ مورد دیگر در محدوده HGCZ قرار داشتند. این سطح از مواجهه در مسافرینی که به واسطه شغلشان نیز در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند می‌تواند مهم‌تر بوده و در بررسی شغلی آنها مقادیر مواجهه در این مطالعه نیز بهتر است مد نظر قرار گیرد.

۸. تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته بهداشت حرفه‌ای و با حمایت مالی دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است در پایان همچنین از همکاری 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 در اجرای تحقیق حاضر قدردانی می‌نمائیم.

- [1] Griffin, M.J., “*Handbook of Human Vibration*”. Academic Press, London, 1990.
- [2] “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.
- [3] Nuawi, M. Z., A. R. Ismail, M. Nor, M. M. Rahman, M. M., “Comparative study of whole-body vibration exposure between train and car passengers: a case study in Malaysia”. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*, Vol.4, 2011, pp. 490-503.
- [4] Hostens, I., Y. Papaioannou, A. Spaepen, and H. Ramon, “A study of vibration characteristics on a luxury wheelchair and a new prototype wheelchair”. *Journal of Sound and Vibration*, Vol.266, 2003, p. 9.
- [5] Johanning, E., P. Landsbergis, S. Fischer, E. Christ, B. Gores, R. Luhrman, “Whole-body vibration and ergonomic study of US railroad locomotives”. *Journal of Sound and Vibration*, Vol.298, 2006, pp.594–600.
- [6] Mansfield, N.,” *Human Response to Vibration*”, CRC PRESS, London, 2005.
- [7] Ismail, A.R., M.Z. Nuawi, C.W. How, N. F. Kamaruddin, M. J. M. Nor, and N. K. Makhtar, “Whole body vibration exposure to train passenger”. *American Journal of Applied Sciences*, Vol.7, No.3, 2010, p.8.
- [8] Manal El Sayed, Shahira Habashy, Mohamed El Adawy, “Evaluation of whole body vibration to cairo subway (metro) passengers”. *Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation*, Vol.1, No.7, 2012, p.11.
- [9] Bovenzi, M., et al., “An epidemiological study of low back pain in professional drivers”. *Journal of Sound and Vibration*, Vol.298, No.3, 2006, pp. 514-539.
- [10] Bovenzi, M. and C. Hulshof, “An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain” (1986–1997). *International archives of occupational and environmental health*, Vol.72, No.6, 1999, pp.351-365.
- [11] Manal El Sayed, Shahira Habashy, Mohamed El Adawy, “Whole-body-vibration measurement and assessment for cairo subway (metro), car and bus passengers”. *Development (IJEICERD)*, Vol.3 No.1, 2013, pp.185-202.
- [12] Garg, A. and J. Moore, “Epidemiology of low-back pain in industry”. *Occupational medicine (Philadelphia, Pa.)*, Vol.7, No.4, 1991, p.593-608.
- [13] “International organization for standardization”, 1997. ISO 2631-1, *Mechanical vibration and shock—evaluation of human exposure to whole-body vibration—part 1: general requirements. International Organization for Standardization, Switzerland*.
- [14] “British Standards Institution BS 6841”, Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock, 1987.
- [15] Khavanin, A., 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, 2014, p.15.
- [16] 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*, Vol.44, No.6, 2014, pp. 840-850.
- [17] Smets, M.P., T.R. Eger, and S.G. Grenier, “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*, Vol.41 No.6, 2010, pp. 763-770.

- [18] Silviu NASTAC, M.P., "Evaluating methods of whole-body-vibration exposure in trains". *The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle Xiv Mechanical Engineering*, 2010
- [19] Cooperrider, N.K. and J. Gordon. "Shock and Impact on North American Locomotives Evaluated with ISO 2631 parts 1 and 5. In *Proceedings of the First American Conference on Human Vibration* (June 5–7, 2006). Morgantown, WV: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication. 2006.
- [20] Khavanin, A. K.A., R. Mirzaei, S.B. Mortazavi, H. Assilian, A. "Solaimanian, application of iso 2631-1 standard for assessment of exposure to whole body vibration and repeated shock in tehran metro drivers". *Journal of Health and Safety at Work*, Vol.4, No.2, 2014, p.13.
- [21] Standardization, I.O.f., ISO 10326-1, Mechanical Vibration -- *Laboratory Method for Evaluating Vehicle Seat Vibration -- Part 1: Basic Requirements*. 1992.
- [22] South, T., "*Managing Noise and Vibration at Work*", Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
- [23] He, K.-H., "*Survey of Whole-body Vibration Exposure at Work of Excavator Operators*. 2009.
- [24] Mansfield, N., P. Holmlund, and R. Lundström, "Comparison of subjective responses to vibration and shock with standard analysis methods and absorbed power". *Journal of Sound and Vibration*, Vol.230, No.3, 2000, pp. 477-491.
- [25] Zhao, X., M. Kremb, and C. Schindler "Assessment of Wheel Loader Vibration on the Riding Comfort According to ISO Standards". *Vehicle System Dynamics*, vol.51 no.10, 2013, p. 1548-1567.
- [26] Narayanamoorthy, R.S., V.H Goel, V.K. Harsha, Khan, S.P., Berg, S.M., "Determination of Activity Comfort in Swedish Passenger Trains". In *Proceedings of 8th World Congress on Railway Research (WCRR 2008)*. 2008.
- [27] Alem, N., Application of the new ISO 2631-5 to health hazard assessment of repeated shocks in US army vehicles. *Industrial Health*, Vol.43, No.3, 2005, pp. 403-412.
- [28] Eger, T., et al., "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*, Vol.38, No.9, 2008, pp.726-738.

پی نوشت

1. Root mean square
2. Vibration Dose Value
3. Directive
4. Svantek
5. Triaxial accelerometer
6. Detection Time
7. Health Guidance Caution Zone (HGCZ)
8. Mansfeild et al
9. Zhao and Schindler
10. Manal El Sayed
11. Ramasamy Narayana murthy
12. Alem
13. Johanning
14. Chao
15. Cooperrider and Gordon
16. Eger
17. Smets