

بررسی و مطالعه ارتعاش شغلی تولید شده بوسیله اره‌موتوری و چگونگی کنترل ارتعاش در محیط جنگلداری

مقداد جورغلامی^۱، سمیه خواجوی^۲

چکیده

در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان در مشاغل مختلف در معرض طیف وسیعی از عوامل زیان‌آور و آلاینده‌های محیط کار قرار دارند که این امر پیامدهای بهداشتی ناگواری را به همراه داشته و امکان ابتلا به بیماریهای شغلی را افزایش خواهد داد. 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. ارتعاش شغلی نیز یکی از معضلات مهم شغلی در کار با اره‌موتوری در محیط جنگلداری قلمداد می‌گردد. مواجهه با ارتعاش می‌تواند به طور مستقیم باعث صدمات مکانیکی به بدن گردد و به عنوان یک استرس‌آور سبب اختلالات فیزیولوژیک گردد. انتقال امواج ارتعاشی (انرژی مکانیکی) از یک منبع مرتعش به بدن انسان می‌تواند سبب اختلال در راحتی و آسایش فرد، کاهش بازدهی در اثر خستگی و نیز اختلال در اعمال فیزیولوژیک کارکنان و در مواردی حتی می‌تواند سبب ضایعات اسکلتی و برخی بیماریهای دیگر شود. کنترل ارتعاش علاوه بر اینکه حفاظت افراد در برابر صدمات ناشی از ارتعاش را به دنبال دارد سبب حفاظت دستگاهها و بناها از تخریب و استهلاک ناشی از ارتعاش و همچنین کنترل صدای ناشی از ارتعاش خواهد شد. در پژوهش حاضر به بررسی موضوع ارتعاش ناشی از اره‌موتوری و چگونگی کنترل ارتعاش در کار جنگلداری پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش شغلی، بیماری‌های شغلی، کنترل ارتعاش

۱- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

mjgholami@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

khajavi1340@ut.ac.ir

مقدمه

ظهور اره‌موتوری تحول عظیمی را در امر قطع و تبدیل درختان جنگلی بوجود آورده و بازده بهره‌برداری را افزایش داده است. قبل از آن اره‌های دو سر دستی و تبر یکه‌تاز میدان بودند و امور بهره‌برداری از جنگل با زحمت بیشتر ولی خطرات کمتر برای انسان و جنگل انجام می‌شد در حالی که امروزه حذف اره-موتوری در کار بهره‌برداری غیر قابل تصور است و به عنوان یکی از تجهیزات اصلی در قطع می‌باشد (لطفعلیان و همکاران، ۱۳۸۹). اره‌موتوری معمولی که با یک کاربر کار می‌کند بطور گسترده‌ای برای قطع درختان و شاخه‌زنی در جنگل، قطع‌زنی گرده‌بینه در جنگل و کارخانه‌های چوب‌بری و حتی برش طولی گرده‌بینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بزرگترین عیب اره‌های موتوری لرزش دائمی آنها حین کار است. مطالعه‌ای بر روی گروهی شامل ۱۴۲ کاربر اره‌موتوری و ۵۶۹ نفر دیگر که با اره-موتوری ارتباط نداشتند نشان داد که با وجود بالا بودن میزان شیوع اختلالات لرزش دست-بازو در گروه شاهد که برابر با ۱۸٪ بود، میزان شیوع این اختلالات در کاربران اره‌موتوری خیلی بیشتر و نزدیک به ۴۴٪ است. طی آزمایشی مقدار فشار پنجه دست بر روی دسته جلویی و عقبی اره‌موتوری در هنگام کار را در ۸۹ نفر از چوب‌برهای حرفه‌ای اندازه‌گیری نمودند. مقدار تغییرات در میزان فشار پنجه دست در دستگیره جلویی بیشتر از دستگیره

عقبی بود. چوب‌برهایی که دارای عارضه انگشت سفید بودند فشار بیشتری را به هر دو دسته وارد می‌کردند. یک مطالعه پیوسته که در بین کارگران جنگلداری سوموسالمی در فنلاند آغاز شده بود و به مدت ۱۹ سال ادامه یافته بود در سال ۲۰۰۶ ارائه شد. در این مطالعه گروهی متشکل از ۵۲ کارگر جنگلداری در ۱۱ بررسی مقطعی متقابل در سالهای ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۵ شرکت کردند. مقدار شیوع عارضه ارتعاشی فعال انگشت سپید در طول مطالعه مقطعی متقابل از ۱۳ به ۴ درصد کاهش یافت. عارضه انگشت سپید از ۱۷ به ۸ درصد کاهش و بی‌حسی از ۲۳ به ۴۰ درصد افزایش یافت. درد منطقه‌ای گردن در ۳۸ درصد از کارگران تشخیص داده شده و به درد کمر وابسته بود. همچنین بی‌حسی به اختلالات اسکلتی عضلانی قسمت بالایی سر وابسته بود. عوارض ارتعاش دست بازو به سندرم روتاتورکاف راست در کارگران وابسته بود. در سال ۱۹۹۴ مقاله‌ای تحت عنوان مواجهه با ارتعاشات دست-بازو و توسعه سندرم‌های لرزشی ارائه شد. این مطالعه به منظور بررسی رابطه میزان اختلالات گردش خون، اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای و مفصلی با مدت زمان کاربری اره‌موتوری انجام گرفت. افراد مورد مطالعه در هشت گروه بر اساس مجموع مدت زمان کاربری دسته‌بندی شدند. نشانه‌های موجود و تحقیقات بالینی نشان می‌دهد که کار کردن با اره‌موتوری سبب سه عارضه گردش خون، اختلالات حسی و

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 می یابد.
۴. وسعت محل ورود ارتعاش: هرچه وسعت محل تماس بدن با جسم مرتعش بیشتر باشد اثر ارتعاش بیشتر و عوارض مربوطه زودتر نمایان می گردد.
۵. مدت مواجهه روزانه و سابقه کار: طول زمان مواجهه در هر شیفت و سابقه کار با عوارض ارتعاش رابطه مستقیم دارند.
۶. درجه حرارت محیط: مواجهه با سرما، خصوصاً در ارتعاش دست-بازو اثر ارتعاش را تشدید می کند.

آسیبهای ماهیچه‌ای و مفصلی می‌گردد. میزان این اختلالات با افزایش مدت زمان کار با اره‌موتوری افزایش یافته بود. نتایج نشان داد که اختلالات گردش خون در افرادی که کمترین ساعات کار را با اره‌موتوری داشتند نسبت به کسانی که با این وسیله کار نمی‌کنند اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین اختلالات حسی و آسبهای ماهیچه‌ای در گروه‌های خاصی تفاوت معنی‌دار را نشان می‌داد (فیضی، ۱۳۹۲). ارتعاشات یکی دیگر از عوامل زیان‌آور فیزیکی محیط کار است که در بیشتر موارد با سروصدا همراه می‌باشد. در نتیجه قرار گرفتن بدن به مدت طولانی در معرض ارتعاشات با شدت بالا، تولید بیماریهای ناشی از کار می‌شود که کیفیت و علایم آن بیماریها با محل تماسیدن با جسم مرتعش، فرکانس ارتعاشات، عوامل نامساعد احتمالی از قبیل سروصدای شدید، شرایط حرارتی مشقت بار، وضع نامناسب بدن در موقع کار کردن و غیره مربوط می‌باشد (رجب‌زاده و پویا، ۱۳۸۶). ارتعاش نتیجه نیروهای دینامیکی ماشین‌هایی است که قطعات متحرک دارند (زارع، ۱۳۹۵).

جنبه‌های بهداشتی ارتعاش

صدماتی که ارتعاش به عنوان یک استرس فیزیکی به بدن وارد می‌کند و همچنین پاسخ فیزیولوژیک که بدن در مقابل آن ایجاد می‌کند، مختلف است. نحوه و میزان اثر ارتعاش به دو

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:

- 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.
- 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 وسایل نقلیه شامل: سرگیجه، عدم تمرکز و تهوع است. در مواجهه‌های شغلی با ارتعاش به دلیل

۷. میزان ضد ارتعاش بودن وسیله کار: 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 براساس 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

- طرز قرارگیری بدن در حین کار: حالات غیرطبیعی اندام میتواند به تسریع اثرات ارتعاش کمک نماید.
- وضعیت کششی بدن (ماهیچه‌ها): 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.
- چگونگی عکس‌العمل بدن به ارتعاش: پاسخ بدن انسان به تمام ارتعاشات یکسان

سیانوزه (سیاه) شدن انگشتان، آتروفی (تحلیل بافت) تدریجی و نهایتاً قانقاریا (گانگرن) یا بافت‌مردگی عارض می‌گردد. تغییر شکل استخوانها و مفاصل انگشتان به دلیل خون-رسانی 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.

حد مراقبت ارتعاش

منظور از حد مراقبت یا حد اقدام، مقادیری است که باید مراقبتهای پیشگیرانه و احتیاطی در مواجهه با عامل زیان‌آور شروع گردد. این مراقبتهای شامل تدابیر مدیریتی، پزشکی، فنی و حفاظت فردی می‌باشد تا از صدمات ناشی از مواجهه افراد حساس و مواجهه‌های توأم با عوامل تشدید کننده جلوگیری شود. در صورتی که فرد به طور همزمان با سایر عوامل فیزیکی یا حتی شیمیایی تشدیدکننده اثرات این عوامل مواجهه داشته باشد، حد مجاز به حد مراقبت (اقدام) کاهش پیدا می‌کند و مسئولین ذی‌ربط باید بررسی‌های متناسبی برای پیشگیری از

تحریک عصبی و ترشح زیاد اسید، اختلال هضم غذا و اختلال در ترانزیت روده شایع بوده و حتی در برخی موارد هموروئید نیز گزارش شده است.

۳. اثرات عصبی و عمومی: ارتعاش به عنوان

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 و نهایتاً پدیده انگشت سفید ناشی از ارتعاش گردد. مطالعات نشان داده است که در این عارضه به دلیل اختلالات ایجاد شده در خون‌رسانی، ابتدا تغییر رنگ انگشتان به سمت سفیدی، سپس

زودرس عوارض میتواند نقش مهمی در کاهش صدمات ناشی از ارتعاش باشد. (گلمحمدی، ۱۳۹۵).

نتیجه‌گیری

ارتعاش یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی است که گاهی تشدید کننده صدا و حتی عامل ایجاد یا تولید صدا می‌باشد. انتقال امواج ارتعاشی (انرژی مکانیکی) از یک منبع مرتعش به بدن انسان می‌تواند سبب اختلال در راحتی و آسایش فرد، کاهش بازدهی در اثر خستگی و نیز اختلال در اعمال فیزیولوژیک کارکنان و در مواردی حتی میتواند سبب ضایعات اسکلتی و برخی بیماریهای دیگر شود. کنترل ارتعاش علاوه بر اینکه حفاظت افراد در برابر صدمات ناشی از ارتعاش را به دنبال دارد سبب حفاظت دستگاهها و بناها از تخریب و استهلاک ناشی از ارتعاش و همچنین کنترل صدای ناشی از ارتعاش خواهد شد. برای کنترل ارتعاش راه‌های مختلفی وجود دارد. یکی از مهمترین این راهکارها ایزولاسیون بخشی از دستگاه یا ساختمان از دستگاههایی است که سبب انتقال ارتعاش به دیگر منابع می‌شود. به عبارتی یکی از جنبه‌های مهم در کنترل ارتعاش جلوگیری از انتقال ارتعاش بوده و شامل موارد زیر می‌شود:

اثرات توأم، تا اطمینان از حفظ سلامت شاغلین به عمل آورند.

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، به علاوه 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

آنها به کار می‌روند غالباً عبارتند از لاستیک طبیعی نئوپرن، بوتیل، سیلیکون و ترکیبات آنها. از مهمترین محدودیت‌های این پایه‌ها مربوط به خصوصیات طول عمر و پایداری آنها می‌باشد. بسیاری از ترکیبات پلاستیکی وقتی در تماس با برخی اسیدهای قوی، مواد نفتی و حلالهای محیط‌های صنعتی قرار می‌گیرند از هم پاشیده خواهند شد.

ج: بالشتک‌های عایق‌سازی :

ساده‌ترین و پرکاربردترین پایه‌های ایزولاسیون از این نوع می‌باشند. جنس آنها معمولاً از لاستیک طبیعی، لاستیک مصنوعی یا بلوک‌های چوب پنبه‌ای، نمدی یا فایبرگلاس و ترکیبات وابسته به آن می‌باشد. استفاده از بالشتک برای ایزولاسیون مزایای زیر را دارد:

۱. به راحتی زیر دستگاه‌ها قرار گرفتند و پاره نمی‌شود.
۲. به صورت ورقه در ضخامت‌های مختلف موجود هستند.
۳. می‌توان آنها را روی هم انباشته کرد و تغییر شکل‌های بزرگ و مطابق آن ترازهای بزرگی از ایزولاسیون فرکانس‌های پائین به دست آمد.

بالشتک‌های عایق‌سازی می‌توانند از جنس لاستیکی و یا چوب پنبه می‌باشند که نوع چوب پنبه‌ای از نظر تخلخل با بالشتک‌های لاستیکی متفاوت است.

۱. جلوگیری از انتقال ارتعاشات ایجاد شده در دستگاه و اطراف آن (کنترل ارتعاش در فوندانسیون): در این روش با استفاده از عایق‌های ارتعاشی بسته به درجه ایزولاسیون مورد نیاز، فرکانس نیرو و وزن دستگاه و ... اقدام به ایزولاسیون ارتعاش می‌شود. این عایق‌ها سه نوع هستند:

الف: پایه‌های فلزی:

فهرهای فلزی وسیعترین کاربرد را در بین تمام عایق‌ها داشته و به ویژه در ایزولاسیون تجهیزات سنگین و بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فنرها قابلیت تغییر شکل زیادی داشته و به خصوص در جایی که فرکانس‌های نیروی خیلی پائین و فشارهای زیاد وجود داشته باشد مؤثر هستند. این پایه‌ها براساس کلاف-های فنی ماریچی طراحی شده و به کمک یک پیچ مرکزی به دستگاههایی که بایستی ایزولاسیون شوند محکم می‌شوند. مهمترین ویژگی این پایه‌های فنی قابلیت تحمل تغییر شکل‌های نسبتاً زیاد و فراهم آوردن ایزولاسیون مناسب در فرکانس‌های پائین می‌باشد.

ب: عایق‌های قابل ارتجاع:

این پایه‌ها برای ماشین‌های کوچک و تحریک‌ها یا فرکانس‌های نیروی بالا بیشترین بازدهی را دارند و موادی که برای ساخت

الف: انرژی ارتعاشی اتصالات و دیگر اجزاء را مرتعش کردند.

ب: انرژی ارتعاشی به صورت صدا در سرتاسر لوله یا کانال تولید و مرتعش می‌شود.

ج: لوله‌ها و کانالهای مرتعش به تکیه‌گاه‌ها، لوله‌ها و دیوارهای مجاور و غیره برخورد کرده و تولید صدا می‌کند. در سیستم پرفشار سیال، یکی از مهمترین راهکارهای ایزولاسیون ارتعاش استفاده از اتصالات لاستیکی برای اتصال لوله‌ها و قراردادن آنها در غلاف آکوستیکی است.

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 (گلمحمدی، ۱۳۷۸).

علاوه بر دو نوع فوق بالشتک‌های نمدی و فایبرگلاس می‌تواند به عنوان عایق ارتعاش عمل کند که بالشتک‌های فایبرگلاس از نظر مقاومت دو برابر مواد نفتی، حلالها و اسیدها نسبت به نوع نمدی بهتر هستند. علاوه بر عایق‌های ارتعاشی می‌توان از پایه‌ها و چهارچوب‌های ساکن نیز برای ایزولاسیون ارتعاشی استفاده کرد. پایه‌ها یا چهارچوب‌های از پیش ساخته شده درصنعت به راحتی در دسترس بوده و معمولاً شامل یک قاب فلزی با اتصالات عایقی می‌باشد. این چهارچوب‌ها از فولاد ساخته شده و به تنهایی یا همراه با بتون مورد استفاده قرار می‌گیرند از جمله مزایای این پایه‌ها یا قاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

• نصب ساده

• ممانعت از ایجاد حرکات متناوب بین اجزاء در حال حرکت و محرک

• کاهش نوسانات ناخواسته با کاهش مرکز ثقل

۲. جلوگیری از انتقال ارتعاشات به تجهیزات و اجزاء متصل به ماشین‌آلات مرتعش: در این روش از اتصالات قابل ارتجاع برای عایق‌سازی چرخش یا ارتعاش ماشین‌آلاتی که به کانالها و لوله‌ها متصل هستند استفاده می‌شود انرژی ارتعاشی به روش پیگری به کانالها و لوله‌های متصل به ماشین‌آلات منتقل می‌شود و در این شرایط سه حالت زیر ممکن است رخ دهد:

منابع

۱. زارع، و، ۱۳۹۵. تحلیل لرزش در ماشین-های دوار. ماهنامه تازه‌های کنترل. شماره ۳. ص ۲۶
۲. رجب‌زاده، علی، پویا، علیرضا، ۱۳۸۶. حفاظت و ایمنی صنعتی (با مقدمه‌های بر ارگونومی و مدیریت سبز)، کرج، انتشارات خورشید.
۳. فیضی، م، جعفری، ع، احمدی، ح، ۱۳۹۲. بررسی و تحلیل ارتعاش در دسته‌های ارّه-موتوری بدون انجام برش. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران. ۱۵ ص.
۴. گل‌محمدی، ر، ۱۳۹۵. راهنمای اندازه-گیری و ارزیابی صدا و ارتعاش در محیط کار، انتشارات دانشجو، ۱۴۰ ص.
۵. لطفعلیان، م، بدراقی، ن، تقوی، ح، ۱۳۸۹. بررسی میزان آلودگی منتشر شده در قطع هر متر مکعب چوب به وسیله اره موتوری: (منطقه مورد مطالعه: جنگلهای پایین‌بند صنایع چوب و کاغذ مازندران). فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۱۲.
۶. گل‌محمدی، ر، ۱۳۷۸، مهندس صدا و ارتعاش، انتشارات دانشجو-همدان، شماره ۴۸، ص ۳۶۲.

