

تحلیل مواجهه روزانه کاربر با ارتعاش تراکتور دو چرخ

احمد تقی زاده علی سرایی، تیمور توکلی هشتجین و برات قبادیان*

* به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد؛ استاد؛ و دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، نشانی: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ.

تلفن: ۴-۴۴۱۹۴۹۱۱ (۰۲۱)، پیام نگار: ttavakol@modares.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۴/۲۳

چکیده

ارتعاش می‌تواند باعث اختلال در سلامت و آسیب‌رساندن به انسان در هنگام کار با وسایل صنعتی شود. این وسایل می‌توانند باعث ارتعاش کامل یا قسمتی از بدن مانند دست‌ها شوند. در بخش کشاورزی، نمونه‌ای از این ادوات تراکتور دوچرخ یا تراکتور دستی است که اغلب در شالیزارهای مناطق شمالی ایران از آن استفاده می‌شود. در این تحقیق، ارتعاش تراکتور دوچرخ میتسوبیشی با توان ۷/۷ اسب بخار و بیشینه دور موتور ۲۴۰۰ دور بر دقیقه از لحاظ انتقال ارتعاش به بدن کاربر و تاثیر آن بر سلامت وی بررسی شد. اندازه‌گیری‌ها در شرایط کاری حمل با دست و شخم‌زنی در سرعت‌های ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه و سه مکان: دسته تراکتور دوچرخ، بازو، و قفسه سینه راننده، و در سه جهت عمودی، جانبی، و طولی انجام گرفت. مشاهده شد که با افزایش دور موتور، مقدار کل ارتعاش یا a_{hv} ، نیز در سه مکان افزایش می‌یابد. همچنین، فرکانس غالب ارتعاش در تمام مکان‌ها و جهت‌ها برابر با تعداد ضربات پیستون (انفجار مخلوط سوخت) یا دور موتور در یک ثانیه است. نتایج نشان داد که اندازه مواجهه با ارتعاش در یک روز کاری ۸ ساعته یعنی $A(8)$ برابر ۱۹/۱۴ متر بر مجذور ثانیه می‌شود که بسیار بالاتر از استاندارد (۲ متر بر مجذور ثانیه) است و می‌تواند باعث اختلال در سلامت راننده شود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان پیش‌بینی کرد که در این وضعیت کاری در کمتر از ۲ سال در ۱۰ درصد کاربرانی این تراکتور دوچرخ فرسودگی انگشتان و اختلالات عروقی در دست‌ها آنان به وجود آید.

واژه‌های کلیدی

ارتعاش، ارگونومی، استاندارد ISO، ایمنی، تراکتور دوچرخ، مواجهه روزانه

مقدمه

معرض آسیب‌دیدگی‌های ناشی از ارتعاش تراکتور دوچرخ

قرار دارند (Taghizadeh *et al.*, 2005).

منبع اصلی ارتعاش در تراکتور دوچرخ، موتور آن و دلیل این موضوع حرکت اجزای مختلف موتور و نیروهای اینرسی است. موتور تراکتور دوچرخ تک‌سیلندر و چهار زمانه است و در مقایسه با تراکتور زوج سیلندر توازن کمتری دارد. این نیروها ضربه‌های زیادی به شاسی وارد می‌کنند، ضربه‌ها به دسته تراکتور دوچرخ منتقل می‌شوند، و در نتیجه ارتعاش زیادی به دست‌ها و بازوهای راننده، و اگر تراکتور دوچرخ سواری باشد به نشیمنگاه وارد می‌کند

(Salokhe *et al.*, 1995).

تیلرهای کشاورزی یا تراکتورهای دستی که به آنها تراکتورهای دوچرخ نیز گفته می‌شود در اکثر کشورها به خصوص در کشورهای آسیایی تولیدکننده برنج برای عملیات کاشت، داشت، و برداشت برنج به کار گرفته می‌شوند. راه رفتن به دنبال تراکتور دوچرخ برای هدایت آن طی عملیات مزرعه‌ای، فشار کاری بالایی به کاربر وارد می‌کند و باعث خستگی شدید می‌شود. بیش از ۹۰ درصد برنج‌کاران در استان‌های گیلان و مازندران برای شخم‌زنی شالیزارها از تراکتور دوچرخ

استفاده می‌کنند. به همین دلیل، بسیاری از آنها در



شرایط کاری معمولی اختلالات عروق دست (ارتعاش انگشت سفید) می‌تواند ظاهر شود.

در تحقیق دیگری، حسن‌بیگی (Hasanbeigi, 2003; Hasanbeigi *et al.*, 2004) اثر سر و صدای تراکتور دوچرخ میتسوبیشی با توان ۱۳ اسب را بر راننده و اشخاص اطراف تراکتور دوچرخ بررسی کرد. در این تحقیق سیگنال‌های سر و صدای منتشرشده از دستگاه با ترکیب سطوح متغیرهای سرعت دورانی موتور، نسبت دنده جعبه‌دنده، نوع پوشش سطح، موقعیت میکروفن و نوع عملیات زراعی در حوزه زمان اندازه‌گیری و ضبط شد. نتایج نشان داد که شدت صدا در موقعیت گوش راننده در مقایسه با موقعیت اطرافیان بیشتر است و دور موتور نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید سروصدا دارد.

متداول‌ترین کمیت مورد استفاده برای ارتعاشات ریشه میانگین مربعات است، دلیل این امر آن است که مهم‌ترین ویژگی ارتعاش میزان انرژی آن است زیرا انرژی با دامنه ارتعاش متناسب است. محاسبه میانگین براساس توان دوم ایده‌ای بهتر از مقدار توان را به هنگام مقایسه ارتعاش‌ها خواهد داد و این تمام خواسته‌ها را برآورده می‌کند (Barber, 1992).

ارتعاش انتقالی از دست ممکن است باعث ایجاد سندرم در اثر ارتعاش دست-بازو (HAVS)^۱ شود که مسبب بیماری‌های عروق، عصبی، و اسکلتی می‌شود. در این میان، بیماری‌های عروق پدیده رینود^۲ ناحیه کاری از عوارض اولیه ارتعاش است که با علامت انگشت سفید^۳ به دلیل انقباض عروق شریانی مشخص می‌شود. از سوی دیگر، اثر ارتعاش بر سیستم عصبی غالباً به صورت از دست‌دادن حس لامسه و حساسیت گرمایی، اختلال در اعمال حرکتی دست همراه با اشکالات در کنترل کردن نمود پیدا می‌کند. ارتعاش همچنین بر اسکلت بدن و

حساسیت انسان نسبت به ارتعاش در واقع به خواص مختلف آن یعنی دامنه، سرعت، شتاب، یا میزان تغییر شتاب بستگی دارد. تاثیرات ارتعاش به شدت، فرکانس، جهت، و طول مدت ارتعاش‌ها (زمان مواجهه) بستگی دارد (Rossegger & Rossegger, 1960).

سالوخه و همکاران (Salokhe *et al.*, 1995) خواص ارتعاشی تراکتور دوچرخ را در دوره‌های مختلف موتور در شرایط ایستگاهی و مزرعه‌ای بررسی و اعلام کرده‌اند که اتصال صلب دسته تراکتور دوچرخ به شاسی، باعث افزایش ارتعاش انتقالی به دست‌های کاربر می‌شود.

گوگلیا و همکاران (Goglia *et al.*, 2002) در تحقیق خود روی فرمان تراکتور چهارچرخ محرک مشاهده کردند که در کمتر از دو سال در ۱۰ درصد کاربرهایی که در معرض ارتعاش بوده‌اند، فرسودگی^۴ در انگشتان آنها روی داده است.

تیواری و همکاران (Tewari *et al.*, 2004) در آزمایشی دیگر روی تراکتور دوچرخ صندلی‌دار جذر میانگین مربعات (rms)^۵ شتاب، ضربان قلب، مصرف اکسیژن، و درد بدن کاربر را ارزیابی و مشاهده کردند که کاربر در حالت نشستن، در مقایسه با حالت راه رفتن به دنبال تراکتور دوچرخ، در وضعیت حمل و نقل وسیله حدود ۲۵ و در وضعیت خاک‌ورزی ۲۹ درصد انرژی کمتری مصرف می‌کند.

راگنی و همکاران (Ragni *et al.*, 1999) ارتعاش و سروصدای تعدادی از کولتیواتورهای کوچک را بررسی کردند. بر اساس استانداردهای بین‌المللی، شتاب انتقال‌یافته از دسته و تراز صدا در گوش کاربر به هنگام خاک‌ورزی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در ۱۰ درصد افرادی که در معرض این شتاب قرار دارند ممکن است بعد از ۳ سال استفاده مداوم از این ماشین‌ها تحت

1- Blanching
4- Raynaud

2- Root Mean Square
5- White Finger

3- Hand Arm Vibration Syndrome

محققان بسیاری ارتعاشات تراکتورهای کشاورزی را در سه دهه اخیر مطالعه کرده‌اند، اما تحقیقات زیادی در رابطه با مطالعه ارتعاشات تراکتورهای دوچرخ در دسترس نیست. مطالعات اندک موجود نیز به طور عمده بر خواص کلی ارتعاشات و تاثیر ارتعاشات تراکتور بر سلامت کاربر است. بنابراین در تحقیق حاضر تلاش شده است تا ارتعاش تراکتور دوچرخ در وضعیت حمل با دست و شخم‌زدن بررسی و میزان مواجهه با ارتعاش یک کاربر در یک روز کاری و تاثیر آن بر سلامت وی محاسبه شود.

مواد و روش‌ها

جدول ۱ تجهیزات مورد استفاده در آزمایش و مشخصات آنها را نمایش می‌دهد.

استخوان‌ها تاثیر می‌گذارد که به صورت اختلالات استخوانی- مفصلی مانند پروسیس^۱ میچ و برآمدگی استخوان الکرانون^۲ بروز می‌کند (Ragni et al., 1999). مواجهه با ارتعاش^۳، به اندازه ارتعاش و نیز به طول زمان در معرض قرارگیری بستگی دارد. اندازه ارتعاش با مقدار کل ارتعاش^۴، a_{hv} ، ارائه می‌شود (Anon, 2001; Anon, 2001). مطالعات نشان می‌دهد که علایم اختلالات در اثر ارتعاش دست- بازو به ندرت در اشخاصی دیده می‌شود که مقدار کل انرژی معادل ارتعاش، A(8)، در سطح تماس با دست آنها کمتر از ۲ متر بر مجذور ثانیه است و برای A(8) کمتر از ۱ متر بر مجذور ثانیه هیچ موردی گزارش نشده است (Anon, 2001).

جدول ۱- مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش

| مشخصات | دستگاه‌های مورد استفاده |
|--------|---|
| | تراکتور دوچرخ |
| | میتسوبیشی (MITSUBISHI)، توان ۷/۷ اسب بخار، موتور تک‌سیلندر، چهار زمانه با ۲۴۰۰ دور در دقیقه |
| | دورسنج |
| | Lutron DT-2236، (DIGITAL PHOTO/CONTACT TACHOMETER)، ۰/۵ تا ۱۰۰۰۰۰ دور بر دقیقه، دقت ۰/۰۵ ± درصد |
| | ارتعاش‌سنج |
| | TV 300 ساخت Time Group Inc |
| | - مبدل: پیزوالکتریک TSV-01 |
| | - دامنه اندازه‌گیری: |
| | شتاب: ۰/۱ - ۳۹۲ متر بر مجذور ثانیه (بیشینه) |
| | سرعت: ۰/۰۱ - ۸۰ سانتی‌متر بر ثانیه (rms) |
| | جابه‌جایی: ۰/۰۰۱ - ۱۰ میلی‌متر (بیشینه- بیشینه) |

تحلیل داده‌ها

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvw}^2} \quad (3)$$

rms برای توابع متناوب از رابطه ۱ محاسبه می‌شود

(Barber, 1992).

$$y_{rms} = \sqrt{1/T \int_0^T y^2 dt} \quad (1)$$

که در آن، y_{rms} = مقدار rms شتاب (بر حسب متر بر مجذور ثانیه)؛ y = تابع شتاب (بر حسب زمان)؛ و T = دوره تناوب (بر حسب ثانیه) است.

برای سیگنال‌های تصادفی و دیجیتالی rms از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Inman, 1989).

$$y_{rms} = \sqrt{\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y^2(t_k)} \quad (2)$$

که در آن، y_{rms} = مقدار rms شتاب (بر حسب متر بر مجذور ثانیه)؛ y = مقدار شتاب (بر حسب متر بر مجذور ثانیه) در زمان t_k (بر حسب ثانیه)، و N = تعداد نمونه‌گیری‌هاست.

در بیشتر تجهیزات توان‌دهنده، ارتعاشی که به دست وارد می‌شود شامل برابندی از هر سه جهت ارتعاش اندازه‌گیری شده است و فرض می‌شود که ارتعاشات در هر سه جهت به طور یکسان زیان‌آور هستند. بنابراین، اندازه‌گیری‌ها باید برای هر سه جهت انجام شوند. مقادیر rms شتاب وزن‌دار فرکانسی برای محورهای x ، y ، و z به ترتیب با a_{hvx} ، a_{hvy} ، و a_{hvw} جداگانه گزارش می‌شوند. مقدار کل ارتعاش به صورت a_{hv} نمایش داده می‌شود که ریشه مجموع مربعات مقادیر سه جزء و به صورت رابطه ۳ و واحد آن متر بر مجذور ثانیه است (Anon, 2001).

هر سیگنال تصادفی یا تابع غیر متناوب مانند $x(t)$ را می‌توان مانند یک تابع متناوب با دوره تناوب بی‌نهایت فرض کرد. با استفاده از تعریفی که در رابطه ۴ برای $X(\omega)$ آمده است، می‌توان پاسخ سیستم را در حوزه فرکانسی به‌دست آورد که تبدیل فوریه سریع (FFT) تابع $x(t)$ است و اطلاعات مناسبی را در مورد کارکرد سیستم و فرکانس‌های غالب ارائه می‌دهد (Rao, 1995).

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4)$$

در این معادله، $x(t)$ = تابع یا سیگنال حوزه زمانی؛ t = زمان؛ ω = فرکانس؛ و $X(\omega)$ = تابع یا سیگنال حوزه فرکانسی است.

در بحث تحلیل فرکانسی^۲ سیگنال‌های به‌دست آمد از نرم افزار مطلب (Jabbarieh, 2003)^۳ برای تبدیل حوزه زمانی سیگنال به حوزه فرکانسی (FFT) و محاسبه rms شتاب استفاده شد.

در این تحقیق آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی (CRD) اجرا شدند. صفات یادداشت‌برداری شده عبارت بودند از میانگین اندازه ارتعاش و a_{hv} . فاکتورهای مورد مقایسه عبارت بودند از: سطوح مختلف دور موتور (۴ سطح برای حالت حمل با دست و ۴ سطح برای حالت شخم‌زدن) و مکان (۳ مکان دسته تراکتور دوچرخ، بازو و قفسه سینه راننده). میانگین‌های به‌دست آمده با استفاده از آزمون مقایسه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد مقایسه شدند. برای

آزمایش‌ها روی تراکتور دوچرخ در دو حالت حمل با دست روی سطح آسفالت در سرعت‌های ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه و شخم‌زدن در مزرعه در سرعت‌های ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه و در سه مکان یکی دسته تراکتور دوچرخ، دیگری بازو، و سوم سینه راننده انجام گرفت. به طور متداول از سرعت ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ دور بر دقیقه برای حمل با دست و ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه برای شخم‌زدن استفاده می‌شود.

در هر دو حالت، برای اندازه‌گیری ارتعاش از شتاب‌سنج پیزوالکتریک^۵ استفاده شد. شتاب‌سنج با پیچ و مغناطیس اتصال داده شد. برای داده‌برداری، دور موتور با استفاده از دورسنج و از طریق تنظیم گاز دستی در دورهای مورد نظر تنظیم شد. برای اندازه‌گیری‌ها در سه مکان گفته‌شده (دسته تراکتور دوچرخ، بازو، و قفسه سینه کاربر) شتاب‌سنج در هر یک از مکان‌ها نصب و سیگنال‌های شتاب در حوزة زمان ثبت شدند. دستگاه ارتعاش‌سنج دارای یک حافظه ثبت‌کننده داده^۶ بود. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت.

در حالت حمل با دست، کاربرد برای جابه‌جا کردن تراکتور دو چرخ از دورهای پایین موتور و دنده سنگین استفاده می‌کند. در این حالت، معمولاً روی سرعت‌های ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ دور بر دقیقه تنظیم می‌شود. راننده، در این وضعیت آزمایشی، تراکتور دوچرخ را در سطح آسفالت در حالت راه رفتن پشت سر آن و در دنده ۲ سنگین و به مسافت ۲۰ متر در دورهای موتور مذکور حرکت داد. در این حالت سیگنال‌های شتاب در سه راستای عمودی، جانبی و طولی ثبت شدند.

در حالت خاک‌ورزی، بافت خاک قطعه زمین انتخابی لومی شنی با ۵۰ درصد شن، ۳۰ درصد سیلت، ۲۰ درصد رس و دارای رطوبت ۱۳ درصد بود. آزمایش‌ها در

تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزارهای اکسل^۱ و اسپیس‌اس^۲ استفاده شد.

مواجهه روزانه با ارتعاش^۳ از اندازه ارتعاش و مدت مواجهه روزانه با آن قابل محاسبه است. به منظور تسهیل مقایسه بین مواجهه روزانه زمان‌های مختلف، مواجهه روزانه با ارتعاش باید به صورت جمله‌های ۸ ساعته بیان شود که انرژی معادل مقدار کل ارتعاش $a_{hv(eq.8h)}$ ^۴ است که برای سهولت به صورت $A(8)$ (متر بر مجذور ثانیه) مشخص می‌شود (Anon, 2001).

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (5)$$

در این معادله، T = مدت زمان کل؛ a_{hv} = مواجهه با ارتعاش؛ و T_0 = مدت مرجع ۸ ساعته (۲۸۸۰۰ ثانیه) است.

در صورتی که مواجهه با ارتعاش روزانه کل شامل چندین عمل همراه با اندازه‌های مختلف ارتعاش باشد، مواجهه با ارتعاش روزانه $A(8)$ باید از معادله ۶ محاسبه شود (Anon, 2001).

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (6)$$

در این معادله، a_{hvi} = مقدار کل ارتعاش برای عمل i ام؛ n = تعداد مواجهه با ارتعاش‌های فردی؛ و T_i = مدت زمان عمل i ام است.

روش تحقیق بر اساس روش‌های آزمون‌های استاندارد ملی بین‌المللی ISO 5349-1 و ISO 5349-2 است (Anon, 2001; Anon, 2001). در این تحقیق

1- Excel 2- SPSS 3- Daily Exposure to Vibration
4- 8-h Energy-Equivalent Frequency-Weighted Vibration Total Value
5- Piezoelectric Accelerometer 6- Data Logger

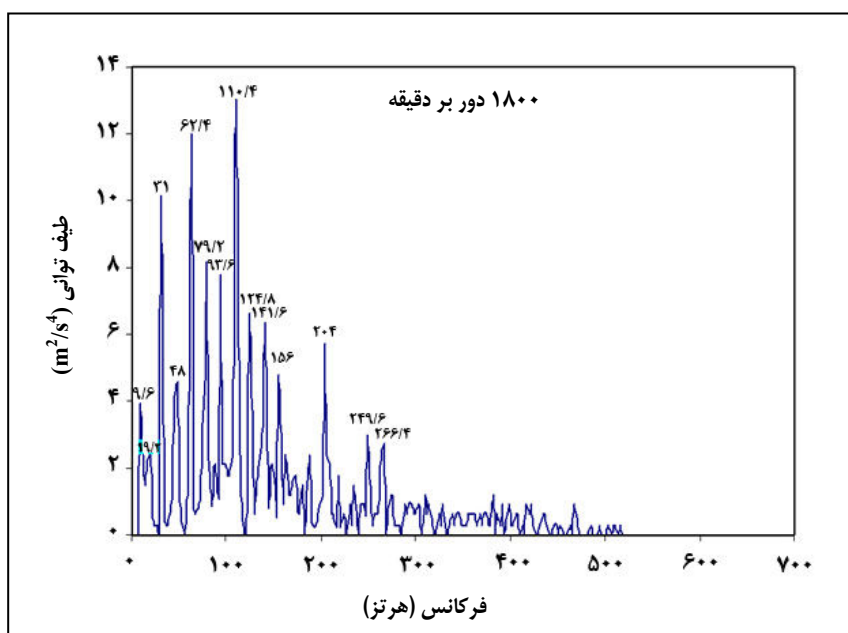
یک مقدار عددی به دست می‌آورند (Anon, 2001).

نتایج و بحث

شکل ۱، نمودار طیفی در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه را در حوزه فرکانسی بعد از تبدیل فوریه سریع (FFT) از سیگنال حوزه زمان، در حالت حمل با دست نشان می‌دهد. این نمودار، حاصل اندازه‌گیری ارتعاش دسته تراکتور دوچرخ در راستای عمودی روی سطح آسفالت است. در شکل ۱ مشاهده می‌شود که اولین فرکانس غالب تقریباً در ۳۱ هرتز است. در این شکل چندین فرکانس غالب دیگر در ۴۸ و ۱۱۰/۴ هرتز نیز مشاهده می‌شود که دلیل ایجاد این فرکانس‌ها ارتعاشات آزاد دسته است. فرکانس غالب ارتعاش برای سرعت‌های ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب ۲۶، ۳۳/۳ و ۳۶/۳ هرتز بود که مطابق با فرکانس ضربات پیستون موتور است.

سرعت‌های ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه انجام گرفت. برای شخم‌زدن، یک گاوآهن تک‌خیش به مالبد تراکتور دوچرخ وصل شد و با دنده ۲ سنگین در مسافت ۱۰ متری شخم زده شد و داده‌ها ثبت گردید. عمق شخم ۲۰ سانتی‌متر بود. در این حالت فقط ارتعاشات در راستای عمودی اندازه‌گیری شد زیرا مقادیر ارتعاش در جهت‌های دیگر می‌تواند با توجه به ضرایب به دست آمده از اندازه‌گیری‌های قبلی تعیین شود که دلیل انتخاب این مقادیر عددی باید ذکر گردد.

در استانداردها معمولاً برای کم‌کردن حجم آزمایش‌ها مقادیر ارتعاش را در جهت بیشترین اندازه ارتعاش اندازه‌گیری می‌کنند. برای به دست آوردن مقادیر کل ارتعاش a_{hv} ، ارتعاش در راستای اندازه‌گیری شده را در ضرایبی که بین ۱ تا ۱/۷ است، ضرب می‌کنند؛ یا مقادیر ارتعاش در راستای جانبی و طولی را با ضرب کردن در



شکل ۱- سیگنال حوزه فرکانسی در دسته، در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه و جهت عمودی در حالت حمل با دست

تحلیل مواجهه روزانه کاربر با ارتعاش تراکتور...

جدول ۳ مقادیر میانگین شتاب a_{hv} را در دسته، بازو، و قفسه سینه در حالت حمل با دست نشان می‌دهد که با روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد با هم مقایسه شده‌اند. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت موتور از ۱۶۰۰ به ۲۲۰۰ دور بر دقیقه، a_{hv} به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. روی بازو و قفسه سینه نیز مقدار a_{hv} با دور موتور روند افزایشی دارد. از جدول ۳ مشاهده می‌شود که مقدار اندازه ارتعاش a_{hv} ، روی دسته بیشترین مقدار (بالاترین سطح) را دارد و بعد از آن این مقدار در بازو و سینه به تدریج کم (میرا) می‌شود.

مقادیر rms شتاب در سه جهت عمودی، جانبی، و طولی با استفاده از رابطه ۲ و سیگنال‌های حوزه زمانی محاسبه شد. بدین ترتیب که داده‌های به دست آمده از سیگنال حوزه زمانی را به توان دو رسانده از این مقادیر میانگین و در انتها جذر گرفته شد. مقادیر a_{hv} نیز با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. جدول ۲ تجزیه واریانس شتاب a_{hv} را بر اساس مکان (دسته، بازو، و دست) و دور موتور در حالت حمل با دست نشان می‌دهد. از این جدول مشاهده می‌شود که تاثیرات مکان و دور و همچنین اثر متقابل آن بر مقدار شتاب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

جدول ۲- تجزیه واریانس شتاب a_{hv} ، بر اساس مکان و دور موتور در حالت حمل با دست

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|------------------|------------|----------------|
| مکان | ۲ | ۸۳۷/۹۴** |
| دور موتور | ۳ | ۲۲/۸۷** |
| مکان × دور موتور | ۶ | ۱۳/۴۶** |
| خطا | ۲۴ | ۰/۱۳ |

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

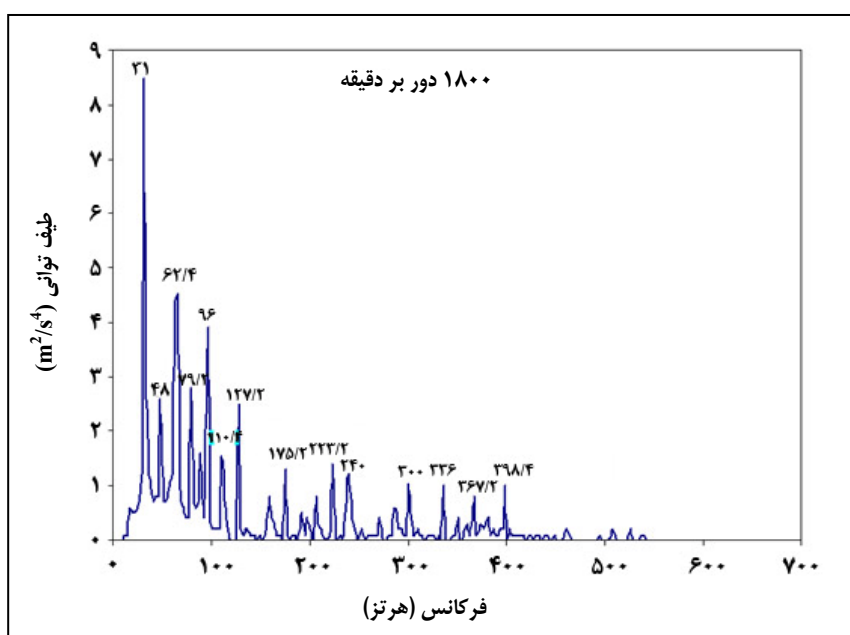
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های شتاب a_{hv} ، در سرعت‌های مختلف به روش دانکن در حالت حمل با دست

| سرعت موتور (دور بر دقیقه) | دسته، a_{hv} | بازو، a_{hv} | سینه، a_{hv} |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| ۱۶۰۰ | ۱۲/۶۷d | ۳/۶۷c | ۱/۰۳c |
| ۱۸۰۰ | ۱۳/۱۴c | ۴/۲۲bc | ۱/۲۲b |
| ۲۰۰۰ | ۱۸/۸۲b | ۴/۸۰ab | ۱/۲۸ab |
| ۲۲۰۰ | ۲۱/۷۱a | ۵/۱۱a | ۱/۳۷a |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

ضربات پیستون یا فرکانس دور موتور مطابقت دارد به طوری که در ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه، اولین فرکانس غالب به ترتیب ۳۳/۳، ۳۶/۳ و ۴۰ هرتز است (شکل ۳). تحلیل‌ها در این قسمت دقیقاً مانند حالت حمل با دست است و نتایج مشابهی به دست می‌دهد.

در وضعیت شخم‌زدن، ارتعاش فقط در راستای عمودی اندازه‌گیری شد. نمودار طیفی ارتعاش روی دسته در ۱۸۰۰ دور بر دقیقه طبق شکل ۲ در حوزه فرکانسی است. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که اولین فرکانس غالب در ۳۱ هرتز به وجود می‌آید و این فرکانس غالب برای دورهای دیگر دقیقاً با



شکل ۲- سیگنال حوزه فرکانسی در دسته، سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه، و جهت عمودی در حالت شخم‌زدن

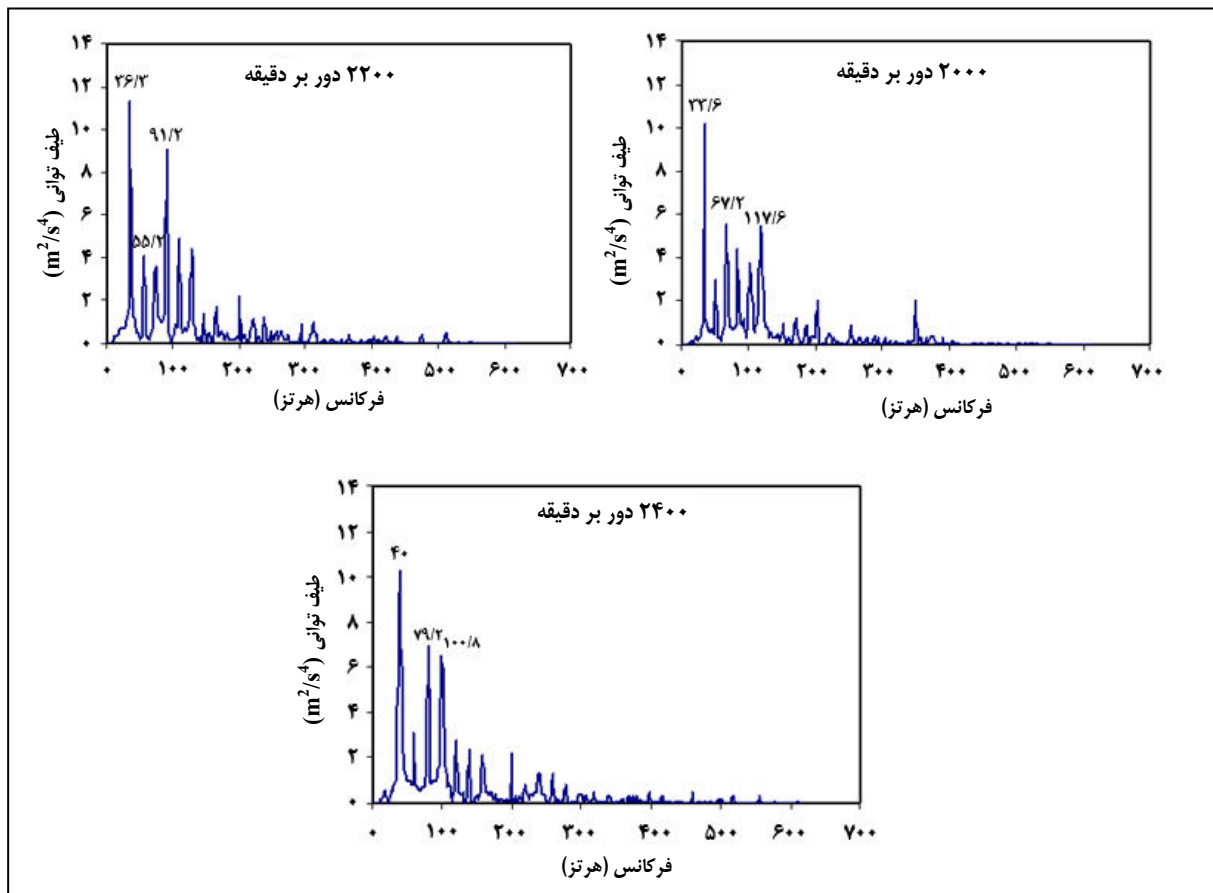
نمی‌شوند یا دامنه آنها کاهش یافته است. این فرکانس‌ها عبارت‌اند از ۹/۶، ۱۹/۲ و ۱۱۰/۴، و ۱۴۱/۶ هرتز؛ یا فرکانس‌هایی وجود دارند که از لحاظ مقدار (محور افقی) تقریباً با هم برابرند و مقدار بیشینه (محور عمودی) آنها در حالت حمل با دست از حالت شخم‌زدن بیشتر و دلیل آن جذب انرژی ارتعاش توسط خاک نرم است. دو فرکانس ۹/۶ و ۱۹/۲ هرتز که در حالت حمل با دست دیده می‌شود، احتمالاً مربوط به ناهمواری‌های کوچک سطح

فرکانس‌های غالب ۳۱، ۴۸، ۶۲/۴ و ۷۹/۲ هرتز در هر دو نمودار حالت حمل با دست و شخم‌زدن وجود دارند. فرکانس غالب ۳۱ هرتز نشان‌دهنده دور موتور یا ضربات پیستون (Salokhe et al., 1995) و ۶۲/۴ هرتز احتمالاً مربوط به ضربات سوپاپ‌ها و دو فرکانس دیگر مربوط به یکی از اجزای چرخشی یا رفت و برگشتی موتور است. در باند فرکانسی صفر تا ۱۵۰ هرتز در حالت حمل با دست چند فرکانس غالب وجود دارد که در حالت شخم‌زدن دیده

تحلیل مواجهه روزانه کاربر با ارتعاش تراکتور...

ارتعاش و مقدار بیشینه در حالت شخم‌زدن نسبت به حالت حمل با دست به دلیل جذب انرژی ارتعاش توسط خاک کمتر است. این موضوع در نمودارهای طیفی شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود.

آسفالت و صلب‌بودن آسفالت است که ارتعاش حاصل از آنها مستقیماً به شاسی تراکتور دوچرخ منتقل می‌شود و به دلیل نرم‌بودن خاک و جذب انرژی ارتعاش توسط آن، در حالت شخم‌زدن دیده نمی‌شوند. در مجموع، مقدار



شکل ۳- سیگنال‌های حوزه فرکانسی در دسته، سرعت‌های ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه، و جهت عمودی در حالت شخم‌زدن

جانبی و عمودی به طولی محاسبه شد که در جدول ۴ آورده شده است. این مقادیر به ترتیب با (a) و (b) نمایش داده شده‌اند که از رابطه ۷ استفاده شد.

برای به دست آوردن شتاب در راستای طولی و جانبی از داده‌های آزمایش حالت حمل با دست به دلیل تشابه با حالت شخم‌زدن استفاده شد زیرا در حالت شخم‌زدن به دلیل تکان‌های تراکتور دو چرخ و انحراف آن به سمت چپ و راست، آزمایش در این دو راستا (جانبی و طولی) با خطا همراه است. مقدار میانگین نسبت شتاب عمودی به

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + (a_{hvy}/a)^2 + (a_{hwz}/b)^2} \quad (7)$$

جدول ۴- ضرایب نسبت شتاب عمودی به جانبی و طولی در نقاط مختلف

| مکان | جانبی/عمودی (a) | طولی/عمودی (b) |
|------|-----------------|----------------|
| دسته | ۱/۳۱ | ۱/۶۴ |
| بازو | ۰/۹۸ | ۰/۹۲ |
| سینه | ۲/۲۶ | ۱/۳۴ |

جدول ۵، تجزیه واریانس شتاب a_{hv} را بر اساس مکان (دسته، بازو، و دست) و دور موتور نشان می‌دهد. در این جدول مشاهده می‌شود که تاثیرات مکان، دور موتور، و اثر متقابل آنها بر مقدار شتاب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. در جدول ۶ مشاهده می‌شود که اختلاف بین اندازه‌های ارتعاش a_{hv} روی دسته در حالت شخم‌زدن و در چهار دور معنی‌دار است. در بازو این اختلاف نسبتاً معنی‌دار و در قفسه سینه معنی‌دار نیست و تقریباً در یک سطح قرار دارند. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش دور موتور

مقدار a_{hv} در دسته روند صعودی دارد ولی این مقادیر روی بازو و سینه تقریباً ثابت هستند. دلیل این امر کمتر بودن نیروی وارده از طریق دست به دسته تراکتور دوچرخ نسبت به حالت حمل با دست است که ارتعاش انتقالی را کاهش می‌دهد. همچنین، بخش اعظم ارتعاش از طریق گاوآهن به زمین انتقال می‌یابد که مقادیر ارتعاش انتقالی در بازو و سینه را برای تمامی دورها ثابت نگه می‌دارد. دلیل دیگر این است که در فاصله ۱۸۰۰ تا ۲۴۰۰ دور بر دقیقه توان موتور در حالت بار کامل (زمانی که موتور تحت بیشترین بار کاری قرار دارد) روند افزایشی کندی دارد.

جدول ۵- تجزیه واریانس شتاب a_{hv} ، بر اساس مکان و دور موتور در حالت شخم‌زدن

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|------------------|------------|----------------|
| مکان | ۲ | ۱۴۲۱/۳۶** |
| دور موتور | ۳ | ۱۰/۷۱** |
| مکان × دور موتور | ۶ | ۶/۸۵** |
| خطا | ۲۴ | ۰/۴۲ |

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های شتاب در دوره‌های موتور مختلف به روش دانکن (شخم‌زدن)

| دور موتور (دور بر دقیقه) | دسته، a_{hv} | بازو، a_{hv} | سینه، a_{hv} |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| ۱۸۰۰ | ۱۵/۰۴d | ۲/۵b | ۰/۱۹a |
| ۲۰۰۰ | ۱۶/۸۴c | ۲/۹۷ab | ۰/۲۹a |
| ۲۲۰۰ | ۱۸/۸۷b | ۳/۳۹ab | ۰/۲۵a |
| ۲۴۰۰ | ۲۰/۷۷a | ۳/۷۵a | ۰/۲۴a |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

چند سیلندر توازن کمتری دارد. به نظر می‌رسد که در ساخت این نوع تراکتور به دلیل کاهش هزینه، تسریع در ساخت، و کاهش جرم تراکتور دوچرخ و همچنین برای ساده‌سازی ماشین و ساخت آن در یک حجم کوچک از سیستم‌های عایق ارتعاش در مسیر موتور تا دسته (فرمان) و انواع سیستم‌های ایمنی صرف‌نظر می‌شود. به همین دلیل در آزمایش‌ها مشاهده شد که ارتعاش در انتقال از شاسی تا دسته نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه در اثر ارتعاشات آزاد و تقویت‌شدن آن روند افزایشی نیز دارد. پس، برای کاهش ارتعاش انتقالی دو حالت باید در نظر گرفته شود:

۱- باید منبع ارتعاش (موتور) از بدنه تراکتور دوچرخ (شاسی) به کمک سیستم‌های تعلیق جدا شود که برای این کار از فنر و میراکننده‌ها استفاده می‌شود. یکی از مشکلات این کار نبودن تکیه‌گاه مناسب برای فنر و میراکننده‌ها در شاسی تراکتور دو چرخ به دلیل محدودیت جرم ماشین و مشکل دیگر کاهش توان انتقالی به جعبه‌دنده تراکتور دوچرخ است.

۲- باید مانند بسیاری از اتومبیل‌ها و تراکتورها منبع ارتعاش از راننده جدا شود. این کار در این نوع از وسایل با عایق‌بندی صندلی از شاسی ماشین با استفاده از فنر و میراکننده‌ها میسر خواهد بود.

برای تسهیل مقایسه بین مواجهه روزانه با ارتعاش در زمان‌های مختلف، مواجهه روزانه با ارتعاش بایستی بر مبنای ۸ ساعت کاری بیان شود که انرژی معادل مقدار کل ارتعاش $a_{hv(eq.8h)}$ است و برای سهولت به صورت $A(8)$ مشخص می‌شود که از رابطه ۶ به دست

در جدول ۶ سطح شتاب روی دسته بالاتر از سطح شتاب روی بازو و قفسه سینه است که دلیل آن میراشدن تدریجی ارتعاش در بازو و قفسه سینه کاربر است.

در حالت شخم‌زدن، از دو سرعت ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه بیشتر استفاده می‌شود (به دلیل بیشینه‌شدن توان). اندازه ارتعاش روی دسته، بازو، و سینه در سرعت ۲۲۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب $۱۸/۸۷$ ، $۳/۳۹$ ، و $۰/۲۵$ متر بر مجذور ثانیه است.

ارتعاش تراکتور دوچرخ پیش از آنکه از ناهمواری‌های زمین باشد، از ضربه‌های مداوم پیستون به شاسی در مرحله توان و تراکم سوخت است. سرعت پیشروی تراکتور دوچرخ خیلی پایین است (بین حدود ۱ تا ۳ کیلومتر بر ساعت) و به همین دلیل فرکانس‌های حاصل از ناهمواری‌های زمین و شتاب مطابق با آن خیلی پایین هستند. فرکانس‌های حاصل از ناهمواری‌های زمین که بین $۰/۵$ تا ۸ هرتز است بیشتر در ماشین‌های جاده‌ای و ماشین‌هایی به وجود می‌آید که با سرعت پیشروی بالا حرکت می‌کنند و در مورد تراکتور دو چرخ که سرعت پیشروی آن در حالت حمل با دست و شخم‌زدن خیلی پایین است، دیده نمی‌شوند. در نمودارهای طیفی نیز این فرکانس‌ها مشاهده نشد.

آزمایش‌ها نشان داد که عامل اصلی افزایش ارتعاش در تراکتور دوچرخ، موتور آن است بدین معنی که با انتقال حرکت پیستون به دیگر قسمت‌ها این ارتعاش افزایش می‌یابد. این نتیجه در تحقیق سالوخته و همکاران (Salokhe et al., 1995) نیز به دست آمد. تراکتور دوچرخ با داشتن یک موتور تک‌سیلندر دیزلی نسبت به موتورهای

می‌آید. در وضعیت شخم‌زدن، دو سرعت ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور در استفاده از تراکتور دوچرخ در مرحله خاک‌ورزی، کشاورز یا کاربر در یک روز کاری معمولاً در چهار وضعیت کاری حمل و نقل ادواتی قرار دارد: حمل گاوآهن با تراکتور دوچرخ از انبار به مزرعه و برعکس، انتقال تراکتور دوچرخ با دست به مکان مورد نظر، شخم زدن زمین، و استراحت در فواصل مختلف کاری، که در مجموع ممکن است ۱۰ ساعت طول بکشد.

در وضعیت شخم‌زدن، دو سرعت ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه موتور بیشترین کاربرد را دارند زیرا در این دورها اغلب توان موتور بیشینه می‌شود. دوره‌های پایین‌تر قدرت لازم را برای کشیدن گاوآهن ندارند که در نتیجه بکسوات در چرخ‌ها به وجود می‌آید یعنی تراکتور دوچرخ حرکت نمی‌کند. مقادیر ارتعاش روی دسته در این دو سرعت به ترتیب ۱۶/۸۴ و ۱۸/۸۷ متر بر مجذور ثانیه است که برای محاسبه از مقدار دوم استفاده شد.

جدول ۷- انواع وضعیت کاری که کشاورز در یک روز کاری با آن مواجه است (Taghizadeh et al., 2005)

| خاک‌ورزی | | | | |
|-----------|----------|-----------|------------|---------|
| استراحت | شخم زدن | حمل و نقل | حمل با دست | مجموع |
| ۱:۵۰ ساعت | ۷/۵ ساعت | ۰/۵ ساعت | ۱۰ دقیقه | ۱۰ ساعت |

در وضعیت کاری خاک‌ورزی، کشاورز ممکن است از چهار حالت حمل با دست، حمل و نقل ادوات، شخم‌زدن زمین، و استراحت (زمانی که کاربر با وسیله کار نمی‌کند) بین اعمال استفاده کند که در جدول ۷ زمان لازم برای هر عمل نشان داده شده است. این اعمال در یک روز به طور میانگین ممکن است تا ۱۰ ساعت طول بکشد. در شرایط مختلف کاری ممکن است از تراکتور دو چرخ ۸ ساعت و ۱۰ دقیقه به طور موثر استفاده شود. در حالت حمل با دست از مقدار ارتعاش ۱۴/۹۳، حمل و نقل (Taghizadeh et al., 2005) از مقدار ۲۱/۱۶، و شخم زدن از مقدار ۱۸/۸۷ متر بر مجذور ثانیه استفاده شد. با استفاده از رابطه ۶ مقدار A(8) برای این وضعیت کاری به صورت زیر محاسبه شد.

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i}$$

$$= 19.14 m/s^2$$

مطابق با استاندارد ISO در مقدار A(8) برابر با ۲ متر بر مجذور ثانیه، علایم اختلالات در اثر ارتعاش دست- بازو در سطح تماس با دست نادر و در مقدار ۱ متر بر مجذور ثانیه این علایم گزارش نشده است (Anon, 2001).

حالت‌هایی مانند حمل با دست و حمل و نقل می‌توان از جرم‌های کمکی در دسته تراکتور دوچرخ استفاده کرد تا نیروی وارده به دسته به جای دست راننده بیشتر از این جرم‌ها تامین شود. البته در حالت شخم‌زدن خیش متصل به تراکتور دوچرخ در حین درگیری با خاک آن را به سمت پایین می‌آورد و نیازی به نیروی بیش از حد برای پایین آوردن تراکتور دوچرخ نیست.

از طرفی، تنظیم نبودن موتور، روغنکاری نامناسب، و خوردگی یاتاقان‌ها و چرخنده‌های جعبه‌دنده می‌تواند باعث افزایش ارتعاش شود. تنظیم نبودن موتور در دورهای بالا و افزایش حجم سوخت موجب احتراق ناقص مخلوط سوخت می‌شود که کوبش در موتور و به خصوص موتورهای دیزلی را به دنبال دارد. در نتیجه، ارتعاش موتور به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد.

فشار باد در تایرهای تراکتور دوچرخ باید کاملاً با هم برابر باشد و گرنه باعث کج شدن یک طرف تراکتور دوچرخ می‌شود و در حالت‌هایی مانند حمل و نقل با دست باعث می‌گردد که تراکتور دوچرخ از حالت تعادل خارج شود. تراکتور دوچرخ همیشه به طرف تایر با باد کمتر چرخش پیدا می‌کند و از مسیر مستقیم خارج می‌شود. این امر موجب خواهد شد که راننده در وضعیت عادی کنترل تراکتور دوچرخ نباشد، بدن او کج شود، و نیروی وارده به دسته‌های تراکتور دوچرخ در دو طرف از حالت توازن خارج شود. این وضعیت ارتعاشات بیشتری را به بدن او وارد و خیلی زود او را خسته می‌کند.

مقایسه شدت ارتعاشات با استاندارد ISO¹

ارتعاش انتقال یافته از دست راننده به بدن او با توجه

همان طور که مشاهده شد، در محاسبه قبلی مقدار $A(8)$ برابر $19/14$ متر بر مجذور ثانیه است که نشان می‌دهد، این مقدار باعث اختلالات زیادی در بدن راننده به ویژه در دستان او می‌شود و ثابت می‌کند که کاربر در کارکردن با این تراکتور دوچرخ در شرایط حاد کاری قرار دارد.

مقادیر $A(8)$ ، که در حالت گفته‌شده برابر $19/14$ متر بر مجذور ثانیه است، تقریباً $9/5$ برابر مقدار استاندارد (۲ متر بر مجذور ثانیه) است و در استفاده از این تراکتور دو چرخ باید تجدید نظر جدی بشود. طراحی مهندسی دستگاه با در نظر گرفتن جنبه‌های آکوستیکی و ارتعاشی به منظور سازگار کردن آن با استانداردهای شناخته‌شده بین‌المللی اجتناب‌ناپذیر است. در مورد کاهش مواجهه با ارتعاش، مسئله اصلی خود وسیله است نه زمان کارکرد با آن. در استاندارد ISO پیشنهادی برای زمان مجاز کار با وسیله تولیدکننده ارتعاش برای رسیدن به مقدار $A(8)$ برابر ۲ متر بر مجذور ثانیه وجود ندارد و باید سعی شود برای رسیدن به این مقدار تا حد ممکن مقدار a_{hvi} کاهش یابد نه T_i . به معنی دیگر، مسئله اصلی زمان مواجهه با ارتعاش نیست بلکه ارتعاش زیادی است که وسیله (تراکتور دوچرخ) تولید می‌کند. کابر ناچار است در یک روز کاری بیش از ۸ ساعت از این وسیله در کارهای کشاورزی استفاده کند. در نتیجه نمی‌توان زمان کار با وسیله را چندان کاهش داد.

برای کاهش ارتعاش انتقالی باید در محل تماس دست راننده با دسته تراکتور دو چرخ از وسایل عایق (دستکش‌های ضد ارتعاش) استفاده کرد. همچنین نیروی واردشده به دسته را باید به طریقی کاهش و فشار بین دست و دسته تراکتور را تقلیل داد. برای این کار، در

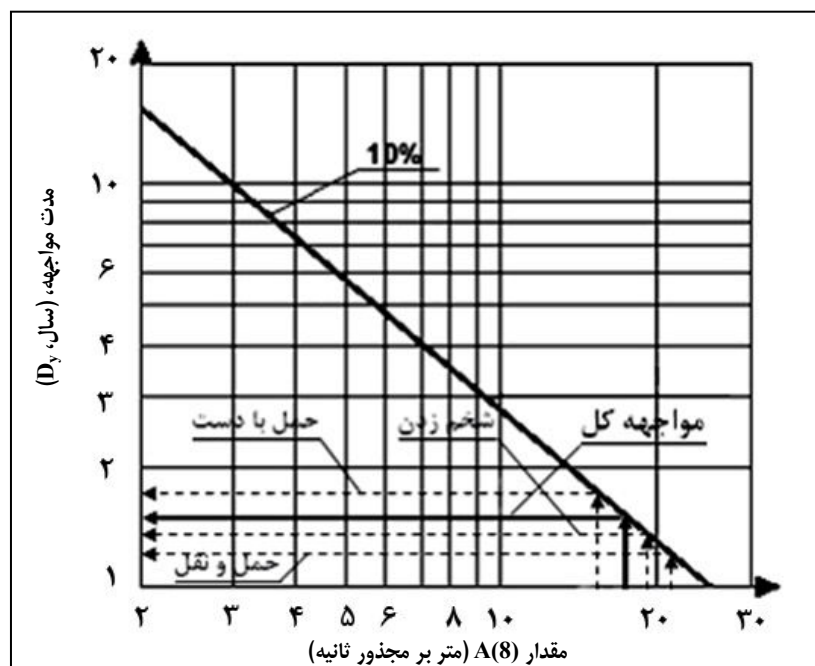
1- Comparison of Vibration to ISO Standard

می‌دهد. D_y تعداد سال‌هایی را نشان می‌دهد که پیش‌بینی می‌شود در ۱۰ درصد کاربران مواجه‌شونده با ارتعاش بعد از گذشت این سال‌ها فرسودگی در انگشتان و اختلالات در سیستم استخوان‌بندی دست و عضلات متصل به آن به ویژه در مچ دست ایجاد شود. در شکل ۴، مقادیر a_{hv} به صورت خط‌چین و مقدار A(8) (مواجهه کل) به صورت خط ضخیم مشخص شده‌اند. در این نمودار، مقدار D_y برابر ۱/۵۷ است و بدین معنی است که پیش‌بینی می‌شود در این وضعیت کاری (خاک‌ورزی) در کمتر از ۲ سال در ۱۰ درصد کاربرانی که از این تراکتور دوچرخ استفاده می‌کنند، فرسودگی در انگشتان و اختلالات عروق در دستان به وجود آید.

به استانداردهای موجود بررسی شد و نتایج آن به شرح زیر است.

ارتعاش انتقالی به دست (شیوع عارضه فرسودگی در انگشت)^۱

ارتعاشات اندازه‌گیری‌شده در سطح تماس بین دست راننده و دسته تراکتور دوچرخ در شرایط مختلف کاری، جدول ۴، با استانداردهای ISO مقایسه شدند. برای برآورد شیوع عارضه فرسودگی در انگشت از استاندارد 1-5349 ISO استفاده شد (Anon, 2001). برای این کار، مقادیر A(8) در نمودار شکل ۴ قرار داده شد. محور افقی مقدار A(8) و محور عمودی مقدار D_y را نشان



شکل ۴- مدت مواجهه سالانه برحسب مدت مواجهه روزانه (Anon, 2001)

ارتعاش انتقالی زیاد می‌شود).
روش سوم، استفاده از وسایل ایمنی و عایق مانند دستکش‌های ضد ارتعاش است. از این دستکش‌ها هم‌اکنون در کشورهای مختلف برای عملیات گوناگون استفاده می‌شود و مقدار زیادی از ارتعاشات انتقالی به دست را پایین می‌آورد (Barber, 1992).

نتیجه‌گیری

مقدار بیشینه^۱ شتاب در طیف فرکانسی در تمام نقاط با دور موتور یا فرکانس ضربات پیستون مطابقت دارد. در این آزمایش مشخص شد که با افزایش دور موتور تراکتور دوچرخ مقادیر اندازه ارتعاشات، a_{hvi} ، به تدریج از دسته تا قفسه سینه کاهش می‌یابد و نشان‌دهنده آن است که بدن کاربر انرژی ارتعاشی زیادی را در حین کار با تراکتور دوچرخ جذب می‌کند. این موضوع باعث اختلالات زیادی در بدن کاربر از جمله برهم‌خوردن تعادل بدن او، کاهش مهارت در انجام کار، و آسیب‌دیدگی شدید مچ دست او می‌شود. پیش‌بینی شده است در این وضعیت‌کاری (خاک‌ورزی) در مدت کمتر از ۲ سال در ۱۰ درصد کاربرانی که از این تراکتور دوچرخ استفاده می‌کنند، فرسودگی در انگشتان و اختلالات عروق در دستان به وجود آید.

مقادیر D_y در وضعیت برداشت و حمل و نقل نیز با استفاده از نمودار به ترتیب ۱/۶۱ و ۱/۶۳ سال است که بیانگر فرسودگی در انگشتان و بیماری‌های مربوط به آن بعد از گذشت تقریباً ۲ سال است (Taghizadeh *et al.*, 2005).
از محاسبات قبلی نتیجه گرفته می‌شود که یکی از راه‌های کاهش A(8)، بالارفتن زمان استراحت است. با توجه به رابطه ۶ هرچه زمان T_i در هر مرحله کاری کمتر شود، مقدار A(8) کمتر می‌شود. پس با استراحت در فواصل کاری (کاهش T_i) به مقدار کمی می‌توان A(8) را کاهش داد (Anon, 2001; Anon, 2001; Barber, 1992).
روش دوم، کاهش a_{hvi} است که از طرق مختلف مانند عایق‌بندی سیستم (تراکتور دو چرخ) از لحاظ ارتعاش انتقالی به دست با طراحی سیستم‌های تعلیق، استفاده از دور بهینه موتور در هر عمل و برای عملیات غیر ضروری از دور پایین موتور، تنظیم‌بودن موتور، روغنکاری مناسب قطعات تراکتور دوچرخ، خراب‌نبودن قطعات تراکتور دو چرخ، مناسب‌بودن جثه و وزن راننده برای کار با تراکتور دوچرخ و سالم‌بودن او، قرارگیری مناسب راننده در حین کار با تراکتور دوچرخ (وضعیت نامناسب باعث کوبلینگ نه چندان خوب بین دست راننده و دسته تراکتور دوچرخ و باعث فشار بیش از حد به مچ دست می‌شود و اگر مچ دست در حین کار بیش از حد خم شود و نیز ضعیف باشد،

مراجع

- Anon. 2001. Mechanical vibration-measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration-Part 1: general requirements, ISO, Geneva.
- Anon. 2001. Mechanical vibration-measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration-Part 2: practical guidance for measurement at the workplace.
- Barber, A. 1992. Handbook of Noise and Vibration Control. Elsevier Sci. Pub. LTD. 6th Edition.
- Goglia, V., Gospodari, Z., Kosutic, S. and Filipovi, D. 2003. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. Applied Ergonomics. 34, 45-49.
- Hassanbeigi, S. R. 2003. Evaluation and analysis of power tiller noise. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Hassanbeigi, S. R., Ghobadian, B., Nasiri, P. and Kamalian, N. 2004. Analysis and presentation of prediction models of a power tiller noise. J. of Agric. Sci. Technol. 8(4): 225-240. (in Farsi)
- Inman, D. G. 1989. Vibration with Control, Measurement, and Stability. Prentice-Hall International Inc, Printed in the United States of America.
- Jabbarieh, A. and Fallah, M. 2003. Education of MATLAB 6.5. Ettehad Pub.
- Ragni, L., Assalini, G. V., Xu, F. and Zhang, L. B. 1999. Vibration and noise of small implements for soil tillage. J. Agric. Eng. Res. 74, 403-409.
- Rao, S. S. 1995. Mechanical Vibration. Third Edition. Addison Pub. Co.
- Rossegger, R. and Rossegger, S. 1960. Health effects of tractor driving. J. Agric. Eng. Res. 5, 241-275.
- Salokhe, V. M., Majumder, B. and Islam, M. S. 1995. Vibration characteristics of a power tiller. J. Terramechanics. 32, 181-197.
- Taghizadeh, A. 2005. Practical evaluation of vibration in power tiller on operator. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)

تحليل مواجهه روزانه كاربر با ارتعاش تراكتور ...

Tewari, V. K., Dewangan, K. N. and Karmakar, S. 2004. Operator's fatigue in field operation of hand tractors. Biosystems Eng. 89, 1-11.



Analysis of Daily Exposure of Operator to Vibrations of a Power Tiller

A. Taghizadeh Alisoraee*, T. Tavakoli Hashtjin and B. Ghobadian

* Corresponding Author: Professor, Farm Machinery Department, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14155-4838,
E-mail: ttavakol@modares.ac.ir

Vibration from the operation of industrial implements can be harmful to the human body. These implements, such as the power tiller or hand tractor often used to till rice in northern Iran, can vibrate the entire body or one part, particularly the hands. In this research, the transmissibility and effects of vibration from a Mitsubishi power tiller of 7.7 hp and 2400 rpm on the operator's health was evaluated. The experiments were conducted in two positions (moving by hand and tilling), five speeds (1600, 1800, 2000, 2200, 2400 rpm), at three points (power tiller grip, operator's arm, operator's chest), and three modes (vertical, lateral, longitudinal). It was observed that with an increase in engine speed at the three points, the total acceleration value, a_{hv} , increases. It was also observed that the dominant frequency of vibration at all points and modes corresponds to the piston strokes or revolutions per second of the motor. It was observed that the value of exposure to vibrations in an eight-hour work day, $A(8)$, was 19.14 m/s^2 , which is more than the standard value of 2 m/s^2 that is known to cause health disorders in the operator. It is predicted that use at this exposure will cause blanching of the fingers and vascular disorders of the hands for 10% of the machine operators within two years.

Key words: Daily Exposure, Ergonomic, ISO Standard, Power Tiller, Safety, Vibration