# ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با ارتعاش تمام بدن با استفاده از استانداردهای ISO 2631-1 و BS 6841

علی خوانین[۱] - رمضان میرزایی[۲] - محمدحسین بهشتی[۳] - زهرا صفری[۴] - کیکاوس ازره[۳*]

azrah.1365@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۸

## چکیده

**مقدمه:** رایج‌ترین استانداردهای مورد استفاده برای پیش بینی ریسک بهداشتی ناشی از ارتعاشات تمام بدن ISO 2631-1 و BS 6841 می باشد که فرکانس‌های توزین و ضرایب مختلفی را برای حساسیت های متفاوت در محور های مختلف ارایه می‌کنند در این مطالعه حدود ۹۰۰ دقیقه اندازه گیری ارتعاش بر روی ۹ قطار در یکی از خطوط فعال مترو تهران با هدف مقایسه استانداردهای مذکور در بررسی میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن انجام شد.

**روش کار:** در این مطالعه علاوه بر ارزیابی شاخص های ارتعاشی مختلف، تفاوت های دو استاندارد ISO 2631-1 و BS 6841 مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر شتاب موثر، دوز ارتعاش و دوز روزانه ارتعاشی در محور های x،y و z نشیمن‌گاه و همچنین محور x پشتی صندلی رانندگان مترو طبق توصیه ها و راهنمایی های هر دو استاندارد به صورت جداگانه اندازه گیری شد.

**یافته ها:** میانگین مقادیر محاسبه شده شتاب موثر و مقدار دوز ارتعاش در استاندارد BS 6841 پایین‌تر از مقادیر محاسبه شده ISO 2631 شد. نتایج به‌دست آمده بیانگر سطوح ریسک بالاتر از $m_{s1.75}$ ۱۷ در ۳ نمونه طبق استاندارد ISO و در ۳ نمونه نیز بالاتر از مقدار راهنمای کلی $m_{s1.75}$ ۱۵ ارایه شده استاندارد BS 6841 بود.

**نتیجه گیری:** انجام محاسبات با روش ISO مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد و بنابراین معیار ایمن تری را نسبت به BS 6841 ارایه می‌کنند. هرچند که راهنمای کلی $m_{s1.75}$ ۱۵ در BS از میزان حد بالایی ناحیه احتیاط راهنمای بهداشتی، $m_{s1.75}$ ۱۷ ، ISO کمتر است. به‌علاوه ارتباط بین مقادیر شتاب موثرو دوز ارتعاش در استاندارد ISO 2631 کمی کمتر از ارتباط میان همین مقادیر در BS 6841 شد.

**کلمات کلیدی:** *ارتعاش انسانی، شتاب r.m.s، استانداردهای ارتعاش انسانی، دوز ارتعاش*

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت و مرکز ارتقای سلامت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان.
۳- مربی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد.
۴- دانش آموخته کارشناسی مهندسی بهداشت حرفه‌ای

## مقدمه

مواجهه با ارتعاش مکانیکی ماشین آلات و تجهیزات متحرک می‌تواند بر روی آسایش،راندمان کاری و بهداشت و ایمنی موثر باشد. (BS EN 1032, 2003) ارتعاش تمام بدن زمانی اتفاق می افتد که انسان روی یک سطح لرزشی قرار گیرد. از جمله مهم‌ترین نقاط ورود ارتعاش به بدن می توان به پاها، نشیمن‌گاه، کمر و پشت سر اشاره نمود. هنگامی که فردی در محیط کار به حالت ایستاده کار می‌کند، انرژی ارتعاشی از طریق پاها به بدن او وارد می شود و هنگامی که کار فرد به‌صورت نشسته باشد، انرژی ارتعاشی عمدتاً از طریق نشیمن‌گاه و پاها و در مواردی نیز از طریق پشتی و یا تکیه گاه سر به بدن وارد می شود. موقعیت هایی نیز وجود دارد که افرادی که حالت دراز کش دارند (مانند فردی که در یک وسیله نقلیه یا در سکوهای نفتی در حالت درازکش خوابیده است) تحت تأثیر ارتعاش تمام بدن قرار می گیرند که در این حالت می توان فرض کرد که انرژی ارتعاشی از پشت به بدن وارد می‌شود (Mansfield, 2005; South, 2004 Johanning *et al.,* 2006). روی هم رفته امروزه در دنیا، ریسک مواجهه با ارتعاش تمام بدن بیش از حد آستانه مجاز به خوبی شناخته شده و الزامات ویژه ای راجع به پیشگیری از مواجهه با ارتعاش تمام بدن ارایه شده است. با این حال اطلاعات اندکی درباره ارتعاش تمام بدن و شرایط کاری راهبران قطارها در متون ارتعاش و بهداشت شغلی موجود دیده می شود. یکی از دلایل در این رابطه شاید این است که در گذشته این صنعت و متولیان آن در دنیا رغبت کمی به بررسی این گونه مسایل نشان داده اند. در مترو تهران نیز در این رابطه شرایط بدتر بوده و تقریباً اندازه گیری مدون و مستندی با استفاده از استانداردهای فعلی یا قبلی انجام نگرفته است.راهبران قطارها در یک محیط کاملاً ویژه در معرض میزان قابل توجهی ارتعاش تمام بدن و همچنین شوک قرار دارند که این میزان با توجه به عواملی از قبیل طراحی کابین قطار، سرعت قطار، نحوه انجام وظایف عملیاتی کاربر و چگونگی مسیر عبور متفاوت است. (Johanning *et al.,* 2006; ISO 2631-4,2001; Rehn et al, 2005).

در مطالعات اپیدمیولوژیکی اخیر در بین مهندسین لوکوموتیو در آمریکای شمالی مشخص گردیده است که شیوع انواع اختلالات گردن و قسمت تحتانی کمر (Lower back) در وضعیت نشسته بدون مواجهه با ارتعاش نزدیک به دو برابرگروه شاهد می‌باشد. در ارتباط با ارتعاش تمام بدن، بررسی متون شواهدی را مبنی بر تأثیر ارتعاش تمام بدن در افزایش توده استخوانی در سالمندان ، در افراد با تراکم استخوانی کم و نوجوانان ارایه می‌دهد. مکانیسمی که ممکن است مسبب این رخدادها باشد ، کاهش خون رسانی بافتی است . نوسان در هورمون های سیستمیک از طریق تحریک مستقیم مکانیکی رخ می‌دهد. اثرات بالقوه ارتعاش تمام بدن بر روی سیستم های فیزیولوژیکی متعدد ممکن است توسط مکانیسم های مستقیم یا غیرمستقیم، رخ دهد . در برخی از متون به لومباگو نیز اشاره شده است. (Cooperrider, 2008; Prisby *et al.,* 2008; Rehn et al, 2005; johanning *et al.,* 2006)

در ارتعاش تمام بدن محدوده فرکانسی حایز اهمیت، از ۰/۵ تا ۸۰ هرتز است، اما آن‌جایی‌که ریسک صدمات در همه فرکانس ها برابر نیستند، یک باند توزین فرکانسی جهت بیان احتمال صدمات در فرکانس های مختلف ارایه شده است.

در نتیجه، هنگامی که فرکانس بالا رود، شتاب وزن یافته افزایش می یابد. (European Committee for Standardization, 2003) در حال حاضر جهت ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن با توجه به پاسخ انسان، چندین روش ارزیابی ارایه شده است که مهم‌ترین روش‌های مورد پذیرش رایج عبارتند از:

- BS 6841: 1987
- ISO 2631-1 :1997

در روش های اندازه گیری و ارزیابی این استانداردها تفاوت‌هایی وجود دارد. در این مطالعه تلاش شده است تا روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی شاخص‌های بهداشتی ارتعاش و نتایج حاصل از آنها برطبق دو استاندارد ISO 2631-1 و BS 6841 مقایسه شوند.

به‌طور کلی هر دو استاندارد دو روش را برای ارزیابی مواجهه انسانی با ارتعاش تمام بدن ،که حاوی ارتعاشات ضربه ای (Shock) و کوبه‌ای (Impact) نیز می‌باشد، ارایه نموده‌اند. در ISO 2631-۱ روش اندازه گیری شتاب ریشه میانگین مربعات (r.m.s) یا میزان ارتعاش گذرای حداکثر MTVV و مقدار دوز ارتعاش VDV (توان چهارم دوز ارتعاشی) شرح داده شده است و بیان می‌کند زمانی که فاکتور قله بالاتر از ۹ باشد، میزان دوز ارتعاش ارزیابی مطمئن تری از مواجهه را ارایه می‌دهد، زیرا بالا بودن فاکتور قله بیانگر وجود تکانه‌های ارتعاشی و وجود شوک‌های تکراری می‌باشد. اما استاندارد BS 6841 این میزان ریسک را نیز نپذیرفته و بیان می‌کند که برای فاکتور های قله ای بالاتر از ۶ باید ارزیابی مواجهه ریسک بهداشتی با ارتعاش تمام بدن بر اساس VDV انجام گیرد و MTVV را نیز توصیه نمی‌کند. البته هر دو استاندارد بیان می کنند، حتی در صورتی که VDV مبنای ارزیابی قرار می‌گیرد باید شتاب r.m.s وزن یافته فرکانسی نیز گزارش گردد. (BS 6841,1987; ISO 2631-1,1997) Lewis و Griffin نیز طی مطالعه‌ای اعلام می‌نمایند که قضاوت بر مبنای VDV برای کاهش مدت زمان مواجهه روزانه مطمئن‌تر و محتاطانه تر است. استاندارد ISO 2631-1 برای ارزیابی ارتعاش همراه با شوک - که معروف به روش ارزیابی پایه است – بیان می کند که در این روش ارزیابی ممکن است ریسک مواجهه واقعی کمتر از حد واقعی سنجیده شود (Johaning, 2010; Lewis, 1997).

در اکثر ارزیابی های ارتعاش، اندازه گیری هایی که در مختصات سه گانه انجام می‌شود باید با یکدیگر ادغام شوند. اما متاسفانه اغلب استانداردها از مد نظر قرار دادن محور غالب پشتیبانی می کنند و دو محور از سه محور بدون استفاده باقی می ماند که صحت این کار قابل بحث می باشد. استاندارد بریتانیایی

**جدول ۱: تفاوت های استاندارد های ISO 2631 و BS6841 در باندهای توزین و ضرایب محورهای مختلف**

| محل اندازه گیری | محور | باند توزین فرکانسی | | ضرایب محورها | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | BS ۶۸۴۱ | ISO ۲۶۳۱ | BS ۶۸۴۱ | ISO ۲۶۳۱ |
| نشیمنگاه صندلی | x | Wd | Wd | ۱ | ۱/۴ |
| | y | Wd | Wd | ۱ | ۱/۴ |
| | z | Wb | Wk | ۱ | ۱ |
| پشتی صندلی | x | Wc | Wc | ۰/۸ | ۰/۸ |

BS 6841:1987 پیشنهاد می کند که شتاب معادل با استفاده از اندازه گیری ۴ محوره صندلی (Z و Y X، نشیمن‌گاه و X پشتی صندلی) محاسبه گردد. حال آنکه استاندارد ISO 2631-1:1997 پیشنهاد می‌کند که ارتعاش فقط در سه جهت انتقالی بر روی نشیمن‌گاه اندازه‌گیری گردد، اما فقط جهتی که بیشترین شدت (محور غالب) را دارد برای ارزیابی شدت ارتعاش استفاده شود. (BS 6841,1987; ISO 2631-1,1997; Paddan and Griffin,2002) از جمله مهم‌ترین تفاوت‌های دیگر بین دو استاندارد ISO 2631-1 و BS 6841 می‌توان به اختلافاتی اندک در برخی فرکانس‌های باندهای توزین در محورهای مختلف و همچنین تفاوت هایی در ضرایب محورهای x و y می‌توان اشاره نمود. در ارتعاش تمام بدن طبق توصیه استاندارد ISO 2631-1 دو فیلتر توزین فرکانسی قراردادی با عناوین ($W_d$) برای ارتعاش دو محور عرضی و طولی و ($W_k$) برای ارتعاش محور عمودی در حالتی که فرد بر روی صندلی نشسته است مورد استفاده قرار می گیرد. این فیلترها در استاندارد BS 6841 در محورهای عرضی و طولی با استاندارد ISO 2631-1 مشابه بوده اما در محور عمودی باند توزین $W_b$ به جای $W_k$ توصیه شده است. جزییات این اختلافات در جدول شماره ۱ ارایه شده است. زمانی که مطالعه جهت ارزیابی ریسک بهداشتی ارتعاش تمام بدن انجام می گیرد ، فاکتورهای ضریب اضافی برای محور های x و y به‌کار می‌رود. استاندارد انگلیسی BS 6841 در مورد هر دو مقیاس شتاب r.m.s و VDV توصیه می‌کند اندازه‌گیری در چهار جهت ارتعاشی بر روی سطح نشیمن‌گاه ((ارتعاش عمودی ،عرضی، طولی (جلو به پشت) و همچنین ارتعاش پشتی صندلی (جلو به پشت)) انجام گردد و جهت ارزیابی، برآیند مجموع این چهار جهت مورد ارزیابی قرار گیرد. اما استاندارد ISO 2631 از این ایده پیروی می‌کند که ارزیابی ارتعاش تمام بدن فقط باید بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری سه جهت اصلی بر روی نشیمن‌گاه انجام گردد. این استاندارد با وجود این که اندازه‌گیری ارتعاش پشتی صندلی را نیز توصیه می کند، اما در محاسبات ارزیابی فقط نتایج سه محور اصلی ارتعاشی را مد نظر قرار می دهد. این استاندارد بیان می کند که بالاترین مقدار شتاب WRMS و VDV محورها برای مقایسه با حدود مجاز مربوط به ۸ ساعت مواجهه روزانه انتخاب شود. با وجود این‌که خود استاندارد بیان می‌کند زمانی که یک محور غالب وجود دارد باید محور غالب گزارش شود و هنگامی که مقادیر اندازه گیری شده ارتعاش در هرسه جهت z,y,x فاقد محور غالبی باشد آنگاه برآیند سه محور جهت ارزیابی ارتعاش مورد بررسی قرار گیرد، اما مقیاسی کمی در مورد غالب بودن ارایه نداده است، استاندارد EN 1032 که همخوانی و ارتباط بسیار نزدیکی با استاندارد ISO 2631 دارد، معیاری کمی برای غالب بودن یک محور را در سال ۲۰۰۳ ارایه نموده است به نحوی که یک محور زمانی می تواند به عنوان محور غالب در نظر گرفته شود که میزان شتاب r.m.s وزن یافته فرکانسی در دو جهت دیگر، پس از اعمال ضرایب ۱/۴ در محورهای عرضی(x) و طولی (y) کمتر از ۰/۶۶ محور غالب باشد. (BS EN 1032, 2003; BS 6841, 1987; ISO 2631-1, 1997)

## روش کار

در ارتعاش تمام بدن به دلیل آنکه ریسک صدمات در همه فرکانس ها برابر نیستند، یک باند توزین فرکانسی جهت بیان احتمال صدمات

در فرکانس های مختلف ارایه شده است. در نتیجه، هنگامی که فرکانس بالا رود، شتاب وزن یافته افزایش می‌یابد. (European Committee for Standardization, 2003) و بنابراین جهت یکسان سازی این تاثیرات است که باندهای توزین فرکانسی متفاوتی ارایه شده است. بررسی ارتعاش تمام بدن در این مطالعه مطابق با هر دو استاندارد با استفاده از اندازه گیری مقادیر شتاب r.m.s وزن یافته فرکانسی سه محور با اعمال فاکتورهای وزنی مربوطه (محور X,Y K=1.4 و محور Z K=1) و باندهای توزین فرکانسی مرتبط (محور X,Y $w_d$ و محور Z $w_d$) برای استاندارد ISO 2631 و اندازه گیری مقادیر شتاب r.m.s وزن یافته فرکانسی چهار محوره بدون اعمال فاکتور وزنی خاصی و باندهای توزین فرکانسی مرتبط (محور X,Y $w_d$ و محور Z $w_b$ و X پشتی صندلی $w_c$) برای استاندارد BS 6841 انجام گردید و محاسبات بر طبق هر دو استاندارد صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل ارتعاش تمام بدن در این مطالعه طبق دستورالعمل اجرایی دو استاندارد انجام شد. برخی از معادلات مورد نیاز در انجام محاسبات در ادامه ارایه شده اند. جزییات کامل در مستندات استانداردها بیان شده است.

شتاب r.m.s وزن یافته فرکانسی در هر دو استاندارد بر اساس معادله ۱ تعریف شده که در آن $a_{w\ rms}$: شتاب r.m.s وزن یافته فرکانسی T: مدت زمان اندازه گیری و $a_w(t)$ ؛ شتاب وزن یافته فرکانسی در زمان t است.

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

در اندازه گیری شتاب r.m.s -که شتاب میانگین را در طول زمان اندازه‌گیری نشان می‌دهد- محورهای سه گانه با گرفتن ریشه دوم مجموع مربعات شتاب ها با یکدیگر ترکیب می شوند. این ترکیب برای مقادیر شتاب r.m.s با استفاده از روش سازمان بین المللی استاندارد از طریق معادله زیر انجام می شود؛

$$a_{xyz} = \sqrt{a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2} \qquad (۲)$$

که در این رابطه :

$a_{xyz}$: ریشه مجموع مربعات وزن یافته فرکانسی و $a_{wy}$، $a_{wx}$ و $a_{wz}$: به ترتیب شتاب های r.m.s وزن یافته در محورهای z,y,x

VDV نیز بر اساس معادله ۳ محاسبه می شود که در آن T: زمان اندازه گیری و $a_w(t)$: شتاب وزن یافته فرکانسی در زمان t می‌باشد.

$$VDV(m/s^{1.75}) = \sqrt[4]{\int_0^T [a_w(t)]^4\,dt} \quad m/s^{1.75} \qquad (۳)$$

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

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

که در این رابطه :

$VDV_{xyz}$ : دوز ارتعاش ترکیب شده و $VDV_x$ $VDV_y$، و $VDV_z$ ، به ترتیب دوز ارتعاش در محورهای z,y,x می‌باشد.

مقادیر VDV بر اساس توان چهارم میانگین شتاب وزن یافته مواجهه بوده و به گونه ای است که تاکید می نماید مقادیر شتاب بزرگتر نسبت به متوسط توان دوم محاسبات شتاب r.m.s ارزش بیشتری دارد. جهت دسترسی به معادلات مورد

استفاده در این مقاله می‌توان به خود استانداردها رجوع کرد.

محاسبات مربوط به ترکیب نمودن محورها در استاندارد BS 6841 نیز با استفاده از معادله:

$$a_{xyz} = \sqrt{a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2 + a_{x_{seat}}^2}$$

برای شتاب r.m.s و:

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

برای روش VDV انجام شده است.

در این مطالعه مقادیر MTVV ذکر نشده اند زیرا این شاخص فقط بالاترین شتاب در زمان یک ثانیه را نشان می دهد که برای دوره اندازه گیری بین ۴۴۰۰ تا ۹۱۲۰ ثانیه بی معنی است. همچنین نه استاندارد ISO 2631-1 و BS 6841 و نه هیچ منبع دیگری یک راهنما برای استفاده و ارزیابی آثار بهداشتی ارتعاش و مواجهه با شوک با استفاده از این شاخص ارایه نداده اند.

جهت بدست آوردن داده های ارایه شده در این مقاله از دستگاه ارتعاش سنج و آنالیزور SVAN 958 ساخت کمپانی Svantek با مشخصات ذیل استفاده گردید:

- شتاب سنج نشیمن‌گاه سه محوری 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 ۱۲ mm نصب شده است.
- با دتکتورهای دیجیتال اندازه گیری r.m.s و r.m.q همراه با تشخیص پیک دارای ثابت زمانی از ۱۰۰ میلی ثانیه تا ۱۰ ثانیه
- شتاب سنج با حساسیت ۱۰۰ mv/g و محدوده اندازه گیری ۰/۰۰۳ rms $m/s^2$ تا ۵۰۰ $m/s^2$ پیک
- مقاومت به شرایط دمایی از ۱۰- تا ۵۰ درجه سانتیگراد و رطوبت تا ۹۰ درصد.

هنگام اندازه‌گیری زمان تشخیص، دستگاه بر روی ۱۰۰ میلی ثانیه قرارگرفت (۱۰ نمونه در ثانیه) و فیلتر باند توزین فرکانسی مورد استفاده برای اندازه‌گیری در محورهای Z و Y X، به ترتیب Wk و Wd، Wd طبق استاندارد ISO و Wb برای محور z طبق استاندارد BS و همچنین در زمان اندازه گیری محور x پشتی صندلی، از باند توزین Wc استفاده شد. مدت زمان‌های اندازه‌گیری برای هر نمونه در جدول ۲ بیان شده است. استانداردها توصیه می‌کنند هر جا که ممکن است اندازه گیری باید حداقل در طول زمانی معادل ۲۰ دقیقه انجام گیرد و در جایی که امکان ندارد ، زمان اندازه‌گیری باید حداقل ۳ دقیقه به طول بیانجامد. همچنین در اندازه گیری های بیش از ۲۰ دقیقه باید در صورت امکان نمونه های تکراری گرفته شود. اندازه گیری های طولانی مدت ،۲ساعته و یا بیشتر قابل قبول‌تر است (اندازه گیری گاهی اوقات در نصف یا کل شیفت کاری امکان پذیر است). در این مورد تجهیزات اندازه‌گیری قبل و بعد از اندازه‌گیری کالیبره شد. پد لاستیکی در زمان اندازه‌گیری ارتعاش کف صندلی زیر راننده (بین باسن و صندلی) و در حین اندازه گیری پشتی صندلی با کمک یک تسمه کشی نازک بین پشتی و پشت راننده قرار داده شد (BS 6841,1987; ISO 2631-1,1997; European Committee for Standardization, 2003).

زمانی که راهبران در حال راهبری قطارها در طول شیفت کاری معمول روزانه بودند، مطالعه بر روی ۹ قطار – حدود ۴۰ درصد قطارهای فعال در زمان

اندازه گیری به گونه ای که درصد فراوانی نسبی هر یک از دو نوع قطار کمتر از ۴۰ درصد نباشد - در خط ۱ مترو تهران، با میانگین زمان اندازه گیری ۹۲/۳ دقیقه و انحراف معیار ۲۵ دقیقه انجام گردید. قطارهای مورد استفاده در خط ۱ از دو نوع AC,DC بودند - با توجه به نوع سیستم تامین انرژی قطارها - که در اندازه گیری ها از هر دو نوع قطار موجود در خط ۱ نمونه هایی به شرح جدول ۲ انتخاب گردید. هر راهبر در طول شیفت کاری ۱۰/۵ ساعته روزانه ،۷/۵ ساعت در حال راهبری و مواجهه با ارتعاش و ۳ ساعت در محل تعیین شده استراحت می کنند. راهبران این خط مترو به طور معمول در هر شیفت کاری ۳ مسیر رفت و برگشت را می پیمایند و بعد از یک مسیر کامل رفت و برگشت حدود یک ساعت را در حال استراحت و بدون مواجهه با ارتعاش می گذرانند. همه اندازه گیری ها به طور پیوسته و در زمان حرکت قطارها – به‌جز زمان‌هایی که قطار در ایستگاه توقف داشت یا در پایان مسیر جهت برگشت دوباره به خط به منطقه شانت می رفت- انجام شد و در نهایت اندازه گیری انجام شده در مدت زمانی حدود یک سوم زمان مواجهه راهبران به کل شیفت کاری تعمیم داده شد،با این فرض که ویژگی‌های مختصات ارتعاش برای تمام شیفت مشابه با ویژگی‌ها در طول اندازه گیری بودند. طول کلی مسیر این خط حدود ۳۵ کیلومتر و در زمان اندازه گیری داری ۲۷ ایستگاه فعال بود. میانگین سرعت قطارها در این خط مترو حدود ۶۵ کیلومتر بر ساعت با انحراف معیار ۳,۷ کیلومتر بر ساعت در حین اندازه گیری با استفاده از یک کرنومتر و دانستن طول مسیر به صورت دستی در بین ایستگاه‌ها ثبت شد. قطارها به‌صورت جداگانه با همکاری پرسنل خطوط مترو، انتخاب و در هر یک از آنها میزان شتاب CF، r.m.s و VDV برای زمانی که حداقل یک مسیر کامل کاری در خط را پوشش می‌داد، اندازه‌گیری شد.

مقادیر شتاب r.m.s در محور x پشتی صندلی به‌طور جداگانه از مقادیر محورهای مربوط به نشیمن‌گاه، ولی برای همان قطار در همان مسیری که مقادیر نشیمن‌گاه انجام شد، اندازه‌گیری گردید. مدت زمان‌های اندازه گیری ارتعاش x پشتی صندلی نیز مشابه با مدت زمان اندازه گیری کفی صندلی - در همان شرایطی که محورهای سه گانه نشیمن‌گاه صندلی اندازه گیری شدند- در نظر گرفته شد. در هنگام اندازه گیری ارتعاش به منظور این‌که جابجایی راهبر/ راننده در زمان نشستن و برخواستن روی صندلی بر روی سیگنال دریافتی ارتعاشی توسط دستگاه ارتعاش سنج ثبت نگردد،ابتدا پس از اینکه راهبر بر روی صندلی کاملاً قرار می گرفت دستگاه استارت و راهبرانی که مقرر بود حداقل یک مسیر کامل را بپیمایند، برای ارزیابی مواجهه انتخاب شدند.

## یافته ها

مقادیر w.r.m.s و CF و همچنین VDV در جهات سه گانه z,y,x نشیمن‌گاه صندلی طبق توصیه های ISO 2631-1 و BS 6841 اندازه گیری و در جداول شماره ۳ و ۲ ارایه شده اند. همچنین مقادیر اندازه گیری شده برای محور x پشتی صندلی راهبران نیز در جدول شماره ۳ طبق توصیه های BS 6841 نشان داده شده است.

طبق توصیه استاندارد ISO 2631- 1 هنگامی

**جدول ۲: مقادیر اندازه گیری شده شتاب، دوز ارتعاش و فاکتور قله**

| کد نمونه | نوع قطار | مدت اندازه گیری (min) | شتاب r.m.s مطابق ISO | | | X پشتی | شتاب r.m.s z در باند Wb | برآیند شتاب r.m.s اندازه گیری شده ISO | برآیند شتاب r.m.s اندازه گیری شده BS | فاکتور قله | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | x | y | z | | | | | x | y | z | x پشتی |
| A | DC | ۸۵/۸ | ۰/۲۵ | ۰/۳۱ | ۰/۲ | ۰/۲۶ | ۰/۱۸۲ | ۰/۵۹ | ۰/۵۲ | ۷۴/۶ | ۸۰ | ۹۸/۱ | ۸۱/۶ |
| B | AC | ۷۹/۸ | ۰/۱۱ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | ۰/۳۷۴ | ۰/۱۱۷ | ۰/۲۷ | ۰/۲۷ | ۲۴/۵ | ۱۵/۶ | ۵۹/۱ | ۶۶/۳ |
| C | DC | ۱۵۲/۴ | ۰/۱۷ | ۰/۱۹ | ۰/۱۴ | ۰/۲۶۲ | ۰/۰۹۹ | ۰/۳۹ | ۰/۳۶ | ۴۵/۷ | ۳۰/۷ | ۸۷ | ۷۶/۱ |
| D | AC | ۷۸ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۲ | ۰/۳۸۵ | ۰/۱۲۱ | ۰/۳۲ | ۰/۲۶ | ۱۶/۸ | ۳۶/۹ | ۷۹/۳ | ۵۶/۹ |
| E | AC | ۷۳/۸ | ۰/۲۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ | ۰/۳۳۹ | ۰/۱۲۸ | ۰/۲۵* | ۰/۳۸ | ۷۸/۳ | ۳۸/۹ | ۴۱/۷ | ۵۶/۹ |
| F | AC | ۹۱/۲ | ۰/۱۶ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | ۰/۵۴۶ | ۰/۰۸۸ | ۰/۳۲ | ۰/۳۴ | ۴۸/۶ | ۴۲/۹ | ۱۰۵ | ۸۹/۸ |
| G | DC | ۹۴/۸ | ۰/۲۹ | ۰/۲۷ | ۰/۲۵ | ۰/۲۶۷ | ۰/۲۲۵ | ۰/۶۱ | ۰/۵۴ | ۹۶/۲ | ۵۲/۸ | ۹۹ | ۸۰/۳ |
| H | AC | ۷۰/۲ | ۰/۱۴ | ۰/۱۶ | ۰/۱۲ | ۰/۳۲۱ | ۰/۱۰۴ | ۰/۳۲ | ۰/۲۶ | ۱۶/۸ | ۳۶/۹ | ۸۳/۲ | ۶۱/۶ |
| I | DC | ۱۰۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۹ | ۰/۱۳ | ۰/۳۶۴ | ۰/۱۳۶ | ۰/۳۶ | ۰/۳۲ | ۴۷/۶ | ۲۹/۱ | ۹۴/۷ | ۷۲/۵ |
| میانگین | | ۹۲/۳ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۴ | ۰/۲ | ۰/۱۳۳ | ۰/۳۹۸ | ۰/۳۶ | ۴۹/۹ | ۳۷/۴ | ۸۳/۱ | ۷۱/۳ |
| انحراف معیار | | ۲۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۷ | ۰/۰۴۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱ | ۲۸/۳ | ۱۷/۹ | ۲۰/۶ | ۱۱/۷ |

*در این مورد محاسبات بر اساس محور غالب انجام شده است.

که مقدار ۰/۶۶ محور غالب ، بزرگتر از دو محور دیگر بیشتر باشد، باید در ارزیابی ریسک بهداشتی، محور غالب وزنی فرکانسی را در نظر داشت. همان‌طور که از داده های ارایه شده در جداول و شکل می‌توان دریافت فقط در نمونه E محور غالبی وجود دارد و بنابراین باید از روش برآیند محورها برای سایر موارد استفاده گردد. پس غیر از نمونه E که ارزیابی آن بر اساس محور غالب یعنی محور y می‌باشد، در مابقی موارد ارزیابی با استفاده از روش برآیند سه محور (معادله ی مربوط به مجموع محورها) صورت می‌گیرد. در ارزیابی که با استفاده از روش BS 6841 انجام می‌شود، علاوه بر مجموع سه محور z,y,x نشیمن‌گاه باید محور x پشتی صندلی نیز اضافه گردد. مقادیر مجموع چهار محور در جدول شماره ۲ ارایه شده است.

در ارزیابی مقادیر شتاب r.m.s همان‌طور که از مشاهده مقادیر جدول ۲ می‌توان دریافت، محور غالب، پس از اعمال ضرایب۱/۴ مربوط به محورهای x ,y، در ۶ نمونه در محور y (A,B,C,D,H,I) و در سه نمونه در محور x (E,F,G) می‌باشد. البته قبل از اعمال ضرایب محورهای طولی و عرضی نیز ۶ نمونه از کل ۹ نمونه محور غالب در محور y و ۳ نمونه نیز در محور x قرار داشت. جالب توجه این‌که در هیچ یک از نمونه ها محور z غالب نبود. هرچند که غالب بودن این محورها – غیر از نمونه E – در مابقی موارد آنقدر نیست که طبق توصیه استاندارد برای ارزیابی ریسک بهداشتی ارتعاش استفاده گردد و در ۸ مورد دیگر باید از روش مجموع محورها استفاده نمود. دامنه مقادیر شتاب r.m.s اندازه گیری شده اولیه از ۰/۰۹ تا ۰/۳۱ گسترش داشت و دارای میانگین محورهای z,y,x برابر با ۰/۲۶ ، ۰/۲۶ و ۰/۱۴ به ترتیب پس از اعمال ضرایب و ۰/۱۹، ۰/۱۹

**جدول ۳: مقادیر اندازه گیری شده شتاب محور x صندلی، برآیند چهارمحوره ، دوز ارتعاش و فاکتور قله**

| نمونه | vdv | | | VDV برآیند اندازه گیری شده | VDV seat | VDVz در باند Wb | VDV اندازه گیری شده طبق ISO 2631 | VDV اندازه گیری شده طبق BS 6841 | VDV کل شیفت طبق ISO 2631 | VDV کل شیفت طبق BS 6841 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | x | y | z | | | | | | | |
| A | ۶/۷۱ | ۷/۱۸ | ۱۱/۸ | ۱۳/۹ | ۵/۸۷ | ۱۰/۹ | ۱۵/۳۶ | ۱۱/۹ | ۲۱/۰۴ | ۱۸/۰۱ |
| B | ۱/۴۴ | ۱/۹۳ | ۲/۳۹ | ۳/۲ | ۲/۱۴ | ۲/۵۴ | ۳/۳۹ | ۳ | ۴/۹ | ۴/۶۲ |
| C | ۵/۲۲ | ۴/۱۴ | ۱۰/۹ | ۱۱/۶ | ۶/۴۵ | ۹/۸۶ | ۱۲/۷۷ | ۱۰/۵ | ۱۵/۲ | ۱۳/۷۸ |
| D | ۱/۷۲ | ۳/۰۵ | ۴/۹ | ۵/۵۴ | ۲/۶ | ۴/۶۸ | ۶/۰۲ | ۵ | ۸/۶ | ۷/۷۴ |
| E | ۱۱ | ۲/۵ | ۶/۵۴ | ۱۵/۴* | ۷/۵۲ | ۶/۶۱ | ۱۵/۴ | ۱۱/۸۶ | ۲۴/۲ | ۱۸/۶۴ |
| F | ۶ | ۲/۹۲ | ۲/۶۳ | ۸/۳۷* | ۴/۴۴ | ۲/۱۸ | ۸/۳۷ | ۶/۴۸ | ۱۲/۵ | ۹/۶۶ |
| G | ۷/۶۳ | ۵/۹ | ۱۳/۵ | ۱۵ | ۹/۶۸ | ۱۳/۰۴ | ۱۶/۶ | ۱۴/۳۴ | ۲۲/۲ | ۲۱/۱۷ |
| H | ۱/۶۹ | ۳/۰۲ | ۴/۷۴ | ۵/۴ | ۱/۵۲ | ۴/۴۳ | ۵/۸۷ | ۴/۶۸ | ۸/۶ | ۷/۴۵ |
| I | ۳/۹۲ | ۳/۱۸ | ۶/۵۶ | ۷/۵ | ۵/۰۵ | ۶/۶۱ | ۸/۲۸ | ۷/۳۴ | ۱۰/۸ | ۱۰/۵۶ |
| میانگین | ۵ | ۳/۷۵ | ۷/۱۱ | ۹/۵ | ۵/۰۳ | ۶/۶۷ | ۱۰/۲۳ | ۸/۳۴ | ۱۴/۲ | ۱۲/۴ |
| انحراف معیار | ۳/۲ | ۱/۷ | ۴/۰۴ | ۴/۵ | ۲/۷ | ۳/۸ | ۴/۸۸ | ۳/۹۳ | ۶/۸۵ | ۵/۷۷ |

*در این مورد محاسبات بر اساس محور غالب انجام شده است.

و ۰/۱۴ قبل از اعمال ضرایب بودند. انحراف معیار مقادیر نیز برای محور های سه گانه به ترتیب برابر با ۰/۰۹ ، ۰/۰۸ و ۰/۰۵ بود. میانگین مقادیر شتاب r.m.s اندازه گیری شده در محور x پشتی صندلی نیز همان‌طور که در جدول ۲ ارایه شده است، برابر با ۰/۲ با انحراف معیار ۰/۰۷ می باشد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، مقادیر فاکتور قله در تمامی محور ها از جمله محور x پشتی صندلی در زمان اندازه گیری بیشتر از هر دو حد – ۶ مربوط به استاندارد BS 6841 و ۹ مربوط به استاندارد ISO 2631 – ذکر شده در استانداردها می‌باشد بنابراین باید طبق توصیه هر دو استاندارد برای ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با ارتعاش تمام بدن از مقدار دوز ارتعاش VDV، استفاده شود.

همان‌طور که اشاره شد ارزیابی با استفاده از شاخص VDV نیز شبیه به روش ارزیابی پایه (ارزیابی با استفاده از مقادیر r.m.s وزنی فرکانسی) می باشد و بنابراین زمانی که محور غالب در جهات سه گانه داشته باشیم – همان‌طور که استاندارد ISO 2631 بیان می‌کند - باید برای ارزیابی ریسک بهداشتی از مد نظر قرار دادن محور غالب بهره برد و در غیر این‌صورت باید از روش مجموع جهات استفاده شود. البته همان طور که اشاره شد BS6841 از برآیند سه محور z,y,x نشیمن‌گاه و محور x پشتی صندلی حمایت می‌کند و مجموع ۴ محور را جهت ارزیابی ریسک بهداشتی در نظر می‌گیرد.

مقادیر VDV اندازه گیری شده و وزن یافته برای محورهای z,y,x کفی صندلی و همچنین محور x پشتی صندلی در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می شود در۷ نمونه (A,B,C,D,G,H,I) قبل از اعمال ضرایب ۱/۴ ،محور غالب z و در دو نمونه (F,E) محور غالب محور x می‌باشد. پس از اعمال ضرایب نیز در ۶ مورد (A,C,D,G,H,I) محورغالب محور z و در

**جدول ۴: حدود ارایه شده مربوط به ترازهای متفاوت خطرات بهداشتی طبق مقادیر HGCZ در استاندارد ISO 2631- 1**

| ارزیابی اثرات نامطلوب بهداشتی ISO 2631-1 | ریسک بهداشتی | ISO 2631-1 | |
|---|---|---|---|
| | | A (8 h) $(m/s^2 rms)$ | $VDV_{total}$ $(m/s^{1.75})$ |
| کمتر از مرز پایین HGCZ،( اثرات بهداشتی کاملاً مستند نبوده و عیناً مشاهده نشده اند.) | پایین | ۰/۴۵ > | ۸/۵> |
| در ناحیه HGCZ ، ( احتیاط با توجه به خطرات بهداشتی بالقوه) | متوسط | ۰/۴۵ - ۰/۹ | ۸/۵ - ۱۷ |
| بالاتر از ناحیه HGCZ ، ( خطرات بهداشتی محتمل) | بالا | ۰/۹< | ۱۷ < |

دو نمونه (E,F) نیز همانند قبل از اعمال ضرایب، محور غالب محور x و فقط در نمونه B محور غالب جهت y است.

میانگین مقادیر برای محورهای سه گانه z,y,x به ترتیب ۵ ، ۳/۷۵ و ۷/۱ قبل از اعمال ضرایب و ۷ ، ۵/۲۶ و ۷/۱ پس از اعمال ضرایب می‌باشد. انحراف معیارها در جدول ۳ ارایه شده است. در محور x پشتی صندلی نیز که برای محاسبات طبق BS 6841 مورد نیاز است، میانگین VDV ، ۵/۰۳ با انحراف ۲/۷ می‌باشد. میانگین مقادیر محور z در باند توزین Wb مربوط به استاندارد BS نیز برابر با ۶/۷۶ با انحراف معیار ۳/۸ ثبت شد.

همان‌طور که در جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، مقادیر شتاب r.m.s محاسبه شده بر اساس استاندارد BS 6841 در ۷ مورد کمتر از مقدار محاسبه شده ISO 2631 می‌باشد و فقط در موارد E و F مقادیر BS بیشتر از ISO است که نمونه E نیز در ISO همان نمونه ای است که محور غالب معیار ارزیابی آن بوده است. در ارتباط با VDV، تمامی مقادیر محاسبه شده طبق استاندارد BS6841 کمتر از مقادیر محاسبه شده طبق ISO 2631 به‌دست آمده است.

## بحث و نتیجه گیری

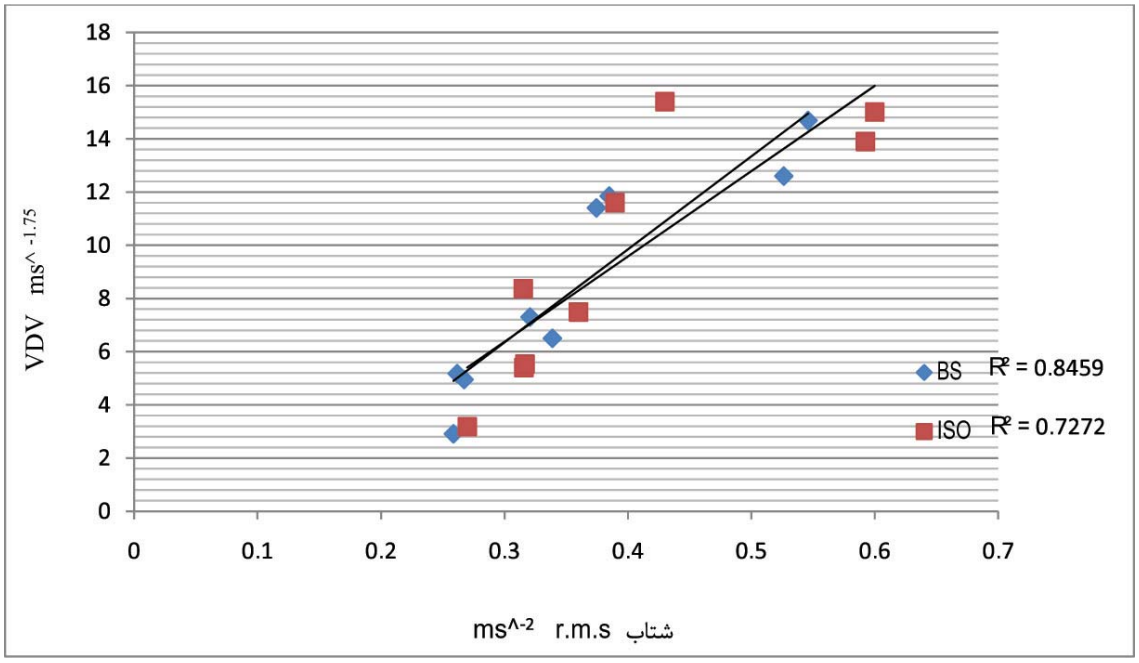
در استاندارد ISO 2631-1:1997 یک "ناحیه راهنمای هشدار بهداشتی "،HGCZ، به منظور تفسیر نتایج مربوط به محوری که مقدار شتاب وزن یافته فرکانسی غالبی دارد موجود است. مرز پایینی ناحیه احتیاطی راهنمای بهداشتی (HGCZ) مواجهه مجاز ۸ ساعته تقریباً $m/s^2$ ۰/۴۵ و مرز بالایی آن جهت ۸ ساعت مواجهه حدود $m/s^2$ ۰/۹ می باشد. در ارزیابی هایی که مطابق با روش VDV انجام می گیرد ، محدوده های بالا و پایین HGCZ ، به ترتیب $m/s^{1.75}$ ۸/۵ و $m/s^{1.75}$ ۱۷ می‌اشد. پایین بودن مقادیر میانگین از حد پایینی HGCZ بیانگر این موضوع است که آثار بهداشتی با این سطح از مواجهه به ثبت نرسیده است. این حدود و واژه های مورد استفاده در این مقاله جهت ارزیابی ارتعاش بر اساس توصیه ISO 2631-1 در جدول ذیل ارایه شده است.

اتحادیه اروپا نیز طی دستورالعملی با عنوان "دستورالعمل عوامل فیزیکی(ارتعاش)" با دو معیار حد عمل و حد مواجهه روزانه ارتعاش تمام بدن جهت r.m.s و VDV ارایه داده است که شباهت زیادی به مقادیر حدود بالا و پایین HGCZ دارد. این مقادیر برای حد عمل و حد مجاز مواجهه ۸ ساعته

روزانه R.m.s به ترتیب $m/s^2$ ۰/۵ و $m/s^2$ ۱/۱۵ و مقادیر حد عمل و حد مجاز مواجهه ۸ ساعته روزانه VDV به ترتیب $m/s^{1.75}$ ۹/۱ و $m/s^{1.75}$ ۲۱ می باشد. (ISO 2631-1,1997; European Committee for Standardization, 2003)

در ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه بر اساس شتاب r.m.s مقادیر مواجهه نهایی در جدول ۲ ارایه شده است. میانگین مقادیر نهایی جهت ارزیابی برابر با ۰/۳۹ متر بر مجذور ثانیه با انحراف معیار ۰/۱۲ بود که در نمونه های B,C,D,E,F,H,I مقادیر محاسبه شده کمتر از ۰/۴۵ حد پایین HGCZ توصیه شده توسط ISO 2631-1 و همچنین میزان سطح اقدام برابر با ۰/۵ دستورالعمل عوامل فیزیکی اتحادیه اروپا می‌باشد و در نمونه‌های A,G مقادیر محاسبه شده در ناحیه راهنمای احتیاط بهداشتی می‌باشد. بنابراین ارزیابی بر اساس این معیار بیان می‌کند که هیچ راهبری در زمان مواجهه در معرض مقدار بالاتر از حد بالای HGCZ قرار ندارند.در ارزیابی مقادیر طبق این معیار بر اساس استاندارد BS 6841 نیز سطوح ارزیابی مشابه با استاندارد ISO بوده و بر طبق آن نیز در نمونه های G,A مقادیر در ناحیه HGCZ و در سایر نمونه ها پایین‌تر از حدود HGCZ می‌باشند. (BS 6841,1987; ISO 2631-1,1997; European Committee for Standardization, 2003)

ارزیابی بر طبق معیار VDV نیز همان‌طور که مقادیر محاسبه شده روزانه VDV برای استاندارد ISO2631 در جدول ۳ مشاهده می‌شود دارای میانگین ۱۴/۲ با انحراف معیار ۶/۸۵ می‌باشد. زمانی که ضرایب ۱/۴ برای محورهای y,x اعمال




شکل ۱: ارتباط مقادیر شتاب r.m.s و VDV اندازه گیری شده بر اساس هر دو استاندارد

نشده باشند غیر از نمونه های F,E که محور غالب در محور x است، در مابقی موارد محور z غالب است. و هنگامی که ضرایب اعمال گردند در نمونه B محور غالب y، در نمونه F و E محور غالب x بوده و در ۶ مورد دیگر محور غالب همان محور z است. در اینجا نیز غیر از نمونه های E و F در مابقی موارد محور غالب آنقدر با دو محور دیگر تفاوت نداشته و در ارزیابی ریسک بهداشتی باید از روش برآیند جهات استفاده گردد. مقادیر VDV کلی محاسبه شده روزانه را نیز می‌توان در جدول ۳ مشاهده نمود. بر اساس این معیار نمونه های G، E و A بالاتر از حد بالای HGCZ (۱۷ $m/s^{1.75}$) می‌باشند و نمونه‌های C,D,F,H,I نیز در محدوده احتیاطی HGCZ (۱۷ $m/s^{1.75}$ – ۸/۵)بوده و فقط مورد B کم‌تر از حد پایینی HGCZ (۸/۵ $m/s^{1.75}$) می‌باشد. زمانی که از معیار VDV بر طبق روش توصیه شده BS6841 استفاده نماییم میانگین کل نمونه‌ها برابر با ۱۲/۴ با انحراف معیار ۵/۸ می‌باشد که در این حالت نیز ۳ نمونه E، A و G بالاتر از حد (۱۵ $m/s^{1.75}$) راهنمای کلی ارایه شده استاندارد BS - بوده و در نمونه‌های B,D,H مقادیر VDV کل محاسبه شده روزانه کمتر از حد پایین توصیه شده، (۸/۵ $m/s^{1.75}$)، توسط استاندارد می باشد. سه نمونه دیگر C,F,I نیز در محدوده بین این دو حد پایین و بالا قرار می‌گیرند. همان‌طور که در جداول مشاهده می شود، روی هم رفته میانگین مقادیر محاسبه شده نهایی هم در مورد شتاب r.m.s و هم در VDV در استاندارد BS 6841 پایینتر از مقادیر محاسبه شده ISO 2631 می‌باشد. پس می‌توان این‌گونه عنوان نمود که محاسبات ISO معیار ایمن‌تری را نسبت به BS ارایه می‌دهد هرچند که شباهت های بسیار زیادی میان این دو استاندارد وجود داشته و باید گفت که اختلافات بین این دو استاندارد معنی دار نمی‌باشد. مقادیر VDV محاسبه شده روزانه در همه موارد در استاندارد ISO بالاتر از استاندارد BS می‌باشد. همچنین ارتباط میان مقادیر شتاب r.m.s و VDV در استاندارد ISO 2631 کمی کمتر از ارتباط میان همین مقادیر در BS6841 است. زیرا مقادیر محاسبه شده برای BS6841 هردو بر اساس جمع محورها می باشد در حالی‌که در تعدادی از موارد برای هر دو معیار شتاب r.m.s و VDV در استاندارد ISO 2631 مقادیر محور غالب جهت ارزیابی مورد نظر قرار می‌گیرد. میزان رگرسیون این مقادیر در شکل ۱ نشان داده شده است.

## منابع

British Standards. BS EN 1032. Mechanical vibration. Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value. 2003.

Johanning E, Landsbergis P, Fischer S, Christ E, Gores B, Luhrman R. Whole-body vibration and ergonomic study of US railroad locomotives. Journal of Sound and Vibration. 2006; 298: 594–600.

Mansfield N. Human response to vibration. London: CRC press; 2005.

South T. Managing Noise and Vibration at

bration – 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.

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

International Organization for Standardization. ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock—evaluation of human exposure to whole-body vibration—part 1: general requirements. International Organization for Standardization, Switzerland. 1997.

Johanning E. Vibration and shock exposure of maintenance-of-way vehicles in the railroad industry . Applied Ergonomics. 2010; xxx: 1-8.

CH Lewis MG. Evaluating the motions of a semi-submersible platform with respect to human response. Applied Ergonomics. 1997; 28(3):193-201.

Paddan G, Griffin M. Evaluation of whole-body vibration in vehicles, Journal of Sound and Vibration. 2002; 253 (1) :195–213.

Mirzaei R, Mohammadi M. Survey of Vibration Exposure and Musculoskeletal Disorder of Zahedan City Tractor Drivers by Nor-Work. Elsevier Butterworth-Heinemann; 2004.

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 systems; 2001.

Rehn B, Lundstrom R, Nilsson L, Liljelind I, Jarvholm B. Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles - aspects on measurement strategies and prevention. International Journal of Industrial Ergonomics. 2005; 35 (9):831 - 842.

Prisby R. Lafage-Proust M, Malaval L, Belli A, Vico L. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: What we know and what we need to know. Ageing Research Reviews. 2008; 7 : 319–329.

Cooperrider N, Gordon J. Shock and impact on north American locomotives. Journal of Sound and Vibration. 2008; 318: 809–819.

European Committee for Standardization. Mechanical vibration- European Directive 2002/44/EC of The European parliament. Guide to good practice on Whole Body Vi-

dics Questionnaire. International journal of occupational hygiene.2010; Vol 2(2): 46-50.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold Limit Values (TLVs_) and Biological Exposure Indices (BEIs_) Resources. 1330 Kemper Meadow Drive. American Conference of Governmental Industrial Hygienists; Cincinnati, Ohio: 45240. 2009.

# Evaluation of health risk caused by hole body vibration exposure, using ISO 2631-1 and BS 6844 Standards

***A. Khanin[1]; R. Mirzaei[2]; M. H. Beheshti[3]; Z. Safari[4]; K. Azrah[5*]***

*[1] Associated professor, Department of occupational health Engineering, Faculty of medical sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran*
*[2] Associated professor, Department of occupational health Engineering, Scool of public health, zahedan university of medical sciences, zahedan, Iran.*
*[3] Department of Occupational Health Engineering, school of public health, Gonabad university of medical sciences, Gonabad, Iran*
*[4] BSc of occupational health Engineering*
*[5] Department of Occupational Health Engineering, school of public health, Gonabad university of medical sciences, Gonabad, Iran*

**Abstract**

**Introduction:** The most common standards being used for predicting the health risks of whole body vibrations are ISO 2631- and BS 6844, presenting frequency weighting anfd different coefficients for different sensivities in variuse axes. In yhis study, vibration was measured about 900 minutes on 9 trains in one of the active lines of tehran metro with the aim of comparing the mentioned standards in evaluating whole body vibation.

**Material and Method:** In this research, in addition to evaluation of different kinds of vibration indicators, the differences of ISO 26331-1 and BS 6841 Standards have also been investigated. The amounts of r.m.s., vibration dose and daily vibration dose were measured in x, y and z axes for drivers seat and x axis for drivers back rest separately according to the instruction of the two standards.

**Results:** The mean calculated values of r.m.s and vibration dose on a basis of 135 6841 standard were lower than those values calculated according to ISO 2631 standard. Moreover, the results showed that 3 cases, based on the ISO standard, had risk level of higher than 17 m/s1.75 and 3 cases, had risk level of higher than 15 m/s1.75 value, provided by BS 6841.

**Conclusion:** Calculation according to the ISO 2631-1 standard show higher values. Indeed, ISO 2631-1 can provide a more secure criterion company to BS 6841, although the 15 m/s1.75 in BS is lower than the highest level of health guidance caution zone in ISO. Additionally, the association between r.m.s and vibration dose values in ISO 2631 is relatively lower than this association in BS 6841.

**Key words:** *Human vibration, r.m.s vibration, Human vibration standards, Vibration dose value*

* Corresponding Author Email: *azrah.1365@gmail.com*