

صلى الله عليه وسلم

ارتعاش در محیط کار

مفاهیم اساسی ارتعاش

ارتعاش^۱ یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی است. ارتعاش برخی مواقع تشدید کننده صدا و حتی علت ایجاد، یا منبع تولید صدا نیز می‌تواند باشد. در برخی تعاریف عنوان شده است که ارتعاش امواج صوتی با تواتر پائین (کمتر از ۲۰۰۰ هرتز) در اجسام سخت است، اما از نظر فیزیک، ارتعاش یک حرکت نوسانی جسم حول نقطه تعادل آن است. آنچه که در ارتباط بین ارتعاش اجسام در محیط و انسان (از نظر بهداشتی) حائز اهمیت است این است که انرژی امواج ارتعاشی در تماس مستقیم با اعضاء و اندام‌ها می‌تواند در محدوده‌هایی مخاطره‌آمیز باشد. تجهیزات و وسایل کاری که به‌طور فراگیر مورد استفاده کارگران بوده و مولد ارتعاش هستند شامل: ابزارهای الکتریکی چرخان، انواع موتورهای درون‌سوز و ابزارهای پنوماتیک و وسایل نقلیه و نیز دستگاه‌های که قسمت‌های متحرک دارند مانند آسیاب و میکسر از مواردی هستند که امواج ارتعاشی حاصل از آن‌ها می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد. انتقال انرژی مکانیکی از یک منبع مرتعش به بدن کارگر می‌تواند به ترتیب باعث اختلال در راحتی یا آسایش فرد، کاهش بازدهی در اثر خستگی ناشی از ارتعاش و نیز اختلال در اعمال فیزیولوژیک کارگر گردد و در مواردی نیز می‌تواند باعث ضایعات اسکلتی و برخی بیماری‌ها گردد. صدا و ارتعاش هر دو از جنس امواج مکانیکی بوده و قابل تبدیل به یکدیگر می‌باشند. انتشار موج صوتی در مجاورت اجسام می‌تواند باعث ارتعاش آن‌ها گردد و بالعکس جسم مرتعش نیز می‌تواند صدا ایجاد کند.

ماهیت ارتعاش

ارتعاش یک حرکت نوسانی حول نقطه تعادل جسم است. وقتی تصویر این حرکت در نظر گرفته شود، فرکانس، دامنه جابجائی، و زمان تناوب از مشخصات این حرکت است. کلیه اجسامی که دارای جرم و فنریت باشند، قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارند. مشخصه‌های اصلی امواج ارتعاشی شامل: دامنه^۲ (دامنه‌های جابجایی^۳، سرعت^۴ و شتاب^۵)،

-
- 1 - Vibration
 - 2 - Amplitude
 - 3 - Displacement
 - 4 - Velocity
 - 5 - Acceleration

فرکانس^۱ (و فرکانس زاویه‌ای^۲)، طول موج^۳ می‌باشد که عامل اصلی ایجاد ارتعاش نیرویی^۴ است که بر جرم محیط ارتعاشی غلبه نموده است. دامنه یا بزرگی، تغییرات کمیت موج نسبت به نقطه تعادل بوده و با توجه به شکل موج سینوسی است. درک انسان از قله و دره موج (همانند تغییرات دامنه صوت) به یک اندازه است.

جنبه‌های بهداشتی ارتعاش

صدماتی که ارتعاش به‌عنوان یک استرس^۱ فیزیکی به بدن وارد می‌کند و همچنین پاسخ^۲ فیزیولوژیک که بدن در مقابل آن ایجاد می‌کند، مختلف است. نحوه و میزان اثر ارتعاش به دو گروه عوامل خارجی (محیطی) و عوامل فردی بستگی دارد.

عوامل محیطی

- ۱- فرکانس ارتعاش: هر محدوده فرکانسی از دامنه ارتعاش اندام بخصوصی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در صورتی که فرکانس ارتعاش نیروی محرکه به فرکانس تشدید اندام نزدیک باشد اثرات در آن ارتعاش بیشتر است.
- ۲- شتاب یا سرعت ارتعاش (مؤثر): بزرگی دامنه ارتعاش به نوعی بیان کننده انرژی نیروی محرکه است و هرچه بیشتر باشد، اثر ارتعاش نیز بیشتر خواهد بود.
- ۳- جهت ورود ارتعاش به بدن: بیشترین صدمه وارده به بدن در جهت طول اندام و بیشترین مواجهه نیز در همان جهت است. در صورتی که جهات ورود بیش از یک جهت باشد (اغلب این گونه است) برآیند دامنه ارتعاش در همه جهات اهمیت می‌یابد.
- ۴- وسعت محل ورود ارتعاش: هرچه وسعت محل تماس بدن با جسم مرتعش بیشتر باشد اثر ارتعاش بیشتر و عوارض مربوطه زودتر نمایان می‌گردد.
- ۵- مدت مواجهه روزانه و سابقه کار: طول زمان مواجهه در هر شیفت و سابقه کار با عوارض ارتعاش رابطه مستقیم دارند.

1 - Stress

2 - Strain

۶- درجه حرارت محیط: مواجهه با سرما، خصوصاً در ارتعاش دست-بازو اثر ارتعاش را تشدید می‌کند.

۷- میزان ضد ارتعاش بودن وسیله کار^۱: هرچه در مرحله طراحی وسیله را از نظر ارتعاش تولیدی کنترل نموده باشند مطلوب‌تر است. در صورت عدم کنترل مناسب توسط سازنده مخاطرات کار با آن بیشتر خواهد بود.

۸- زمان اثرگذاری ارتعاش: در یک دوره کاری بر اساس بررسی‌های به عمل آمده می‌توان الگویی را برای زمان اثرگذاری ارتعاش بیان نمود که مربوط به همان گروه جامعه و برای همان محدوده از ارتعاش است. لذا می‌توان گفت که هر میزان ارتعاش در یک محدوده زمانی معین می‌تواند اثرات خود را در بدن بروز دهد.

۹- وجود صدا: مواجهه با صدا در محیط کار، اثر ارتعاش را تشدید می‌کند. اثرات توأم صدا و ارتعاش بیش از جمع اثر هر کدام به تنهایی است، لذا باید در مطالعه اثر هر یک، اثر توأم دیگری نیز مورد ملاحظه قرار گیرد.

عوامل فردی

۱- طرز قرارگیری بدن در حین کار: حالات غیر طبیعی اندام می‌تواند به تسریع اثرات ارتعاش کمک نماید.

۲- وضعیت کششی بدن (ماهیه‌ها): هرچه کشیدگی یا سفتی عضلات در هنگام کار با وسایل بیشتر باشد اثرات ارتعاش بیشتر خواهد بود. لذا به کارگران آموزش داده می‌شود که تا حد امکان چنگش عضلانی خود را محدود نمایند.

۳- چگونگی عکس‌العمل بدن به ارتعاش: پاسخ بدن انسان به تمام ارتعاشات یکسان نیست و در برخی فرکانس‌ها حساسیت کمتر می‌باشد، لذا توجه به این نکته در پیشگیری از اثرات مهم است.

۴- خصوصیات جسمانی، فردی و ارثی: ارتعاش مانند هر عامل محیطی اثرات یکسانی بر افراد ندارد، تجارب نشان داده است که خصوصیات بدنی، نژاد و آمادگی جسمانی در ایجاد عوارض ارتعاش نقش دارد. عادات فردی مانند اعتیاد به سیگار نیز می‌تواند اثر ارتعاش را تشدید نماید.

اثرات ارتعاش تمام بدن

این ارتعاشات از وسایل نقلیه زمینی، هوایی، دریایی و نیز بسیاری از محیط‌های مرتعش کاری مثل ژنراتورهای نیروگاه‌ها و سایر وسایل به بدن انسان وارد می‌شود. مهم‌ترین اثرات این نوع ارتعاش عبارتند از:

۱ - اختلال در اندام‌ها مخصوصاً ستون فقرات: به دلیل صدمات مکانیکی و همچنین اختلال در خون‌رسانی و تغذیه بافت‌ها که باعث تخریب سلول‌های استحکامی استئوسیت می‌شود، اندام اسکلتی مخصوصاً مفاصل تحت تأثیر ارتعاش قرار می‌گیرند، نرم و شکننده می‌شوند.

۲ - اختلالات گوارشی: به دلیل تقارن فرکانس ارتعاش با فرکانس طبیعی برای هضم و دفع مواد غذایی اختلالاتی ایجاد می‌گردد. یکی از این اختلالات، ناخوشی راکبین^۱ و وسایل نقلیه شامل: سرگیجه، عدم تمرکز و تهوع است. در مواجهه‌های شغلی با ارتعاش به دلیل تحریک عصبی و ترشح زیاد اسید، اختلال هضم غذا و اختلال در ترانزیت روده شایع بوده و حتی در برخی موارد هم‌روید نیز گزارش شده است.

۳ - اثرات عصبی و عمومی: ارتعاش به‌عنوان استرس فیزیکی می‌تواند ترشح هورمون‌های محرک را زیاد نموده و باعث تحریک عصبی گردد. افزایش فشارخون و نبض نیز به همین دلیل است. مواجهه با ارتعاش حتی می‌تواند در ترشح برخی آنزیم‌های بدن نیز ایجاد اختلال نماید.

اثرات ارتعاش دست - بازو

علاوه بر اثراتی که برای ارتعاش تمام بدن ذکر شد در تماس بدن با ارتعاش دست-بازو نیز عوارض ویژه‌ای ظاهر می‌گردد. در مطالعات اپیدمیولوژیک، عوارض ناشی از این ارتعاش شامل سندرم ارتعاش دست-بازو و عوارض استخوانی می‌باشد. این سندرم شامل اختلال در خون‌رسانی به دست به دلیل عکس‌العمل رفلکسی عروق به صورت تنگی ظاهر شده و باعث اختلال در تغذیه و اکسیژن‌رسانی شده و می‌تواند باعث علائم تغییرات عصبی و عروقی و نیز سندرم ارتعاشات دست - بازو^۱ و نهایتاً پدیدهٔ انگشت سفید ناشی از ارتعاش^۲ گردد.

مطالعات نشان داده است که در این عارضه به دلیل اختلالات ایجاد شده در خون‌رسانی، ابتدا تغییر رنگ انگشتان به سمت سفیدی، سپس سیانوزه (سیاه) شدن انگشتان، آتروفی (تحلیل بافت) تدریجی و نهایتاً قانقاریا (گانگرن) یا بافت مردگی عارض می‌گردد. بیشترین مطالعات در این زمینه مربوط به Taylor, Palmear و Pearson است. مراحل پیشرفت VWF از نظر تیلور شامل چند مرحله است که در جدول (۷) آمده است. در مراحل ۳ و ۴ این جدول نسج مردگی به‌طور پیش‌رونده ادامه داشته و انگشت کوچک بیش از همه در معرض آسیب می‌باشد. وجود سرما در محل کار اثر ارتعاش را تسریع می‌کند. در سال ۱۹۹۰ در گردهمایی استکهلم برای ارزیابی علائم و اثرات حسی و عروقی ناشی از ارتعاش، سندرم ارتعاش دست - بازو HAVS معرفی گردیده است. این علائم در درجه‌بندی ویژه‌ای که در جدول (۸) آمده است و هم اکنون مورد استناد می‌باشد.

تغییر شکل استخوان‌ها و مفاصل انگشتان به دلیل خون‌رسانی ناکافی و صدمات مکانیکی ناشی از ارتعاش موجب می‌گردد که مفاصل انگشتان تغییر شکل داده و حجیم گردند. نرمی استخوان و چنگش بالا این عارضه را تشدید می‌نماید. عوارض استخوان‌های مچ و کف دست: اختلال در خون‌رسانی و تغذیه بافت‌ها که باعث انهدام سلول‌های استحکامی استئوسیت می‌شود، استخوان‌های کف دست را تحت تأثیر ارتعاش قرار داده، نرم و شکننده نموده و حتی در برخی موارد دچار نکروز و حتی کنده شدن می‌نماید.

1 - Hand Arm Vibration Syndrome (HAVS)

2 - Vibration White Finger (VWF)

جدول (۷) مراحل سندرم ارتعاش دست بازو در تقسیم‌بندی استکهلم

میزان ممانعت از کار و زندگی	وضعیت انگشتان	مرحله VWF
شکایتی ندارد	سفیدی در انگشتان مشهود است	0
مانع فعالیت نیست.	مور مور شدن متناوب	0 _T ¹
مانع فعالیت نیست.	بی‌حسی متناوب	0 _N ²
مانع فعالیت نیست.	سفیدی در یک یا چند انگشت همراه با مور مور شدن و بی‌حسی (یا بدون آن)	1
محدودیت مختصر در انجام امور منزل و فعالیت‌های اجتماعی	سفیدی در یک یا چند انگشت به‌طور کامل همراه با بی‌حسی معمولاً در زمستان	2
محدودیت در کار و منزل و فعالیت‌های اجتماعی به‌جز فعالیت‌های مورد علاقه	سفیدی دو طرفه در تمام انگشتان به‌صورت همیشگی در تابستان و زمستان	3
در این مرحله به دلیل وسعت عوارض و محدودیت زیاد باید شغل فرد عوض شود	سفیدی وسیع در تمام انگشتان به‌صورت دائم	4

جدول (۸) پیشرفت VWF بر اساس نظر تیلور

ارزیابی عروقی		
شرح	درجه	مرحله
ناراحتی ندارد	-	0
گاه‌گاهی ناراحتی در نوک یک یا چند انگشت	ملایم	1
گاه‌گاهی ناراحتی در بندهای بیش از یک انگشت	متوسط	2
ناراحتی به‌صورت همیشگی در اغلب بندهای انگشتان	شدید	3
موارد مرحله ۳ به همراه نارسایی در تغذیه پوست در نوک انگشتان	خیلی شدید	4
توجه: بایستی مراحل برای هر دست جداگانه تعیین شود. مثلاً "2L(2)/1R(1)" یعنی مرحله ۲ در دو انگشت دست چپ و مرحله ۱ در یک انگشت دست راست.		
ارزیابی حسی		
علائم	مرحله	
با ارتعاش مواجهه داشته ولی علامت بیماری ندارد	0SN	
بی‌حسی (کرختی) متناوب، همراه یا بدون مورمور شدن	1SN	
بی‌حسی (کرختی) متناوب یا مداوم، کاهش درک حسی	2SN	
بی‌حسی (کرختی) متناوب یا مداوم، کاهش درک حسی و کاهش مهارت دست	3SN	
توجه: بایستی مراحل برای هر دست جداگانه تعیین شود.		

3 - Tingling

4 - Numbness

اصول کنترل ارتعاش

تولید ارتعاش در سامانه‌های مکانیکی، جز در مواردی که ارتعاش جزء ماهیت کار آن می‌باشد، نشانگر ضعف فن‌آوری است. این پدیده یکی از راه‌های اتلاف انرژی به حساب می‌آید. کنترل ارتعاش می‌تواند منجر به کنترل صدا گردد زیرا در سیستم که صدا تولید می‌گردد، ارتعاش نیز وجود دارد، به‌علاوه کنترل ارتعاش می‌تواند از استهلاک اضافی سامانه‌های مکانیکی جلوگیری نماید. همواره باید توجه داشت که کنترل صدا و ارتعاش از طراحی سیستم یا فرآیند شروع می‌شود. گروه‌های طراحی صنعت، لازم است که یک بخش مهم کار خود را به کنترل عوامل مخرب در فرآیند اختصاص دهند. هدف عالی در کنترل صدا و ارتعاش، حفظ سلامت نیروی کار است.

اصول کلی کنترل ارتعاش شامل کنترل مدیریتی (مانند: آموزش، کاهش مواجهه، گردشی نمودن شغل)، کنترل فنی و حفاظت فردی می‌باشد. کنترل فنی خود شامل: کنترل در منبع تولید، نصب میراننده روی دستگاه‌ها یا در محل‌های تماس با بدن کارگر است. استفاده از وسایل حفاظت فردی نظیر کفش، دستکش، زیر پای ضد ارتعاش نیز توصیه می‌شود. اقدامات پزشکی نظیر ارزیابی سلامت کارگر در معاینات قبل از استخدام، پایش سلامت در معاینات دوره‌ای و تشخیص زودرس عوارض می‌تواند نقش مهمی در کاهش صدمات ناشی از ارتعاش باشد. کنترل‌های فنی شامل موارد زیر است:

کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت

ارتعاش دستگاه‌های صنعتی به دو دلیل تولید می‌گردد: اول، ارتعاشی که به‌دلیل ماهیت کار بوده و جزئی از کارایی دستگاه است، مانند ارتعاش یک دستگاه میکسر (مخلوط‌کن) که برای عمل مخلوط نمودن مواد بایستی محیط مرتعش باشد. دوم، ارتعاشی که به‌دلیل اتلاف انرژی مکانیکی ایجاد می‌گردد. این نوع ارتعاش همانند صدا و گرما راهی برای اتلاف انرژی دستگاه‌هایی است که بازدهی کافی ندارند.

برای هر دو گروه بایستی کارخانجات سازنده با الگوهای فنی تدابیری بیندیشند که ارتعاش تولیدی آن‌ها کمتر باشد. اگرچه سازندگان خود به این نکته واقف‌اند که این‌گونه دستگاه‌ها مقبولیت کمتر و عمر کوتاه‌تری دارند، ولی در بسیاری از موارد در کنترل فنی

موفقیت چندانی ندارند. مناسب‌ترین راه این است که شرکت‌های سازنده خود اقدام به رفع معایب و کنترل ارتعاش نمایند. از نظر تجارتي، در معرفی دستگاه‌ها عاملی بنام ضد ارتعاش بودن^۱ وسیله نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره‌برداری

با استفاده از مشخصه‌های ذاتی سیستم ارتعاشی و روش‌های متناسب می‌توان تا حدود زیادی ارتعاش را کنترل نمود. اصولاً برای کنترل ارتعاش از سه مشخصه جرم به همراه فنریت (برای فرکانس‌های پایین) و میرایی (برای فرکانس‌های بالا) به صورت زوج یا ترکیبی استفاده می‌گردد. به کارگیری این اجزا در درون دستگاه یا در محل نصب میسر می‌باشد. تمام مواد یا سامانه‌هایی که برای کنترل ارتعاش بکار می‌روند تحت نام کلی عایق‌های ارتعاشی^۲ نام‌گذاری می‌شوند. مهم‌ترین این عایق‌ها و تکنیک‌های کنترل ارتعاش شامل موارد زیر است:

۱. بالشک‌های هوا^۳ برای فرکانس‌های پایین (۳ هرتز و کمتر)
۲. کمک‌فنرها^۴ (ایزولاتورهای روغنی و گازی) برای شوک‌های ارتعاشی
۳. فنرهای فلزی^۵ (تسمه‌ای یا حلقوی) برای فرکانس‌های ۷-۲ هرتز
۴. پایه‌ها و قطعات لاستیکی^۶ برای فرکانس‌های ۴۰-۵ هرتز
۵. عایق‌های صفحه‌ای^۷ (لاستیکی، چوب‌پنبه، نمد) برای فرکانس‌های وسیع ۷۰-۵ هرتز
۶. اتصالات قابل ارتجاع^۸ برای جلوگیری از انتقال ارتعاش بین بخش‌های مکانیکی
۷. کنترل از راه دور^۹ دستگاه‌ها
۸. کنترل الکترونیک بر مبنای کنترل فعال ارتعاش^۱

1 - Anti vibration Devices (A/V)

2 - Vibration Isolators

3 - Pneumatic Isolators

4 - Shock absorbers

5 - Spring Isolators

6 - Elastomeric Isolators

7 - Pad Isolators

8 - Flexible Coupling

9 - Remote control

استفاده از عایق‌های ارتعاشی نیاز به محاسبات فنی مخصوص دارد. به‌طور کلی ابتدا باید خصوصیات ارتعاش دستگاه مورد نظر از دید دامنه و فرکانس غالب باید تعیین شود و مشخص گردد که میزان شتاب باید چقدر کاهش یابد تا با کمک آن میزان ایزولاسیون ارتعاش تعیین شود. در مرحله بعد پس از انتخاب ایزولاتور مناسب و روش استفاده از آن، محاسبات مربوط به کاهش مقادیر دامنه ارتعاش انجام می‌گردد. در کنترل فنی اصولاً عبور ارتعاش از تجهیزات به محیط اطراف و بدن کاربران کنترل می‌گردد. شکل (۳۳) و (۳۴) نمونه‌هایی از عایق‌های ارتعاشی را نشان می‌دهد.



شکل (۳۳)، نمونه‌هایی از عایق‌های ارتعاشی فنری



شکل (۳۴)، نمونه‌هایی از عایق‌های ارتعاشی لاستیکی

حفاظت فردی

استفاده از لوازم حفاظت فردی نظیر کفش و دستکش ضد ارتعاش می‌تواند به همراه سایر روش‌ها اهمیت داشته باشد. برخلاف محدودیت‌های استفاده از لوازم حفاظت فردی در مقابل سایر عوامل مخاطره‌زا از این روش می‌توان در کنترل ارتعاش، بدون مقاومت کارگر یا ایجاد عوارض و حتی بدون محدودیت در انجام کار استفاده نمود. نمونه‌هایی از دستکش‌های ضد ارتعاش در شکل (۳۵) آمده است.



شکل (۳۵): نمونه‌هایی از دستکش و کفش عایق ارتعاش