بنام خدای مهربان

هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ

سوره زمر – آیه ۹

سید محمد جواد گل حسینی
دکتری مهندسی بهداشت حرفه ای
گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار
دانشگاه علوم پزشکی گیلان
m.golhosseini@yahoo.com

اندازه گیری و ارزیابی ارتعاش در محیط کار

سلامتی

- رفاه کامل جسمی، روانی و اجتماعی
- نه صرفاً عدم وجود بیماری یا ناتوانی

بهداشت

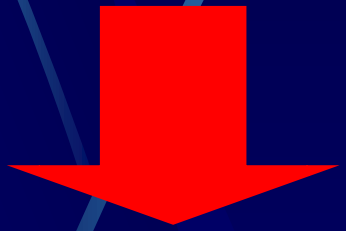
- شرایط و اقداماتی که به حفظ سلامت و جلوگیری از گسترش بیماری ها کمک می کند.

بهداشت حرفه ای (شغلی)

- علم و هنر تامین سلامت در محیط‌های شغلی

بهداشت حرفه ای

مراقبت از سلامت پرسنل شاغل و ارتقاء آن



افزایش و بهبود ایمنی، بهداشت، راحتی و کارآئی

اهم فعالیت بهداشت حرفه ای

پیش بینی

تشخیص

اندازه گیری

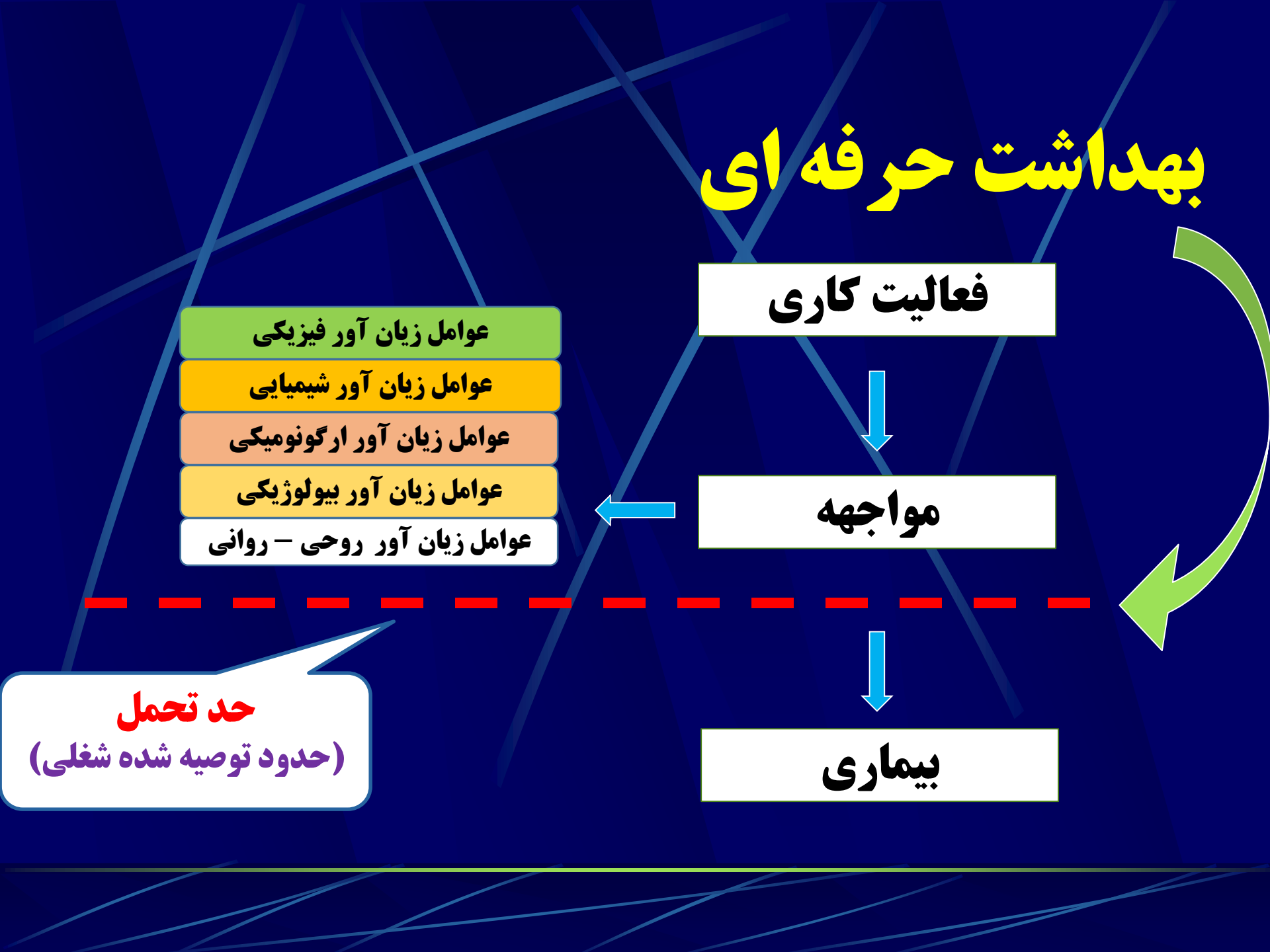
ارزشیابی

کنترل

عوامل زیان آور

هر عامل مادی و انرژتیک که توانایی آسیب رسانی به افراد را داشته باشد.

بهداشت حرفه ای

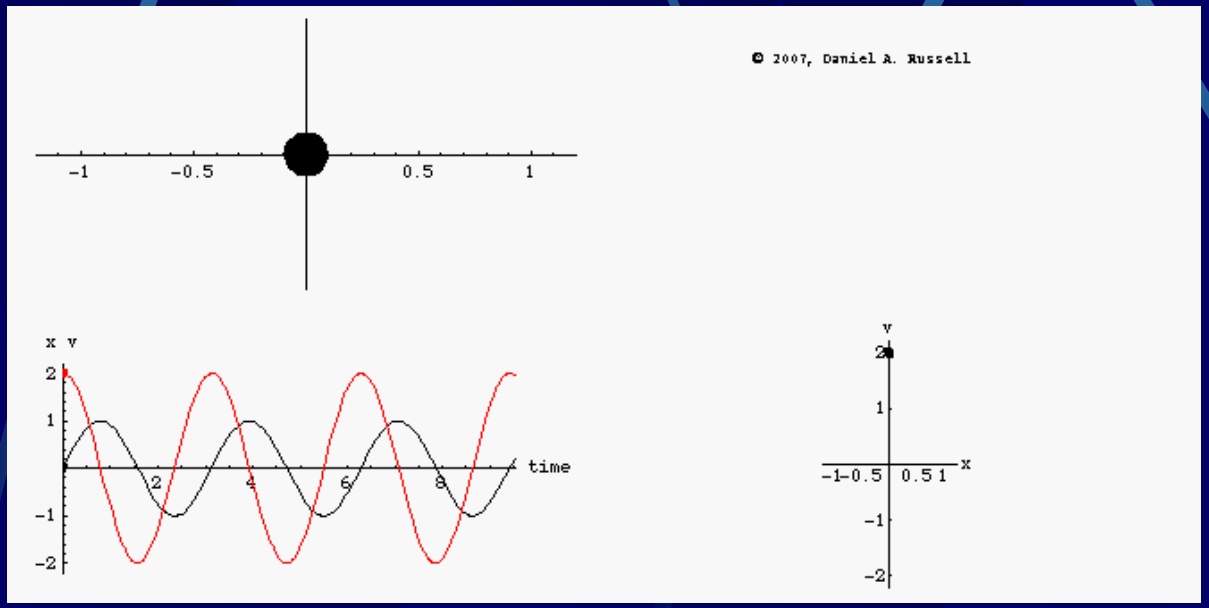


عوامل زیان آور فیزیکی

ارتعاش

ارتعاش

- یک حرکت نوسانی حول محور تعادل



ارتعاش

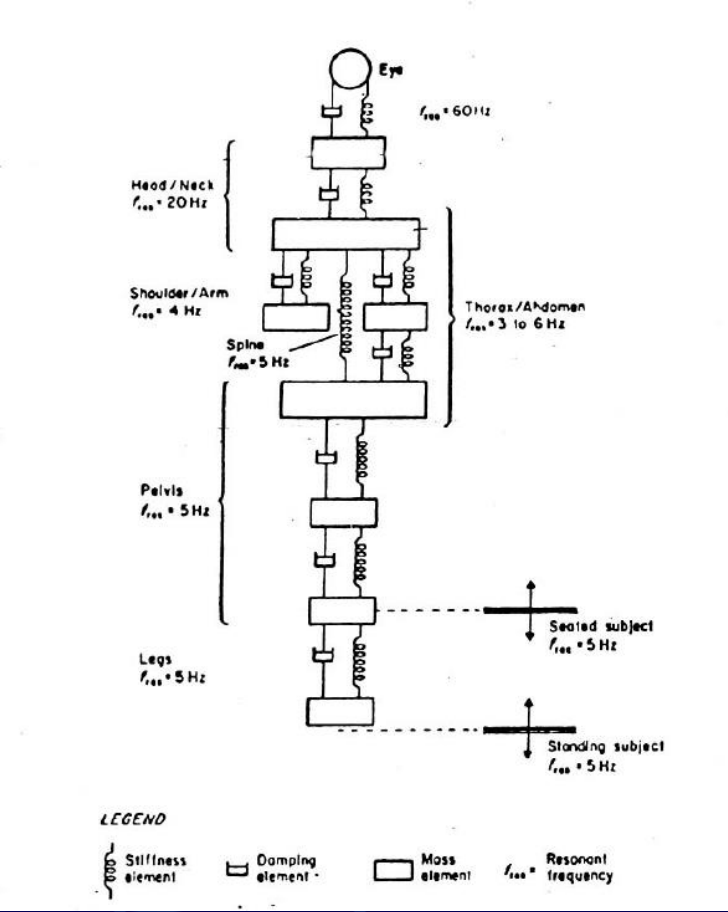
- کلیه اجسامی که دارای جرم و خاصیت کشسانی هستند قادر به ارتعاش می باشند.
- هر سیستمی دارای یک فرکانس طبیعی است که از ویژگی های ذاتی سیستم بوده و وابسته به سختی، جرم و میرایی می باشد.

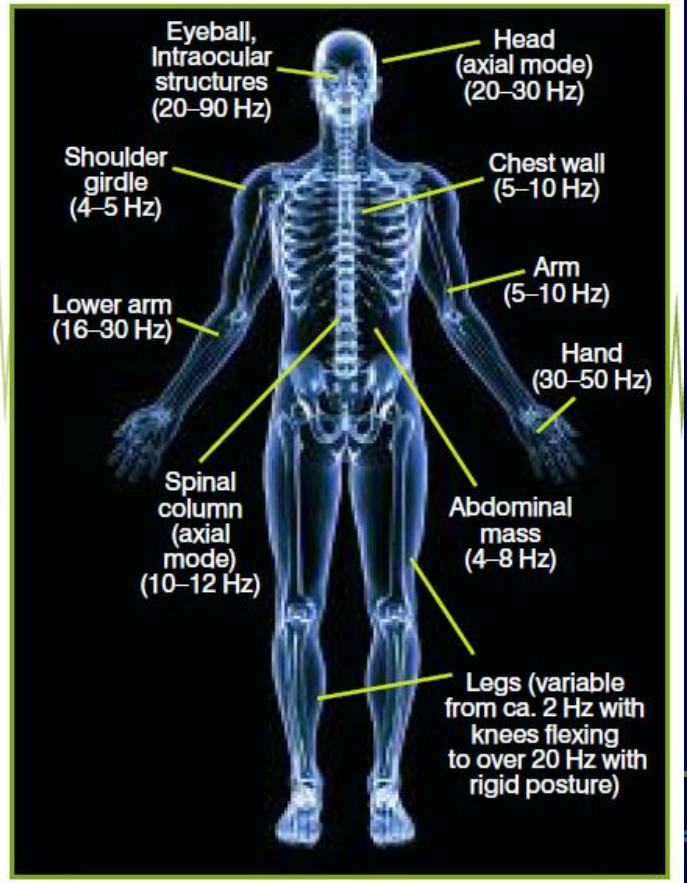
ارتعاش

- بدن انسان همانند سایر محیط های مادی، قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارد.
- بدن انسان دارای سیستم ارتعاشی مخصوص به خود بوده و همانند سایر موجودات زنده، **حرکت ارتعاشی لازمهٔ حیات** می باشد.

ارتعاش

- مدل مکانیکی بدن انسان:





ارتعاش

- برای هر اندام یک فرکانس بحرانی یا فرکانس تشدید تعریف شده است:
  - زمانی که فرکانس ارتعاش وسیله ای که انسان با آن در ارتباط است **(فرکانس نیروی محرکه)** به حدود این فرکانس برسد ، پدیده تشدید در عضو رخ خواهد داد.
  - **سیستم به شدت مرتعش شده و دامنه نوسان به حداکثر خود می رسد.**

ارتعاش

- آنچه که در ارتباط بین ارتعاش اجسام در محیط و انسان (از نظر بهداشتی) حائز اهمیت است:
  - انرژی امواج ارتعاشی در تماس مستقیم با اعضاء و اندام ها می تواند در محدوده هایی مخاطره آمیز باشد.

ارتعاش

- مواجهه با ارتعاش در محیط های شغلی:
  - ابزار آلات مرتعش دستی
    - ارتعاش منتقله از دست
      - Hand-Transmitted Vibration (HTV)
    - ارتعاش دست–بازو
      - Hand Arm Vibration (HAV)
    - محدوده فرکانسی ۵ تا ۱۵۰۰ هرتز
      - ۳/۶ تا ۱۲۵۰ در باندهای فرکانسی یک–سوم اکتاو

ارتعاش

- مواجهه با ارتعاش در محیط های شغلی:
  - ماشین های صنعتی، جنگلداری، کشاورزی و وسایل نقلیه عمومی
    - ارتعاش تمام بدن
  - Whole Body Vibration (WBV)
    - محدوده فرکانسی ۰/۵ تا ۸۰ هرتز

ارتعاش

- طبق برآوردها در بریتانیا و آمریکا به ترتیب ۱۵۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰۰۰ نفر در معرض ارتعاش HAV قرار دارند.
- افراد در مواجهه با ارتعاش تمام بدن، ۵ تا ۶ برابر این مقدار تخمین زده می شود.
- برخی از مطالعات، ۴ تا ۷ درصد شاغلین ایالات‌متحده، کانادا و برخی از کشورهای اروپایی را در معرض ارتعاش آسیب زای ارتعاش تمام بدن می دانند.

ارتعاش

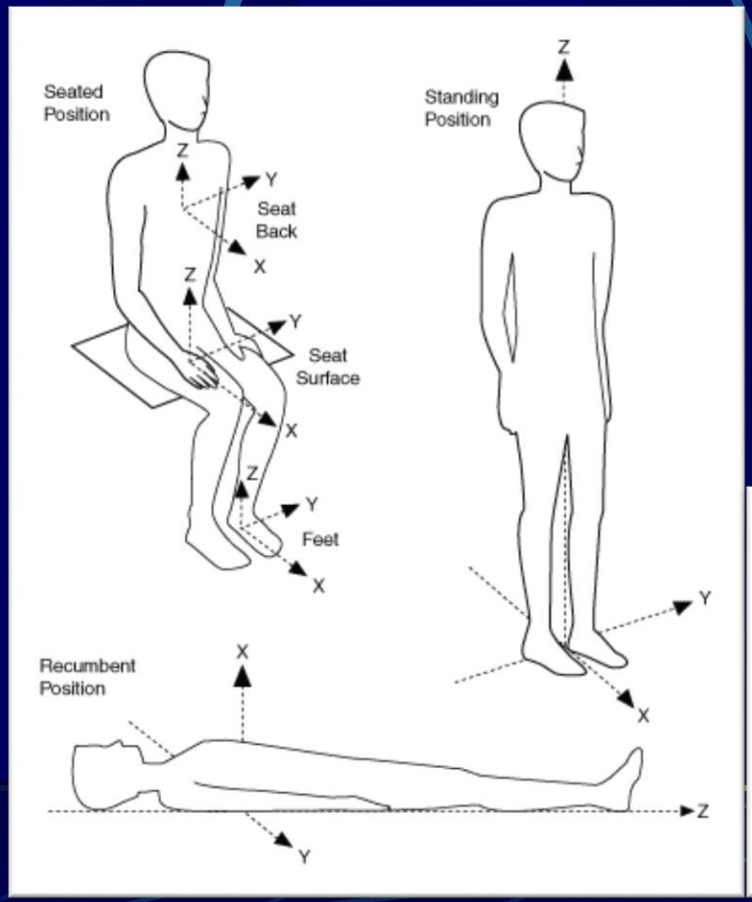
- در ایران نیز، با توجه به جمعیت شاغل کشور به‌طور تقریب حدود ۶۵۰۰۰۰ نفر در مواجهه با ارتعاش زیان آور می باشند.
- به‌طورکلی می توان تخمین زد که از جمعیت شاغل جهان، حدود ۲۵ درصد، در معرض ارتعاش در محیط شغلی خود هستند.

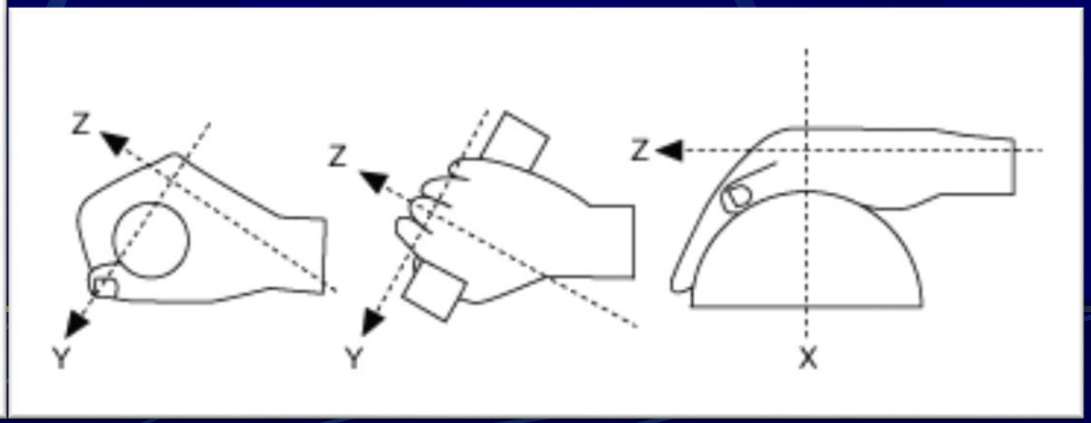
ارتعاش

- اگرچه مواجهه با ارتعاش دارای اثرات منفی بر روی سلامتی افراد می باشد:
  - افراد در معرض ارتعاش، اطلاعات کمی درباره آن دارند.
  - در مطالعه صورت پذیرفته در آمریکا ۶۹/۵ درصد افراد موردبررسی، فاقد اطلاعات یا دارای دانش بسیار کمی در مورد ارتعاش بودند.

ارتعاش

- پاسخ افراد به ارتعاش، به‌طور عمده وابسته به:
  - بزرگی ارتعاش
  - فرکانس
  - جهت ورود ارتعاش





ارتعاش

- البته عوامل دیگری همچون:
  - الگوی مواجهه (پیوسته، متناوب، دوره های استراحت)
  - نوع ابزار
  - فرآیند یا ماشین تولیدکننده ارتعاش
  - ویژگی های فردی (روش گرفتن ابزار مرتعش یا سبک رانندگی، پوسچر افراد، وضعیت سلامتی، آموزش، مهارت، استفاده از وسایل حفاظتی، حساسیت های فردی)

ارتعاش

- البته عوامل دیگری همچون:
  - پاسخ دینامیکی بدن به ارتعاش (امپدانس مکانیکی، انتقال پذیری ارتعاش، انرژی جذب‌شده)
  - عوامل محیطی (دما، سرعت جریان، رطوبت، صدا)
  - وضعیت نقطه تماس بین بدن با سطح ارتعاشی
  - سابقه کاری افراد

ارتعاش

- البته عوامل دیگری همچون:
- روش اندازه گیری ارتعاش نیز مهم بوده و می تواند منجر به نتایج متفاوتی گردد.

ارتعاش

- بر مبنای مدل ارائه‌شده توسط کوبو (۲۰۰۱) می توان نحوه پاسخ افراد به ارتعاش را در سه سطح واکنشی نشان داد:

۱) واکنش ناشی از انتقال فیزیکی ارتعاشات از یک قسمت بدن به قسمت دیگر

۲) واکنش فیزیولوژیک که با تغییرات فشارخون، ضربان قلب و غیره ظاهر می شود.

ارتعاش

- بر مبنای مدل ارائه‌شده توسط کوبو (۲۰۰۱) می توان نحوه پاسخ افراد به ارتعاش را در سه سطح واکنشی نشان داد:

۳) واکنش روان‌شناختی نشان دهنده علائم مختلف ناشی از ارتعاشات مانند:

- **علائم جسمی** (خستگی، خمیازه، خواب آلودگی، خستگی چشم ها)
- **علائم ذهنی** (تحریک، بی صبری، حواس پرتی)
- **علائم عصبی** (سردرد، کمردرد، سرگیجه، حالت تهوع و سخت شدن شانه ها)

ارتعاش

- مواجهه بیش‌ازحد با HAV
- با افزایش نشانه ها و علائم **اختلالات عروقی، عصبی و اسکلتی–عضلانی** اندام های فوقانی در ارتباط می باشد که مجموع این اختلالات تحت عنوان:
- **سندرم ارتعاش دست بازو** Hand-Arm Vibration Syndrome

ارتعاش

- مواجهه طولانی‌مدت با ارتعاش تمام بدن
- **افزایش ریسک اختلالات ستون فقرات کمری و اعصاب مرتبط با آن**
- با احتمال کمتر شانه – گردن، سیستم گوارش، اندام تناسلی زنان، عروق محیطی و سیستم دهلیزی حلزون شنوایی
- **اختلال در عملکرد شناختی**
- افزایش فعالیت ناحیه قشری پیش فرونتال که منجر به افزایش نیاز به انرژی و اکسیژن شده و باعث **خستگی ماهیچه‌ای** بیشتری می گردد.

ارتعاش

- انتقال انرژی مکانیکی از یک منبع مرتعش می‌تواند باعث:
  - اختلال در راحتی و آسایش فرد
  - کاهش بازدهی در اثر خستگی
  - اختلال در اعمال فیزیولوژیک کارکنان
- و در مواردی حتی می تواند سبب ضایعات اسکلتی و برخی بیماری های دیگر شود.

ارتعاش

- مواجهه با ارتعاش می تواند به طور مستقیم باعث **صدمات مکانیکی** به بدن گردد و به عنوان یک عامل **استرس زا**، سبب اختلالات فیزیولوژیک شود.

ارتعاش

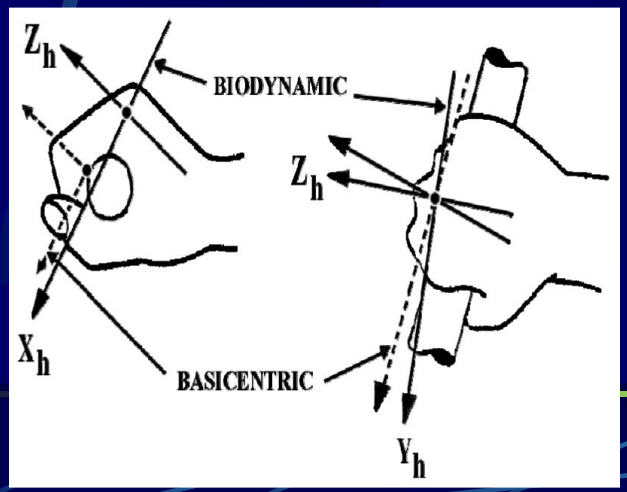
- ریسک پیامدهای منفی ارتعاش، زمانی بیشتر می‌شود که ارتعاش دارای:
  - شتاب بالا، مواجهه طولانی و مکرر بوده و همچنین شامل شوک‌های ارتعاشی شدید باشد.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - تجهیزات اندازه گیری ارتعاش دست – بازو
    - مطابق با تجهیزات موردنیاز و مشخص شده بر اساس ISO8041

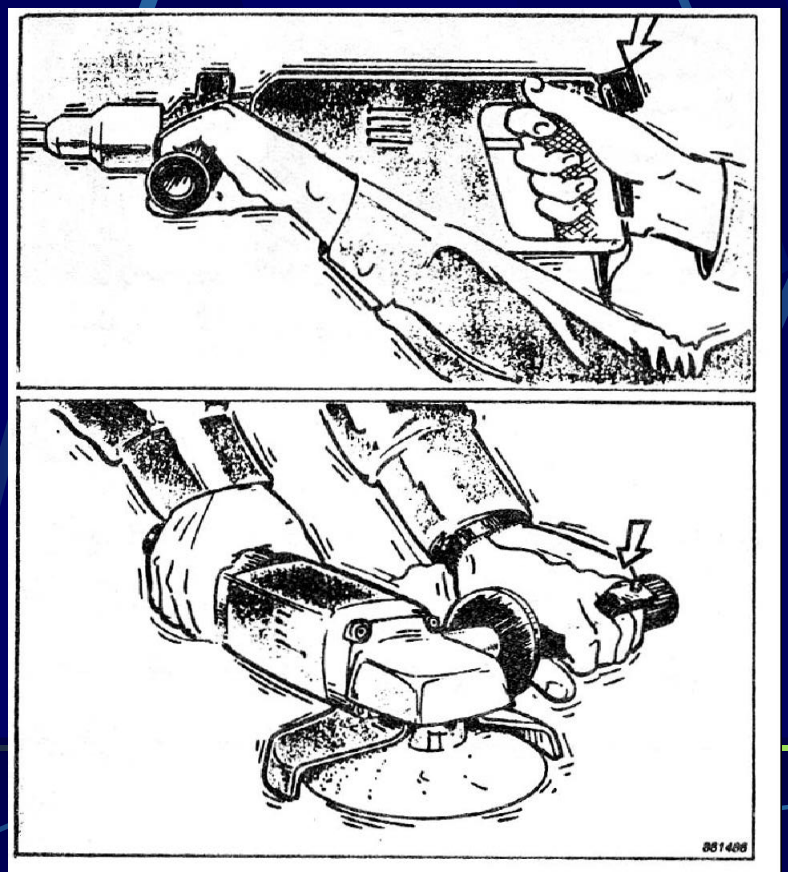
ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - محل نصب و جهت دهی مبدل ها
    - شتاب سنج تا حد امکان باید نزدیک به محل ورود ارتعاش به دست باشد
    - اندازه گیری ارتعاش بایستی ترجیحاً در سه جهت به صورت همزمان انجام گیرد.



ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - محل نصب و جهت دهی مبدل ها



ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - محل نصب و جهت دهی مبدل ها

ارتعاش

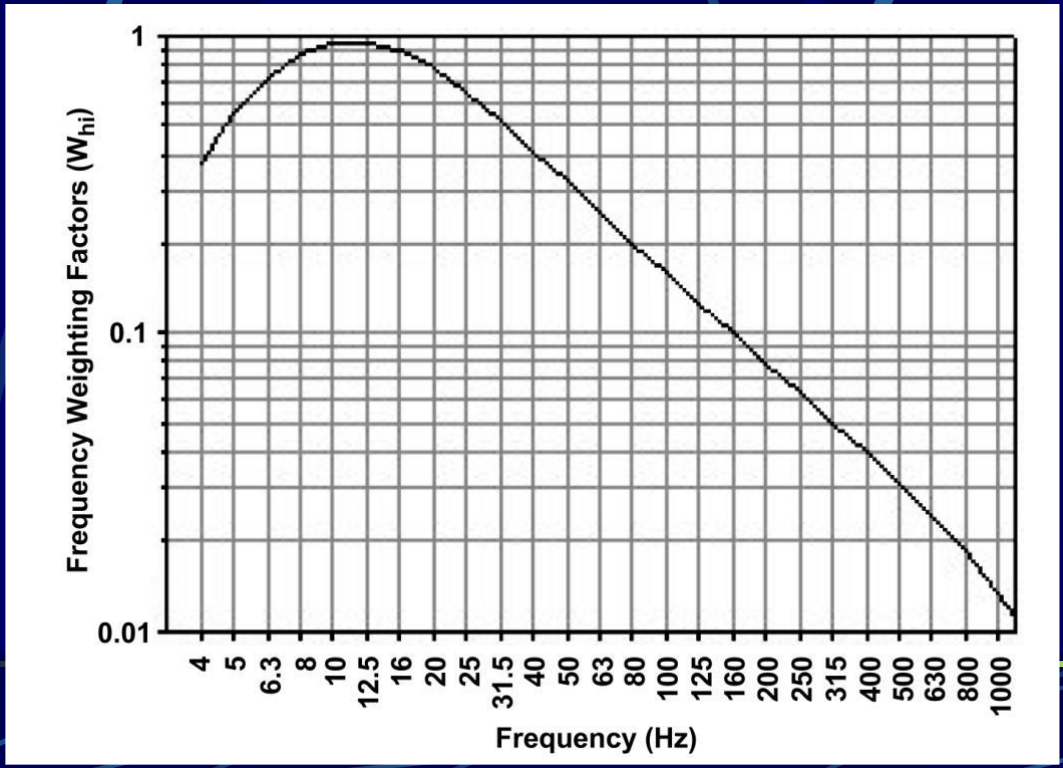
- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - کمیت تعیین بزرگی و شبکه توزین فرکانسی
    - کمیت مورداستفاده جهت توصیف بزرگی ارتعاش انسانی ریشه مجموع مربعات (rms) شتاب وزن یافته ی فرکانسی است که با واحد متر بر مجذور ثانیه بیان می شود.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - کمیت تعیین بزرگی و شبکه توزین فرکانسی
    - اندازه گیری شتاب وزن یافته فرکانسی، نیاز به استفاده از پالایه های توزین فرکانس و محدودکننده های باندهای فرکانسی دارد.
    - پالایه توزین فرکانس Wh اهمیت موردنظر فرکانس های متفاوت را در آسیب رسانی به بدن انسان به خوبی تعیین و ارائه می کنند.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - کمیت تعیین بزرگی و شبکه توزین فرکانسی



ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - تعیین مدت زمان اندازه گیری
    - کل زمان اندازه گیری (یعنی تعداد نمونه ها * مدت زمان اندازه گیری) بایستی حداقل ۱ دقیقه باشد.
    - تعداد نمونه های با مدت زمان کوتاه، نسبت به یک اندازه گیری طولانی مدت ارجحیت دارد.
    - برای هر فرایند توصیه می شود حداقل ۳ نمونه گرفته شود.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
- ارتعاش چند محوره
- در اکثر ابزارها، ارتعاش ورودی به دستها حاصل ترکیبی از سه محور اندازه گیری است.

$$a_{hv} = \sqrt{a^2{}_{hwx} + a^2{}_{hwy} + a^2{}_{hwz}}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - تعیین شتاب معادل در مدت زمان مواجهه
    - به منظور تعیین میزان مواجهه معادل کل در زمان های مواجهه مختلف و با مقدار بزرگی ارتعاش متفاوت در یک نوبتکاری

$$a_{hv} = \sqrt{\frac{1}{T}\left(\left(a_{hw\,1}{}^2 \times t_1\right) + \left(a_{hw\,2}{}^2 \times t_2\right) + \cdots + \left(a_{hw\,n}{}^2 \times t_n\right)\right)}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
- تعیین شتاب معادل در مدت زمان مواجهه
- ارزیابی مواجهه با ارتعاش بر مبنای تعیین مقدار کل انرژی معادل ارتعاش ۸ ساعته

$$A(8) = a_{hv}\sqrt{\frac{T_v}{T_0}}$$

که T_v کل مدت‌زمان روزانه‌ی مواجهه با ارتعاش a_{hv} و T_0 دوره زمانی مرجع که معمولاً برای زمان مواجهه برابر با ۸ ساعت (28800 ثانیه) در نظر گرفته می‌شود.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - حدود مجاز مواجهه با ارتعاش دست – بازو

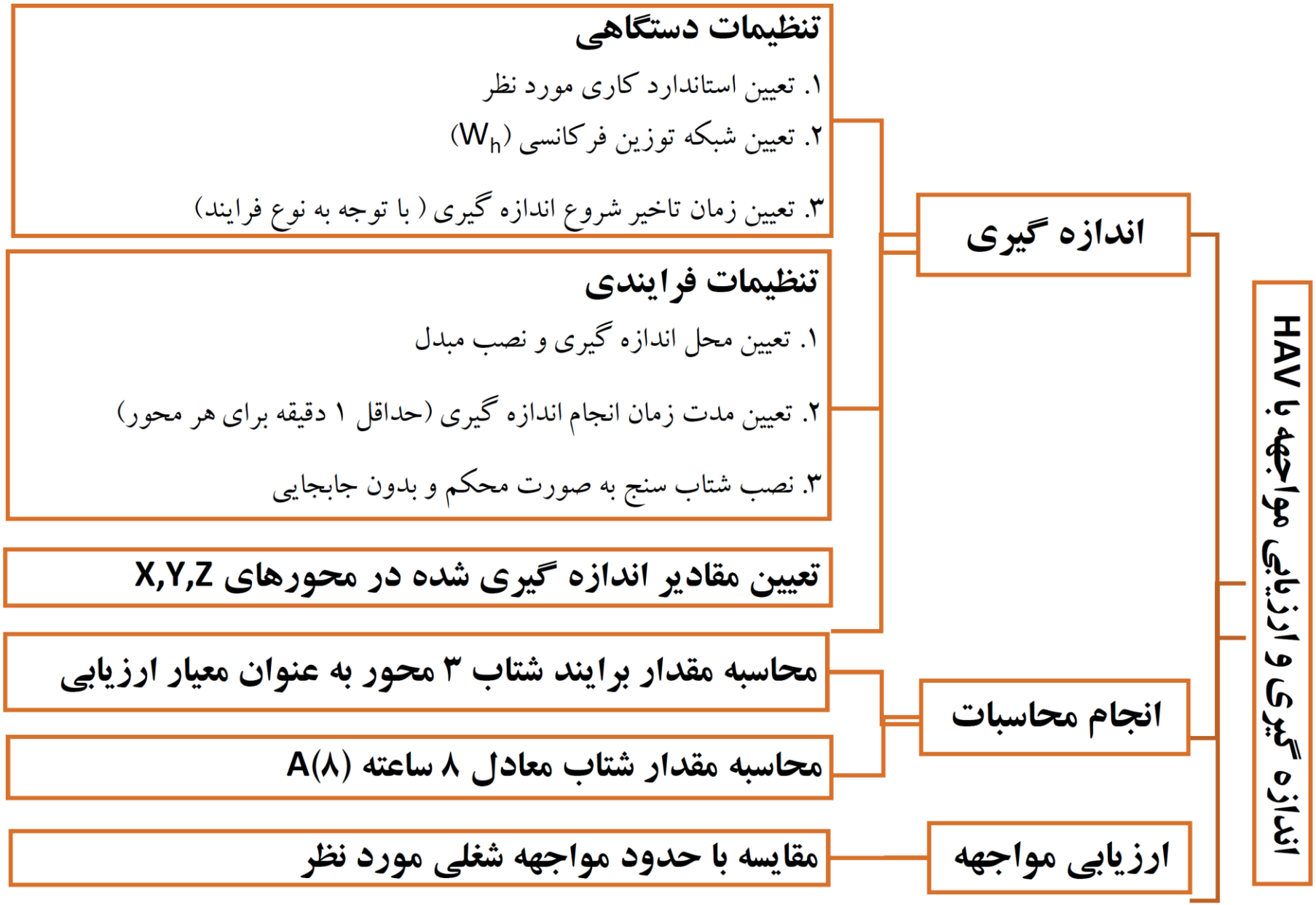
جدول ۱. حدود مواجهه شغلی (OEL) و سطوح اقدام (AL) مواجهه برای شتاب وزن یافته دست– بازو
مطابق با ANSI 2.70 و European Union Directive 2002/44/EC

مدت‌زمان مواجهه روزانه با ارتعاش (ساعت)	شتاب وزن یافته فرکانسی ($a_{hv\,(rms)}$) (m/s^2)	
	حد اقدام (AL)	حد مواجهه شغلی (OEL)
۰/۲۵ (۱۵ دقیقه)	۱۴/۱۴	۲۸/۲۸
۰/۵ (۳۰ دقیقه)	۱۰	۲۰
۱	۷/۰۷	۱۴/۱۴
۲	۵	۱۰
۴	۳/۵۴	۷/۰۷
۶	۲/۸۹	۵/۷۷
۸	۲/۵	۵

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
- حدود مجاز مواجهه با ارتعاش دست – بازو

$a_{hv\,(OEL)} = 5\,(\frac{8}{T_v})^{\frac{1}{2}}$	رابطه تعیین مقدار OEL در زمان موردنظر T_v (ساعت)
$a_{hv\,(AL)} = 2.5\,(\frac{8}{T_v})^{\frac{1}{2}}$	رابطه تعیین مقدار AL در زمان موردنظر T_v (ساعت)
$T_v = \frac{200}{a^2_{hv\,(OEL)}}$	رابطه تعیین مدت‌زمان مواجهه T_v (ساعت) مطابق با OEL
$T_v = \frac{50}{a^2_{hv\,(AL)}}$	رابطه تعیین مدت‌زمان مواجهه T_v (ساعت) مطابق با AL



شکل ۱ – نمو گرام اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست بازو

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - مثال ۱ : یک آچار بادی برای بستن پیچ چرخ ها در یک تعمیرگاه مکانیکی بکار می رود. هر وسیله نقلیه به ۲۰ پیچ چرخ نیاز دارد. گزارش های کاری ثبت شده نشان می دهد که به طور متوسط در هر روز کار ۵۰ وسیله نقلیه به طور کامل انجام می گیرد، یعنی ۱۰۰۰ پیچ چرخ در روز.
  - یک مدت زمان ثابت ۲۰ ثانیه ای برای بستن ۵ پیچ چرخ بکار می رود. میانگین بزرگی ارتعاش برای دوره ۲۰ ثانیه ای برابر با ۱۴/۶ متر بر مجذور ثانیه اندازه گیری شده است.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - مثال ۱:

بنابراین زمان مواجههی روزانه ۴۰۰۰ ثانیه است یعنی ۱ ساعت و ۷ دقیقه (۱/۱h) و بزرگی ارتعاش، a_{hv} ۱۴/۶ است، بنابراین مواجهه ارتعاشی روزانه $A(8)$ برابر است با:

$$A_{(8)} = a_{hv}\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14.6\sqrt{\frac{1.1}{8}} = 5.4 m/s^2$$

ارتعاش

- **ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو**

مثال۲: درصورتی‌که اپراتور یک رنده نجاری روزانه به مدت ۳ ساعت با بزرگی‌های ارتعاشی در محورهای مختلف به شرح ذیل باشد مقدار شتاب **r.m.s** معادل مواجهه روزانه وی را محاسبه نمایید.

شتاب r.m.s در محور X برابر با ۱۰/۲ متر بر مجذور ثانیه

شتاب r.m.s در محور Y برابر با ۴/۱ متر بر مجذور ثانیه

شتاب r.m.s در محور Z برابر با ۶/۵ متر بر مجذور ثانیه

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش دست – بازو
  - مثال ۲:

پاسخ:

بزرگی شتاب در سه محور را در مدت‌زمان مواجهه ۸ ساعته با استفاده از روش مجموع محورها می‌توان محاسبه کرد:

$$a_{hv} = \sqrt{a^2{}_{hwx} + a^2{}_{hwy} + a^2{}_{hwz}} = \sqrt{10.2^2 + 4.1^2 + 6.5^2} = 12.77 m/s^2$$

و شتاب معادل ۸ ساعته را حال می‌توان با استفاده از رابطه ذیل به دست آورد:

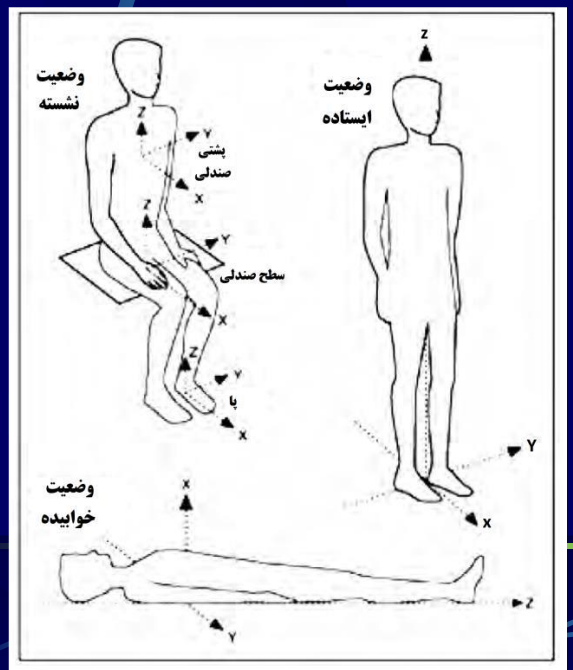
$$A_{(8)} = a_{hv}\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 12.77\sqrt{\frac{3}{8}} = 7.82 m/s^2$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - کمیت تعیین بزرگی
    - کمیت مورداستفاده جهت توصیف بزرگی ارتعاش انسانی ریشه مجموع مربعات (rms) شتاب وزن یافته ی فرکانسی است که با واحد متر بر مجذور ثانیه بیان می شود.
    - کمیت دیگری تحت عنوان مقدار دوز ارتعاش Vibration Dose Value (VDV)

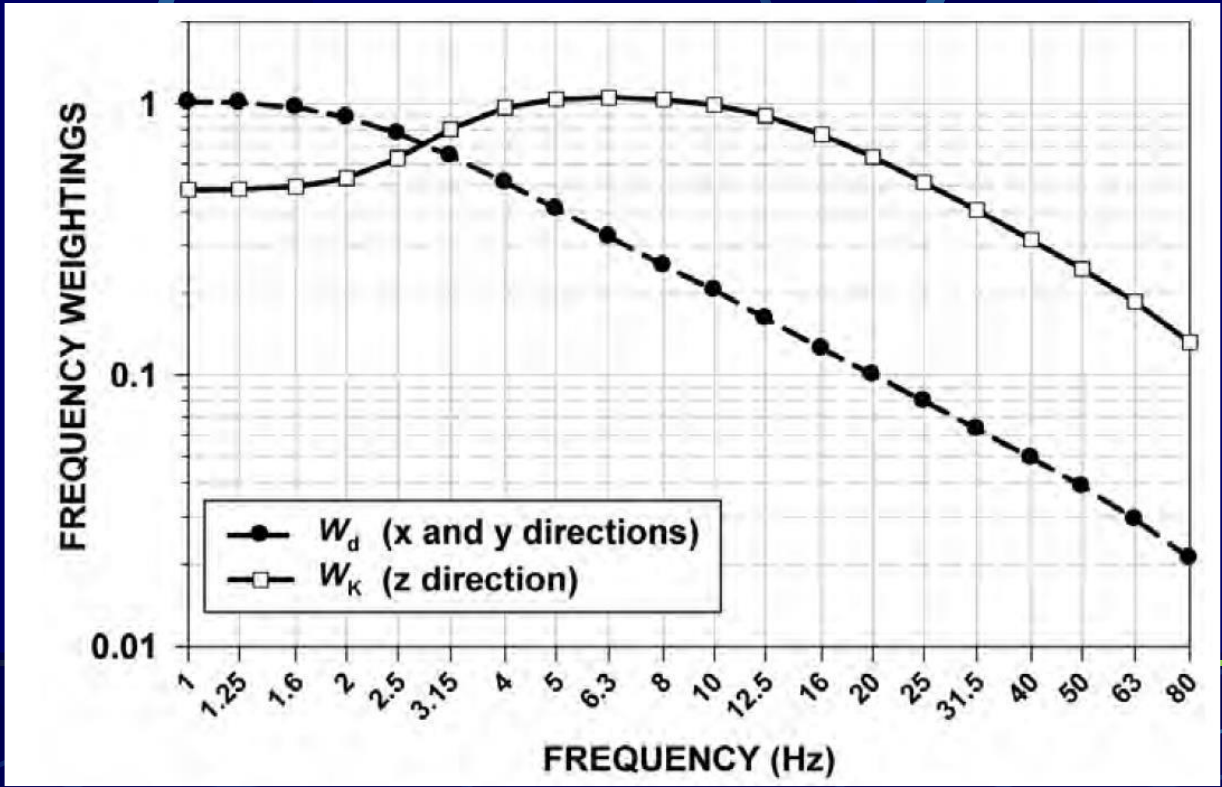
ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- محور اندازه گیری
- شتاب سنجی در محورهای مختصاتی اصلی تا جایی که امکانپذیر است بایستی باهم به صورت هم زمان انجام شود.



ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- شبکه های توزین فرکانسی



ارتعاش

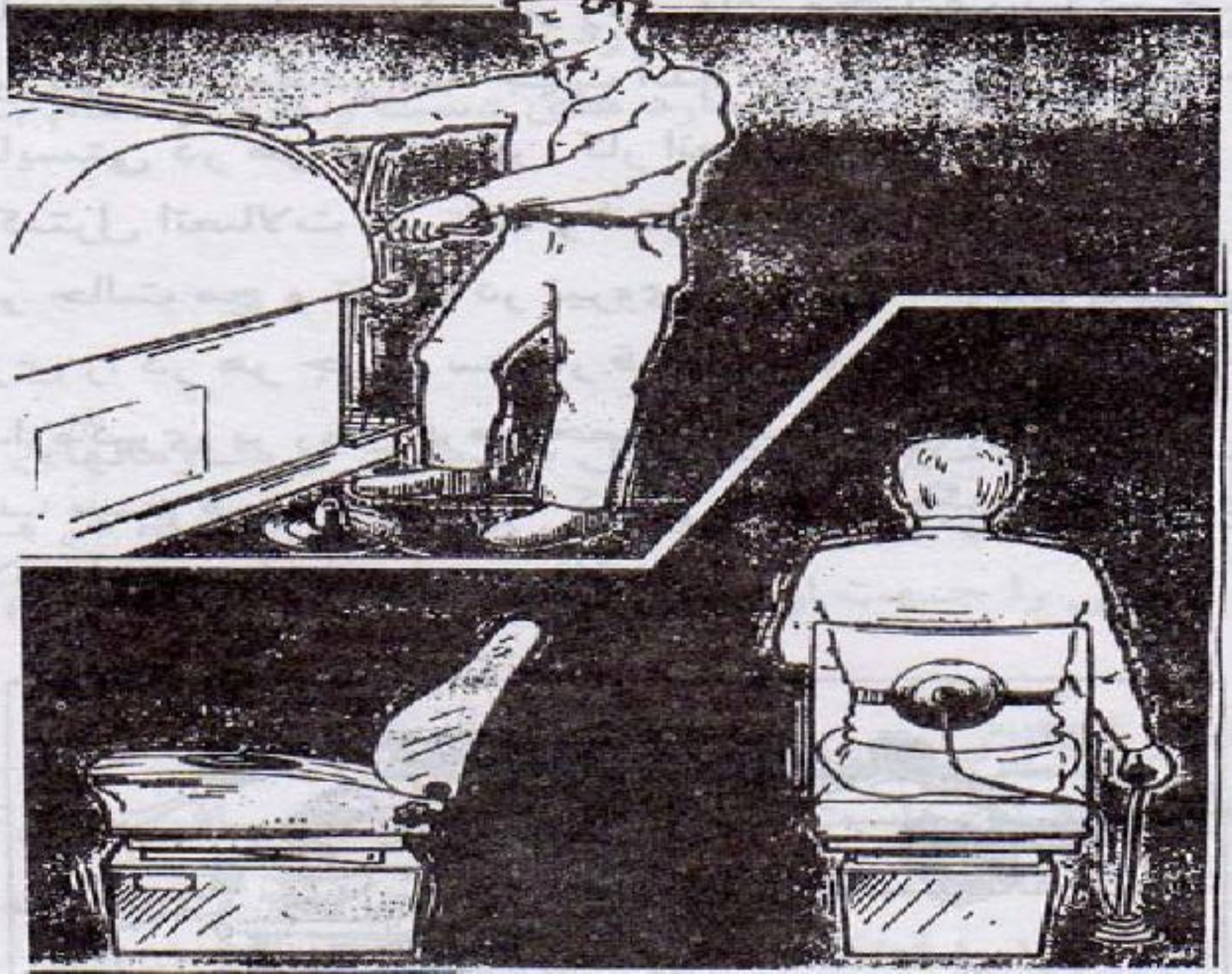
- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - تجهیزات اندازه گیری ارتعاش
    - برای سنجش مواجهه انسانی باید سه شتاب سنج مستقل سبک (یا یک شتاب سنج سه محوره) که حساسیت بین محوری آنها کمتر از ۱۰ ٪ باشد، در داخل مرکز یک دیسک لاستیکی سخت مطابق با ISO10326-1 قرار گیرد.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- تجهیزات اندازه گیری ارتعاش

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - محل اندازه گیری و نصب شتاب سنج



ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - محل اندازه گیری و نصب شتاب سنج

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - تعیین مدت زمان اندازه گیری
    - به عنوان یک قاعده سرانگشتی باید زمان اندازه گیری حداقل یک دوره کامل چرخه شغلی یا مسیر راهبری را پوشش دهد.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- معیار تعیین روش ارزیابی (فاکتور قله)
- مقادیر حدود مجاز و عمل توصیه شده مطابق با شتاب rms برای فاکتورهای قله ۹ یا کمتر معتبر هستند.
- فاکتور قله به عنوان قدر مطلق نسبت حداکثر مقدار آنی پیک سیگنال شتاب وزنی فرکانسی به مقدار rms تعریف شده است.

$$CF\,(ratio) = \frac{a_{peak}}{a_{rms}}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- معیار تعیین روش ارزیابی (فاکتور قله)
- درصورتیکه فاکتور قله از ۹ تجاوز نماید، ممکن است مقادیر تعریف شده برای حدود مجاز یا اقدام مواجهه، اثرات ارتعاش را کمتر از مقدار واقعی پیش بینی نمایند و به همین دلیل باید جانب احتیاط در این شرایط رعایت گردد.
- بدین جهت به هنگام مواجهه با ارتعاش تمام بدن باید فاکتور قله محاسبه گردد تا در صورت لزوم علاوه بر مقدار شتاب مؤثر، از روش مقدار دوز ارتعاش VDV جهت ارزیابی ثانویه و تکمیلی استفاده شود.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- روشهای ارزیابی مواجهه
- الف– روش ارزیابی پایه با استفاده از ریشه میانگین مربعات شتاب وزن یافته

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T}((a_{w\,1}{}^2 \times t_1) + (a_{w\,2}{}^2 \times t_2) + \cdots + (a_{w\,n}{}^2 \times t_n))}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - روشهای ارزیابی مواجهه
    - ب– روش استفاده از مقدار دوز ارتعاش (VDV)
      - روش شتاب مؤثر وزن یافته ممکن است اثرات شتاب های ارتعاش با فاکتور قله بالاتر از ۹ را کمتر از مقدار واقعی تخمین بزند.
      - ارتعاشات گذرا و ارتعاشاتی که همراه با شوک های ناگهانی متعدد هستند نمونه هایی از این ارتعاشات هستند.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - روشهای ارزیابی مواجهه
    - ب– روش استفاده از مقدار دوز ارتعاش (VDV)
      - مقدار توان چهارم دوز ارتعاش (VDV)

$$VDV = k_l((a_{w\,1}(t_1)^4 + (a_{w\,2}(t_2)^4 + \cdots + (a_{w\,n}(t_n)^4)^{\frac{1}{4}}$$

در ارزیابی اثرات بهداشتی ضرایب اعمالی K، برای محورهای X,Y برابر با ۱/۴ و برای محور Z برابر با ۱ است.

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - ترکیب محورها

$$a_v = a_v = \left((k_x a_{wx})^2 + (k_x a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$a_v = \left((k_x VDV_{wx})^4 + (k_x VDV_{wy})^4 + (k_z VDV_{wz})^4\right)^{\frac{1}{4}}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
  - تعیین شتاب معادل در مدت زمان مواجهه

$$a_{wl} = \frac{(a_{wl\,1}^2 . t_1) + (a_{wl\,2}^2 . t_2) + \cdots + (a_{wl\,n}^2 . t_n)}{(t_1 + t_2 + \cdots + t_n)}$$

$$\frac{m}{s^2} A(8) = \sqrt{\frac{(a_{w\,1}^2 . t_1) + (a_{w\,2}^2 . t_2) + \cdots + (a_{w\,n}^2 . t_n)}{8}}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- حدود مجاز مواجهه با ارتعاش تمام بدن

جدول ۱- حدود مواجهه شغلی (OEL) و سطوح اقدام (AL) بر اساس روش ارزیابی پایه (شتاب rms وزن یافته فرکانسی) مطابق با ISO 2631-1

مدت‌زمان مواجهه روزانه با ارتعاش (ساعت)	شتاب وزن یافته فرکانسی ($a_{w\,(rms)}$) (m/s^2)	
	حد اقدام (AL)	حد مواجهه شغلی (OEL)
۰/۱۶۶۷ (۱۰ دقیقه)	۳	۶
۰/۵ (۳۰ دقیقه)	۱/۷۳	۳/۴۶
۱	۱/۲۳	۲/۴۵
۲	۰/۸۷	۱/۷۳
۴	۰/۶۱	۱/۲۳
۸	۰/۴۳	۰/۸۷
۲۴	۰/۲۵	۰/۵

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- حدود مجاز مواجهه با ارتعاش تمام بدن

$a_{w\,(OEL)} = \frac{2.45}{\sqrt{T}} \quad (m/s^2\ rms)$	رابطه تعیین مقدار OEL در زمان موردنظر T (ساعت)
$a_{w\,(AL)} = \frac{1.23}{\sqrt{T}} \quad (m/s^2\ rms)$	رابطه تعیین مقدار AL در زمان موردنظر T (ساعت)
$T = \frac{6}{a^2_{w\,(OEL)}}$	رابطه تعیین مدت‌زمان مواجهه T (ساعت) مطابق با OEL
$T_v = \frac{1.5}{a^2_{w\,(AL)}}$	رابطه تعیین مدت‌زمان مواجهه T (ساعت) مطابق با AL

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- حدود مجاز مواجهه با ارتعاش تمام بدن

جدول ۲- حدود مواجهه شغلی (OEL) و سطوح اقدام (AL) بر اساس روش ارزیابی بر اساس مقدار دوز ارتعاش (VDV) مطابق با ISO 2631-1

مدت‌زمان مواجهه روزانه با ارتعاش (ساعت)	VDV وزن یافته فرکانسی (VDV_w) $(m/s^{1.75})$	
	حد اقدام (AL)	حد مواجهه شغلی (OEL)
۰/۱۶۶۷ (۱۰ دقیقه)	۲۲/۳۸	۴۴/۷۶
۰/۵ (۳۰ دقیقه)	۱۷	۳۴
۱	۱۴/۳	۲۸/۶
۲	۱۲	۲۴
۴	۱۰/۱	۲۰/۲۲
۸	۸/۵	۱۷

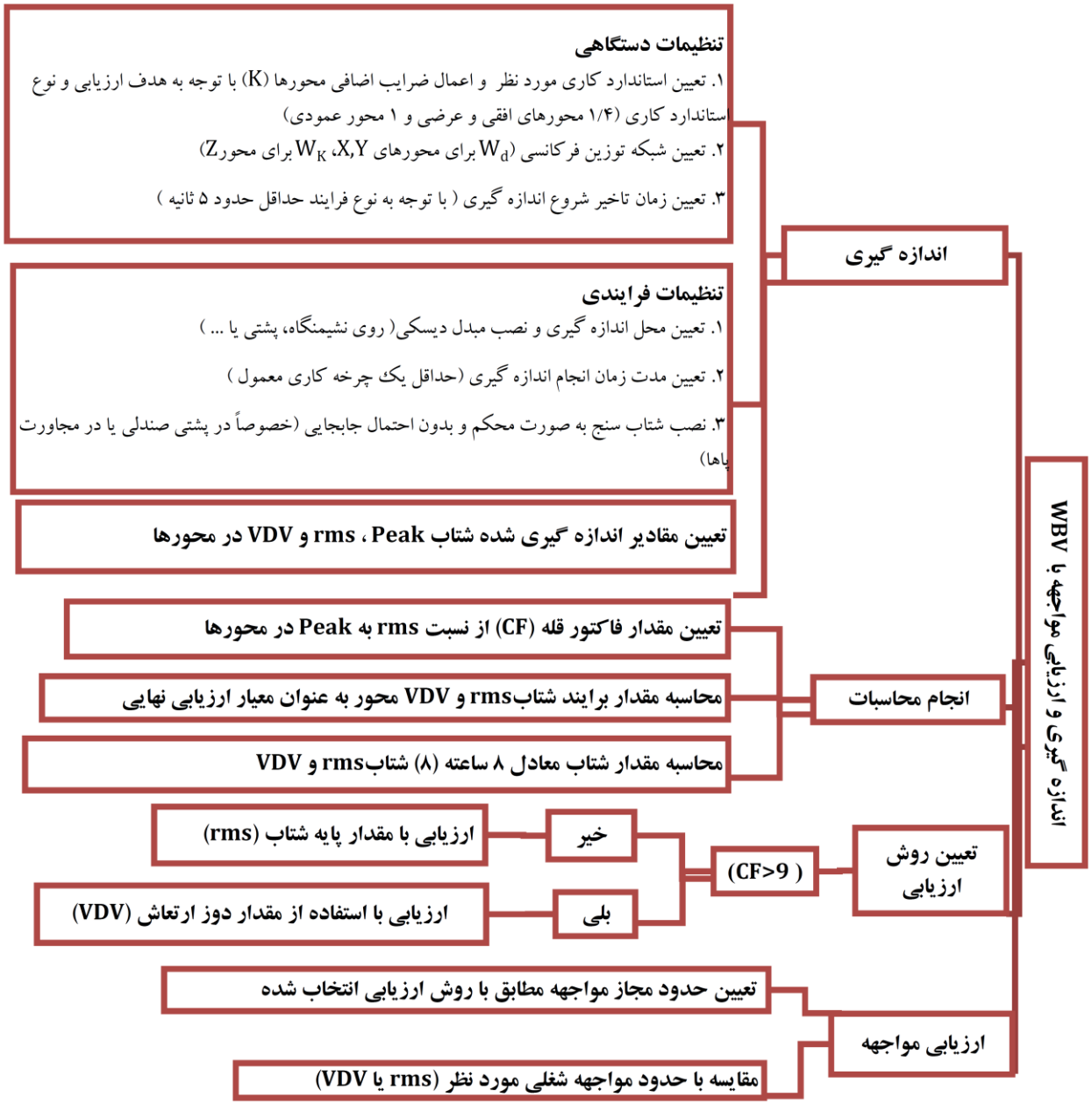
ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- حدود مجاز مواجهه با ارتعاش تمام بدن

رابطه تعیین مقدار OEL در زمان موردنظر T (ساعت)	$VDV_{(OEL)} = \frac{28.6}{T^{\frac{1}{4}}} \quad (m/s^{1.75}\, rms)$
رابطه تعیین مقدار AL در زمان موردنظر T (ساعت)	$VDV_{(AL)} = \frac{14.3}{T^{\frac{1}{4}}} \quad (m/s^{1.75}\, rms)$
رابطه تعیین مدت‌زمان مواجهه T (ساعت) مطابق با OEL برای VDV اندازه‌گیری شده	$T_{OEL} = 8(\frac{17}{VDV_{mesu}})^4 \quad (hrs)$
رابطه تعیین مدت‌زمان مواجهه T (ساعت) مطابق با AL برای VDV اندازه‌گیری شده	$T_{OEL} = 8(\frac{8.5}{VDV_{mesu}})^4 \quad (hrs)$

*روش VDV را نباید به‌منظور ارزیابی مواجهه با زمان‌های بیش از ۸ ساعت به کار گرفت.

ارتعاش



شکل ۱ – نموگرام اندازه‌گیری و ارزیابی اثرات بهداشتی مواجهه با ارتعاش تمام بدن

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن

- **مثال:**

مثال۱: یک راننده هر روز یک ساعت با یک لیفتراک کوچک بارگیری کامیون را انجام می‌دهد و ۶ ساعت در حال رانندگی یک کامیون به شرح ذیل است:

مرحله ۱: مقادیر ارتعاش روی صندلی برحسب m/s^2 برابر است با :

محورهای اندازه‌گیری شده	لیفتراک	کامیون
محور x	۰/۵	۰/۲
محور Y	۰/۳	۰/۳
محور Z	۰/۹	۰/۳

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- مثال:

مرحله ۲: بنابراین مواجهه روزانه محورهای x،y و z برای کامیون به شرح ذیل است:

$$A_x(8) = 1.4 \times 0.2\sqrt{\frac{6}{8}} = 0.24\frac{m}{s^2}$$

$$A_y\ (8) = 1.4 \times 0.3\sqrt{\frac{6}{8}} = 0.36\frac{m}{s^2}$$

$$A_z(8) = 0.3\sqrt{\frac{6}{8}} = 0.26\frac{m}{s^2}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- **مثال:**

و برای لیفتراک:

$$A_x(8) = 1.4 \times 0.5 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0.25 \frac{m}{s^2}$$

$$A_y(8) = 1.4 \times 0.3 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0.15 \frac{m}{s^2}$$

$$A_z(8) = 0.9 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0.32 \frac{m}{s^2}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- **مثال:**

مرحله ۳: مقدار بزرگی مواجهه در هر محور؛

$$A_x(8) = \sqrt{0.25^2 + 0.24^2} = 0.35 \frac{m}{s^2}$$

$$A_y(8) = \sqrt{0.15^2 + 0.36^2} = 0.39 \frac{m}{s^2}$$

$$A_z(8) = \sqrt{0.32^2 + 0.26^2} = 0.41 \frac{m}{s^2}$$

ارتعاش

- ملاحظات اندازه گیری و ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن
- مثال:

مرحله ۴: مقدار برآیند محورها برای مواجهه کلی این راننده برابر خواهد بود با :

$$a_w = \sqrt{0.35 + 0.39 + 0.41} = 0.67\ \mathrm{m/s^2}$$

لذا مواجهه ۸ ساعته مجموع راننده در محدوده ناحیه HGCZ قرار دارد .

بزرگان زاده نشدند، ساخته شدند...