

شبیه‌سازی مکانیکی - ارتعاشی کاربر در حین استفاده از تراکتور دو چرخ

میتسویشی

احمد تقی زاده علی‌سرای^{۱*}، برات قبادیان^۲، حسینعلی شمس‌آبادی^۳

^۱ نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

تلفن همراه: ۰۹۳۰۱۴۷۹۵۸۶، فاکس: ۰۴۲۶۹۴۲-۰۱۷۱، Email: Ahmadtza@yahoo.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

Email: Bghobadian2004@yahoo.com

^۳ استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

Email: Hshamsabadi@yahoo.com

* Ahmadtza@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۱۱/۲۱ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۵

چکیده

ارتعاشات منتقل شده از ماشین‌ها می‌تواند تأثیرات نامطلوب بر جسم و کارایی انسان بگذارد. در این مقاله، تأثیرات لرزش جرم‌های انعطاف‌پذیر اعضای بدن و ارتعاش کامل یا جزئی انتقال یافته از طریق دست و بازو در طی استفاده از تراکتور دوچرخ میتسویشی بررسی شدند. در این تحقیق، مدل مکانیکی-ارتعاشی بدن کاربر و تراکتور دو چرخ با استفاده از جرم، فنر و میراکننده‌ها شبیه‌سازی شد. برای این منظور، سیستمی با چهار درجه آزادی با جرم‌های صلب و انعطاف‌پذیر برای کاربر در نظر گرفته شد. سپس اثر ارتعاش انتقال یافته به دست و بازو از طریق دسته تراکتور دوچرخ، بر ارگان‌های داخلی بدن در دوره‌های مختلف موتور مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق مشخص شد که فرکانس ارتعاش قسمت‌های داخلی بدن برای دوره‌های مختلف موتور ۱۳۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ rpm به ترتیب ۱۳/۵۴، ۱۶/۶۹، ۱۸/۷۵، ۲۰/۸۳، ۲۲/۵۰ و ۲۵ Hz می‌باشد و حالت تشدید در بدن کاربر ایجاد نمی‌کند.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی ارتعاش، تراکتور دو چرخ، فرکانس، کاربر

۱ - مقدمه

موتورهای با ضریب تراکم بالا مشهود است

(Taghizadeh et al., 2012). تراکتور دوچرخ یا

تراکتور دستی^۱ در اکثر کشورها بخصوص در

کشورهای آسیایی برنج‌خیز و زمین‌های مرطوب

ارتعاشات در موتورهای دیزل و بنزینی از

جنبه‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است.

صدا و ارتعاش تولید شده در اثر احتراق اثرات

مستقیم مضر بر کاربر دارد. این امر بخصوص در

^۱-Hand Tractor

برای اعمال کاشت، داشت و برداشت برنج استفاده می‌شوند. این وسیله کشاورزی به میزان زیادی صدا و ارتعاش نامطلوب تولید می‌کند. منبع اصلی ارتعاش در تراکتور دوچرخ موتور آن است که بخاطر چرخش اجزای مختلف آن، نیروهای اینرسی و نامیزانی می‌باشد. نیروهای حاصل از احتراق و نامیزانی موتور، ضربه‌های زیادی به شاسی وارد می‌کنند. این ضربه‌ها به شاسی و سپس به دسته تراکتور دوچرخ منتقل می‌شود و ارتعاش زیادی به دست‌ها و بازوهای راننده و اگر تراکتور دوچرخ سواری باشد، به نشیمنگاه وی وارد می‌گردد (Taghizadeh *et al.*, 2009).

ارتعاشات می‌توانند باعث ناراحتی، مزاحمت در انجام کار و آسیب به سلامتی شوند (Tewari *et al.*, 2004). مخاطرات کاری رانندگی این ادوات شامل سنگینی گوش، اختلالات در ستون فقرات، و دستگاه گوارش است که بوسیله ارتعاش ایجاد می‌شود. گذشته از این، منجر به بازده و کیفیت کار پایین‌تری می‌شود (Chaturvedi & Tewari *et al.*, 2004; Kumar, 2012).

پاسخ انسان به ارتعاشات نه تنها مستلزم فرایندهای بیومکانیکی بلکه همچنین مستلزم فرایندهای بیولوژیکی است. پاسخ بیومکانیکی بدن به ارتعاشات خود یک فرایند خیلی پیچیده است. به این خاطر که بدن نه تنها شامل بخش‌های کوچک

زیادی است، بلکه شامل هر دو نوع جرم‌های صلب^۱ و انعطاف‌پذیر^۲ است. جرم انعطاف‌پذیر به همه قسمت‌های غیرصلب بدن مانند عضلات، بافت‌های نرم، ارگان‌های داخلی و حتی بخش‌های سیالی در بدن گفته می‌شود (Yue & Mester, 2001). در مورد شبیه‌سازی و پاسخگویی بدن انسان به تحریکات ارتعاشی تحقیقات مختلفی انجام گرفته است. برای مثال (Tewari & Prasad, 1999) یک مدل سه بعدی از کاربر و صندلی شبیه‌سازی نمودند و اثر ارتعاشات را مورد بررسی قرار دادند. ارتعاش پیش‌بینی شده با مدل سه بعدی به خوبی با ارقام اندازه‌گیری شده مطابقت داشت. در نمونه‌ای دیگر، (Yue & Master, 2001) اثر نیروهای داخلی و ارتعاشات بر اندام‌های داخلی بدن را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که قسمت بالاتنه بدن، نیروهای زیادی را خنثی و ارتعاش زیادی را جذب می‌کند. در تحقیق دیگر (Wakeling *et al.*, 2002) نتیجه گرفتند که بافت‌های نرم بدن مانند یک جسم ارتجاعی است که در پاسخ به تحریک مکانیکی و ارتعاش آن را میرا می‌کند. فعالیت عضلانی هم، نوع واکنش به ارتعاش بافت‌های نرم را با افزایش استحکام عضلانی تغییر می‌دهد که با افزایش فرکانس و ضرایب میرایی آن همبستگی دارد. در تحقیق حاضر مدل مکانیکی- ارتعاشی یک کاربر حین استفاده از تراکتور دوچرخ شبیه‌سازی شد. اثر

¹ -Rigid Mass

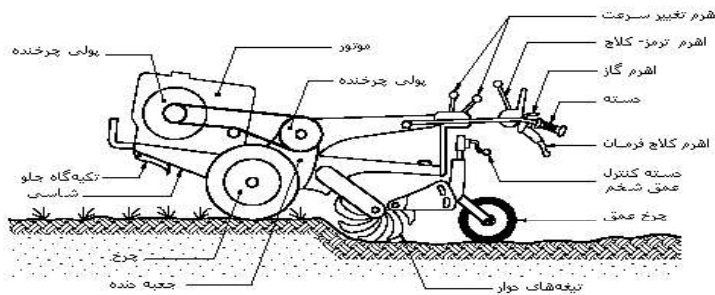
² -Wobbling Mass

اجزای مختلف تراکتور دوچرخ میتسوبیشی تک سیلندر دیزلی با توان ۷/۷ اسب بخار، دور نامی ۲۴۰۰rpm و سیستم پاشش مستقیم سوخت، در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۲ نیروهای استاتیکی وارد بر تراکتور دوچرخ در حالتیکه راننده آن را نگه می‌دارد و دسته آن به سمت پایین آورده شده است، نشان می‌دهد. نیروی عکس‌العمل چرخ‌ها با گشتاورگیری حول محور چرخ بدست آورده شد.

ارتعاشات منتقل شده از دسته تراکتور دوچرخ بر روی مدل، با استفاده از معادلات مربوطه و سیگنال‌های تحریک اندازه‌گیری شده بررسی گردید که تاکنون انجام نشده است. برای این کار شتاب ارتعاش با استفاده از تجهیزات مربوطه بر روی شاسی تراکتور دوچرخ اندازه‌گیری شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ تراکتور دوچرخ

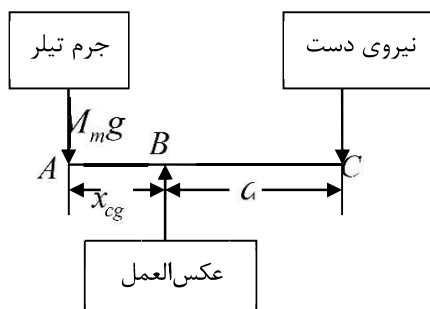


شکل ۱: اجزای تراکتور دوچرخ میتسوبیشی

Figure 1: Mitsubishi Two-wheel Tractor components

(۱) بدست می‌آید. این بدین معنی است که نیروی زیادی به دست کاربر وارد می‌شود و با توجه به کوبلینگ کامل بین دست و دسته تراکتور دوچرخ و مهار کامل آن ارتعاشات زیادی از طریق دسته به بدن کاربر منتقل می‌شود که منبع اصلی این ارتعاشات یکی موتور و دیگری زمین در حین کار تراکتور دوچرخ می‌باشد.

وضعیت کار کردن کاربر با تیلر به گونه‌ای است که در حالت ایستا و قبل از شروع حرکت باید با دست آن را محکم بگیرد و آن را به سمت پایین آورد. در این حالت نیرویی که به دسته وارد می‌شود با توجه به نوع تراکتور دوچرخ مورد بررسی (MITSUBISHI, 7.7hp - 2400rpm) تقریباً ۳۵ معادل کیلوگرم یا ۳۴۳ نیوتن است که از رابطه



شکل ۲: نیروها و عکس‌العمل آن‌ها در تراکتور دوچرخ

Figure 2: Forces and their interactions in a Two-wheel Tractor

آنالوگ به دیجیتال A/D (USB- Advantech, 4711A) متصل شده و در نهایت داده‌ها توسط کابل آن به ورودی یواس‌بی رایانه منتقل شد. با توجه به استانداردها و منابع مختلف، فرکانس نمونه‌گیری شتاب‌سنج روی ۵۰ kHz در نرم‌افزار لب‌ویو (LabView) تنظیم گردید. محورهای اتصال شتاب‌سنج در راستای قائم به دلیل بیشتر بودن شتاب در این راستا بود (ISO 5349-1, 2001). برای ثبت داده‌ها از یک لپ‌تاب و برای داده‌گیری و پردازش سیگنال‌ها^۲ از نرم‌افزار مطلب (MATLAB) و لب‌ویو برای تبدیل سیگنال حوزه زمان به سیگنال حوزه فرکانس (FFT)، استفاده گردید. مدت زمان داده‌گیری برای هر آزمایش یک دقیقه در نظر گرفته شد. برای آزمایش‌ها از دنده یک تیلر و دور موتور ۱۳۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ rpm و یک کاربر با وزن ۶۴ کیلوگرم استفاده شد.

$$F = \frac{M_m g x_{cg}}{a} \quad (1)$$

که F (N) نیروی وارد بر دسته، M_m (kg) جرم تراکتور دوچرخ در قسمت جلو، a (m) فاصله مابین چرخ و انتهای دسته، x_{cg} (m) فاصله مابین مرکز ثقل تراکتور دوچرخ و محور چرخ و g شتاب ثقل زمین است.

۲-۲ تجهیزات اندازه‌گیری ارتعاش

برای جمع‌آوری سیگنال‌های ارتعاش موتور در قسمت دسته تراکتور دوچرخ، از شتاب‌سنج با مشخصات AC102-1A ساخت شرکت CTC بعد از کالیبره کردن استفاده شد. این شتاب‌سنج، فرکانس‌های ۰/۵ تا بالای ۱۵۰۰۰ هرتز را اندازه‌گیری می‌کرد. برای اتصال شتاب‌سنج و ارسال سیگنال آن‌ها به مبدل آنالوگ به دیجیتال از یک جعبه تبدیل^۱ استفاده گردید. سیگنال‌های خروجی جعبه تبدیل با استفاده از کابل مربوطه به مبدل

^۲ - Analog to Digital

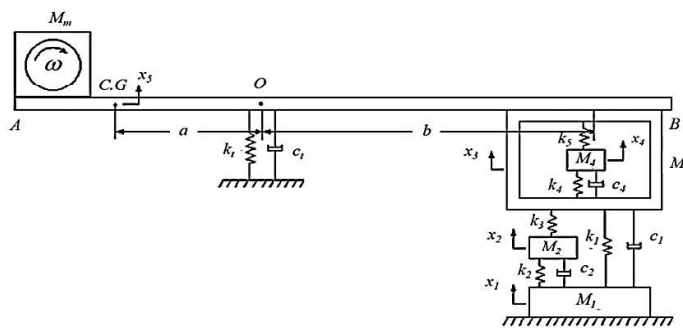
^۳ - Signal Processing

^۱ - Switch Box

۳-۲ مدل مکانیکی کاربر و تراکتور دو چرخ

خطی یا غیرخطی باشد. مدل‌های خطی از لحاظ تحلیلی ساده‌تر می‌باشند در حالی که مدل‌های غیرخطی جزئیات بیشتری را ارائه می‌دهند. شکل ۳ مدل مکانیکی تراکتور دو چرخ و کاربر را نشان می‌دهد.

برای تحلیل ارتعاشی، ابتدا مدل مکانیکی تراکتور دو چرخ و کاربر شبیه‌سازی گردید. هدف از مدل کردن مکانیکی ارائه همه بخش‌های مهم سیستم برای بدست آوردن معادلات مکانیکی (یا تحلیلی) رفتار آن است. مدل مکانیکی ممکن است



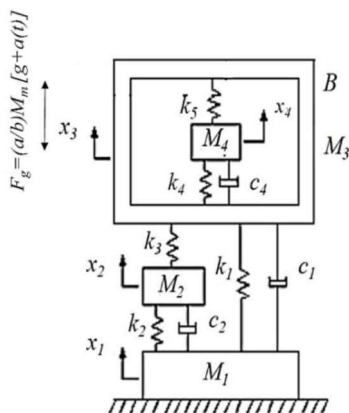
شکل ۳. مدل ارتعاشی- مکانیکی تراکتور دو چرخ و کاربر

Figure 3: Mechanical -Vibrational model of Two-wheel Tractor and operator

به صورت انعطاف پذیر به بدن متصل شده است. جرم قسمت بالای بدن انسان و از بالا تنه تا سر و گردن می‌باشد و شامل قفسه سینه و استخوان بندی بالای تنه به جز قسمت‌های داخلی بدن می‌باشد که با فنرهای k_1 و k_3 و میراکننده c_1 به قسمت پایین بدن متصل است. جرم M_4 جرم تعمیم یافته قسمت داخلی بدن مانند قلب، ریه‌ها، معده و غیره می‌باشد که به فنرهای k_4 و k_5 میراکننده c_4 متصل است. ضربات موتور در اثر احتراق باعث ارتعاش کل سیستم می‌شود که از طریق بدنه تراکتور دو چرخ به تایرها و بدن انسان

در این شکل فرض می‌شود که جرم موتور M_m است که با سرعت زاویه‌ای ω می‌چرخد و ارتعاش از طریق دسته به راننده منتقل می‌شود که به صورت شکل مدل شده است. در این شکل جرم قسمت پایین بدن یعنی پا، M_1 می‌باشد که صلب فرض شده است. قسمت پایین تنه به جز پاها شامل دو بخش است. یک بخش آن بصورت فنر و میراکننده k_1 و c_1 ، و بخش دیگر آن شامل فنرهای k_2 و k_3 و میراکننده c_2 همراه با جرم تعمیم یافته M_2 است. جرم تعمیم یافته قسمت پایین شکم تا زانو می‌باشد که فرض می‌شود

چرخ در اینجا صلب فرض می‌گردد. این کار به ساده سازی معادلات کمک می‌کند. چون تماس جرم M_1 با زمین حفظ می‌شود و حرکتی ندارد، پس می‌توان نتیجه گرفت که در تحلیل کل سیستم تاثیری ندارد و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.



شکل ۴: مدل مکانیکی بدن کاربر

Figure 4: Mechanical model of operator's body

۳- نتایج و بحث

غیر از مسئله ارتعاش، کار کردن با تراکتور دو چرخ و پایین آوردن دسته آن معضل بزرگی است که نیروی زیادی را می‌طلبد. اعمال این نیرو فشار زیادی را به مچ دست وارد می‌کند و باعث خستگی زود هنگام کاربر می‌گردد. با در نظر گرفتن شرایط ذکر شده در بند قبلی، برای پایین آوردن دسته تراکتور دو چرخ حداقل ۳۵kg یا ۳۴۳ نیوتن نیرو لازم است تا تماس M_1 با زمین حفظ شود.

این نیرو تماماً به دستان راننده وارد می‌شود که باعث فشار زیادی در سطح تماس دست راننده و دسته تراکتور دو چرخ می‌گردد و این خود به تنهایی

منتقل می‌شود.

ارتعاشی که از دسته تراکتور دو چرخ به دست‌ها وارد می‌شود به جرم M_3 منتقل می‌گردد. در این شکل فرض می‌شود که تایرها دارای سختی k_t و میرایی C_t باشند، که به نوع لاستیک، مقدار باد لاستیک و دمای هوا بستگی دارد. اگر تیر AB صلب فرض شود و نیروی ناشی از چرخش موتور $F(t)$ فرض شود و O محور چرخ باشد، با گشتاورگیری، نیروی وارد بر دسته بصورت زیر می‌باشد (g شتاب گرانشی زمین است).

$$F_g = (a/b)M_m[g + a(t)] \quad (2)$$

که $a(t)$ شتاب (قابل اندازه‌گیری بوسیله حسگر) وارده در اثر چرخش موتور به شاسی و بصورت زیر است.

$$a(t) = A \sin(\omega t) \quad (3)$$

که A دامنه شتاب و ω سرعت زاویه‌ای بصورت $2\pi\nu$ و U فرکانس غالب ارتعاش است. این نیرو از طریق بازو به قفسه سینه وارد می‌گردد و باعث ارتعاش کامل بدن می‌شود. مدل شکل ۳ می‌تواند بصورت شکل ۴ ساده شود که نیروی F_g به قفسه سینه در جهت عمودی عمل می‌کند.

چون لاستیک تراکتور دو چرخ پرباد و کوچک می‌باشد، میرایی و سختی آن در مقایسه با بدن کاربر می‌تواند بسیار بالا باشد و می‌توان آن‌ها را بی‌نهایت فرض کرد. در حقیقت لاستیک تراکتور دو

$$M_1 = 5.25kg \quad M_2 = 5.12kg$$

$$M_3 = 10.73kg \quad M_4 = 43kg$$

$$k_1 = k_2 = 6kN/m \quad k_3 = k_4 = 10kN/m$$

$$k_5 = 18kN/m$$

$$c_1 = 300kg/s \quad c_2 = 650kg/s$$

$$c_4 = 1900kg/s$$

معادله حرکت کلی سیستم شکل ۴ بصورت رابطه (۷) بیان می‌گردد.

$$[m]\ddot{x} + [c]\dot{x} + [k]x = \bar{F} \quad (7)$$

برای حل معادله ابتدا باید فرکانس طبیعی بدون میرایی بصورت زیر محاسبه شود.

$$[D] = [k]^{-1}[m] \quad (8)$$

$$[a] = [k]^{-1} \quad (9)$$

با جاگذاری اعداد ماتریس $[D]$ بدست آورده می‌شود.

$$[D] = \begin{bmatrix} 2.75 & 3.44 & .53 \\ 4.41 & 5.51 & .33 \\ 5.94 & 5.51 & .33 \end{bmatrix}$$

اگر $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$ باشد، مقدار λ می‌تواند از رابطه

زیر بدست آید که مقدار ویژه ماتریس $[D]$ است.

$$\Delta = |\lambda[I] - [D]| = 0 \quad (10)$$

که $[I]$ ماتریس واحد^۱ با قطر یک می‌باشد.

برای مدل شکل ۴ مقادیر λ_i (مقادیر ویژه ماتریس D) برای $i = 1, 2, 3$ بصورت زیر است.

$$\lambda_1 = 10.849$$

$$\lambda_2 = 0.3048$$

می‌تواند باعث خستگی و احساس درد در دستان شود.

۳-۲ پاسخ بدن کاربر به ارتعاش دسته تراکتور دو چرخ

برای پی بردن به پاسخ بدن به ارتعاش ابتدا معادلات حرکت مدل شکل ۴ بدست آورده می‌شود. برای حل معادلات ابتدا ماتریس ضرایب جرمی، سختی و میرایی به صورت زیر بیان می‌گردد. برای بدست آوردن ماتریس ضرایب به کتب و منابع مربوطه مراجعه گردد.

$$[m] = \begin{bmatrix} M_2 & 0 & 0 \\ 0 & M_3 + M_4 & 0 \\ 0 & 0 & M_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_2 & 0 & 0 \\ 0 & c_1 + c_4 & -c_4 \\ 0 & -c_4 & c_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ -k_3 & k_1 + k_3 + k_4 + k_5 & -k_4 - k_5 \\ 0 & -k_4 - k_5 & k_4 + k_5 \end{bmatrix} \quad (6)$$

که $[m]$ ، $[k]$ و $[c]$ به ترتیب ماتریس جرمی، سختی و میرایی هستند. مقادیر عددی پارامترهای ماتریس‌های ذکر شده با رجوع به منابع مختلف بصورت زیر است. با فرض یک کاربر با جرم $64 kg$ ، مقادیر جزیی جرم‌ها، میرایی و سختی بصورت زیر است که در ماتریس‌های بالا جای‌گذاری می‌شود (Yue & Mester, 2001).

^۱ - Unit

$$[\lambda_i[I]-[D]]\vec{X}^i = \vec{0} \quad (11)$$

$$\lambda_3 = 0.8176$$

مقادیر $X_3^{(1)}$ ، $X_3^{(2)}$ و $X_3^{(3)}$ از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شوند. که بترتیب 0.0933، 0.000074 و 0.0739 است.

که مقادیر فرکانس طبیعی هر یک از جرم‌های M_2 ، M_3 و M_4 بترتیب $\omega_1 = 0.3036$ ، $\omega_2 = 1.8113$ و $\omega_3 = 1.106$ می‌شود.

$$\vec{X}^{(i)T}[m]\vec{X}^{(i)} = 1 \quad (12)$$

بردار مودال می‌تواند به صورت رابطه (۱۳) بیان شود.

شکل مد هر یک از جرم‌ها به صورت

$$\vec{X}^i = \begin{bmatrix} X_1^{(i)} \\ X_2^{(i)} \\ X_3^{(i)} \end{bmatrix}$$

رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$[X] = [\vec{X}^{(1)} \vec{X}^{(2)} \vec{X}^{(3)}] = \begin{bmatrix} 0.0516 & 0.0037 & -0.0665 \\ 0.0801 & -0.0003 & -0.0648 \\ 0.0933 & 0.0001 & 0.0739 \end{bmatrix} \quad (13)$$

بردار عمومی نیرو $\vec{Q}(t)$ از رابطه (۱۴) بدست می‌آید.

$$\vec{Q}(t) = [X]^T \vec{F}(t) = \begin{bmatrix} 0.0516 & 0.0801 & 0.0933 \\ 0.0037 & -0.0003 & 0.0001 \\ -0.0665 & -0.0648 & 0.0739 \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} 0 \\ (a/b)M_m[g + A \sin \omega t] \\ 0 \end{matrix} \right\} \quad (14)$$

(Yue & Mester, 2001)

سه مد اصلی (پاسخ زمانی) سیستم که

با استفاده از شتاب‌سنج‌ها، اندازه‌گیری و ثبت

بصورت $q_1(t)$ ، $q_2(t)$ و $q_3(t)$ مشخص می‌شوند، از

سیگنال‌های حوزه زمان ارتعاش بر روی دسته،

معادلات حرکت رابطه (۱۵) بدست می‌آیند.

سیگنال شتاب تحریک دست و متعاقباً کل بدن

(۱۵)

کاربر بدست آمد. یک نمونه از این سیگنال بر روی

$$\ddot{q}_i(t) + 2\zeta_i\omega_i\dot{q}_i(t) + \omega_i^2q_i(t) = Q_i(t),$$

دسته و دور ۲۲۰۰ rpm موتور، در شکل ۵ نشان

$i = 1, 2, 3$

داده شده است. از مزایای این سیگنال‌ها، استفاده

کردن از تبدیل فوریه سریع (FFT)^۱ و بردن

که ζ_i نسبت میرایی است و برای سیستم با

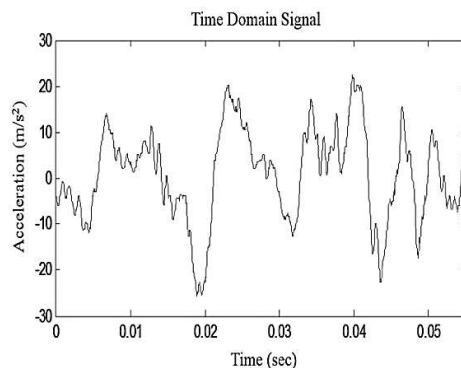
سیگنال به حوزه فرکانس، و همچنین پیدا کردن

توجه به منابع مختلف ۰/۱ در نظر گرفته شده است

^۱ Fast Fourier Transform

سیگنال حوزه زمانی و تبدیل فوریه، فرکانس‌های تحریک دست و متعاقباً بالا تنه کاربر ۲۶/۶۷، ۳۰/۱۰، ۳۳/۳۳، ۳۶/۶۷ و ۴۰ Hz به ترتیب برای دورهای ۱۳۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰rpm موتور به دست آمد. در این حالت فرکانس ارتعاش کلیه جرم‌ها (قسمت‌های مختلف بدن کاربر) می‌تواند بدست آورده شوند.

فرکانس اصلی تحریک بدن است. پاسخ سیستم (بدن انسان) را می‌توان تحت تحریک معین (شتاب وارده به بدن کاربر) با فرکانس‌های مختلف که مستقیماً به دور موتور مربوط می‌شوند، بدست آورد. در این حالت تحریک از طریق دسته تراکتور دو چرخ و دست کاربر به بالا تنه کاربر یعنی جرم M_3 وارد می‌شود و کل بدن ارتعاش می‌کند. با توجه به



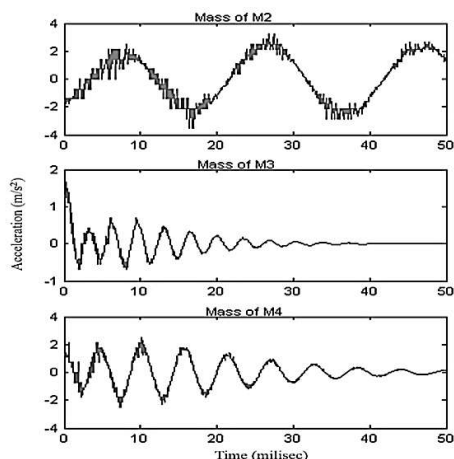
شکل ۵: سیگنال حوزه زمانی در دسته تراکتور دوچرخ، سرعت ۲۲۰۰rpm و راستای قائم

Figure 5: Time Domain signal in handle of Two-wheel Tractor, 2200rpm and vertical line

زیرا بسیار حجیم و طولانی بوده و نمی‌توان از آن در محاسبات استفاده کرد و فقط مناسب محاسبات کامپیوتری است (پاسخ این سیستم با استفاده از حل رابطه (۱۵) و محاسبات کامپیوتری بیش از ۴۰۰ سطر می‌باشد). به همین دلیل از نمودار پاسخ سیستم در حوزه زمان برای توضیح و تعیین کردن شرایط سیستم استفاده شد.

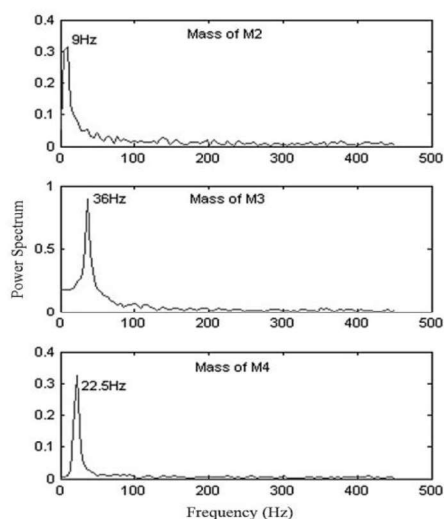
شکل ۶، نمودار پاسخ زمانی سیستم را به ارتعاش قفسه سینه (نیروی وارد به جرم M_3) نشان می‌دهد که با حل رابطه (۱۵) برای سه مد اصلی سیستم و سه جرم M_2 ، M_3 و M_4 بدست آمد.

بطور جداگانه با حل رابطه (۱۵) برای سه جرم M_2 ، M_3 و M_4 پاسخ سیستم بدست آورده شد. به علت طولانی بودن حل معادله برای تمام دورها، برای نمونه فقط سرعت ۲۲۰۰rpm در نظر گرفته شد. این سرعت موتور شتابی با فرکانس ۳۶/۶ Hz به شاسی، دسته و در انتها به دست کاربر وارد می‌کند. پاسخ حالت پایدار سیستم که با حل معادله دیفرانسیل (۱۵) بدست می‌آید، از مجموع بی‌نهایت هارمونیک تشکیل شده است و نمی‌توان جواب را بصورت جمله‌های سینوسی و کسینوسی ارائه داد.



شکل ۶: نمودار پاسخ زمانی قسمت‌های مختلف بدن

Figure 6: Time- response diagram of different parts of body



شکل ۷: نمودار پاسخ فرکانسی قسمت‌های مختلف بدن

Figure 7: frequency - response diagram of different parts of body

در اینجا لازم به ذکر است به دلیل تعداد بسیار زیاد جملات در معادلات حل شده، از نمودار پاسخ زمانی بجای حل ریاضی استفاده شد. همانطوری که از شکل ۶ مشاهده می‌شود، پاسخ جرم M_2 به ارتعاش سینوسی بوده و حالت پایدار دارد. در حالی که پاسخ جرم M_3 و M_4 به ارتعاش بصورت میرا شونده است که نشان می‌دهد، قفسه سینه و اعضای داخلی بدن بیشترین خاصیت میراکنندگی ارتعاش وارده به بدن را دارند.

شکل ۷ نمودار پاسخ سیستم در حوزه فرکانسی بترتیب برای هر سیگنال در شکل ۶ را نشان می‌دهد که از تبدیل فوری سیگنال زمانی بدست آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار پیک فرکانس ارتعاش جرم M_2 (قسمت پایین بدن تا زانو) 9 Hz است که نشان می‌دهد، این قسمت با این فرکانس ارتعاش می‌کند. جرم M_3 (قفسه سینه) نیز با فرکانس 36 Hz ارتعاش دارد که با فرکانس ارتعاش نیروی به کار رفته (تحریک) به آن برابر است. فرکانس ارتعاش جرم M_4 نیز 22.5 Hz است.

می‌توان نتیجه گرفت که فرکانس ارتعاش در انتقال به اعضای داخلی بالا تنه بدن کاهش یافته است.

از تحلیل بالا نتیجه‌گیری می‌شود که فرکانس ارتعاش قسمت‌های مختلف با هم متفاوت است. فرکانس ارتعاش بخش‌های داخلی بدن (جرم M_4

اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل برای این محدوده فرکانسی، به داده‌های شتاب وزن بیشتری داده می‌شود (ISO 5349-1, 2001).

ارتعاش تراکتور دو چرخ بیش از آنکه از ناهمواری‌های زمین باشد، بیشتر بخاطر ضربه‌های مداوم پیستون به شاسی در مرحله توان است. همان‌طوری که آزمایش‌ها نشان داد، عامل اصلی افزایش ارتعاش در تراکتور دو چرخ موتور آن است. با انتقال ضربات پیستون به دیگر قسمت‌ها و تقویت آن در دسته این ارتعاش افزایش می‌یابد (Chaturvedi & Salokheet *al.*, 1995).

Kumar, 2012). تراکتور دو چرخ دارای یک موتور تک سیلندر دیزلی می‌باشد که نسبت به موتورهای چند سیلندر از توازن کمتری برخوردار است. به نظر می‌رسد به دلیل کاهش هزینه، تسریع در ساخت و کاهش جرم تراکتور دو چرخ 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 نیافته است بلکه در اثر ارتعاشات آزاد و تقویت، مقدار آن افزایش یافته است (Taghizadeh, 2009).

(برای سرعت‌های مختلف موتور از ۱۳۰۰ تا rpm ۲۴۰۰ برترتیب ۱۳/۵۴، ۱۶/۶۹، ۱۸/۷۵، ۲۰/۸۳، ۲۲/۵۰ و Hz ۲۵ می‌باشد و حالت تشدید در بدن کاربر ایجاد نمی‌کند. زیرا فرکانس تشدید قسمت‌های داخلی بدن در حدود ۱ تا Hz ۲/۵ بر اساس منابع مختلف و استانداردها است که با مقادیر گفته شده در بالا برابر نیست. در اینجا، کاهش فرکانس و دامنه شتاب نشان می‌دهد که بیشتر ارتعاش توسط بدن کاربر جذب می‌شود. در تحقیق یو و مستر نیز نتایج نشان داد که بخش بالای بدن، نیروهای زیادی را خنثی و ارتعاش زیادی را جذب می‌کند (Yue & Master, 2001).

همین‌طور، واکلینگ و همکاران نیز عامل اصلی میرایی ارتعاش در بدن را خاصیت ارتجاعی اندام‌های داخلی دانسته‌اند (Wakeling *et al.*, 2002).

طبق استانداردهای ISO داده‌های ارتعاش در محدوده فرکانس ۱ تا Hz ۸۰ وزن‌دار می‌شوند و همچنین به شتاب‌های در محدوده فرکانسی ۲ تا Hz ۱۰ بیشترین وزن داده می‌شود. در استانداردهای ISO 5349-1 و ISO 2631-1 تأثیرات ارتعاشات در چهار بخش سلامتی، راحتی، ادراک^۱ و امراض حرکتی^۲ بررسی می‌گردد. برای سه بخش اول ارتعاشات در فرکانس ۰/۵ تا Hz ۸۰ و برای بخش چهارم ارتعاش در فرکانس ۰/۱ تا Hz ۰/۵ از

¹-Perception

²- Motion Sickness

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که فرکانس ارتعاش قسمت‌های داخلی بدن برای دوره‌های مختلف موتور ۱۳۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ rpm به ترتیب ۱۳/۵۴، ۱۶/۶۹، ۱۸/۷۵، ۲۰/۸۳، ۲۲/۵۰ و ۲۵Hz می‌باشد و حالت تشدید در بدن کاربر ایجاد نمی‌کند ولی باعث ایجاد مزاحمت در کار کاربر می‌شود که باید کاهش یابد. برای کاهش ارتعاش انتقالی دو حالت باید در نظر گرفته شود:

- باید منبع اصلی ارتعاش (موتور) از بدنه تراکتور دو چرخ (شاسی) به وسیله سیستم‌های تعلیق جدا شود. برای این کار می‌توان از فنرها و میراکننده‌ها استفاده کرد.

- 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 و یا دسته ماشین با استفاده از فنرها و میراکننده‌ها انجام می‌پذیرد.

نتایج بدست آمده نشان داد، بیشترین ارتعاش از دسته تراکتور دوچرخ به دسته راننده منتقل

می‌شود. در تحقیق (Salokheet *al.*, 1995) نیز

چنین نتیجه‌ای بدست آمد.

پس استفاده از وسایل ایمنی و عایق مانند دستکش‌های ضد ارتعاش مفید می‌باشد. این دستکش‌ها هم اکنون در کشورهای مختلف برای اعمال گوناگون استفاده می‌شود و باعث کاهش مقدار زیادی از ارتعاشات انتقالی به دست می‌شود (Barber, 1992). مواجهه با ارتعاش ادوات کشاورزی می‌تواند با انتخاب درست وسیله و شرایط عملیاتی مطلوب کاهش یابد (Paddan & Griffin, 2002).

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه اساتید و کارمندان گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و همچنین دانشگاه تربیت مدرس که تمام امکانات را در اختیار این تحقیق نهادند، کمال تشکر و قدردانی بجا آورده می‌شود.

۶- فهرست منابع

1. Barber, A. 1992. **Handbook of Noise and Vibration Control**. By Elsevier Science Publishers LTD .6th Edition.
2. Chaturvedi, V., Kumar, A. and Singh, J.K. 2012. Power tiller: Vibration magnitudes and intervention development for vibration reduction. **Applied Ergonomics**. 43(5): 891-901.

3. Hansson, P.A. 2002. Working space requirement for an agricultural tractor axle suspension. **Biosystems Engineering**. 81(1): 57-71.
4. ISO2001. **ISO 5349-1: Mechanical vibration—measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration—Part 1: general Requirements**. Geneva.
5. Marsili, A., Ragni, L., Santoro, G., Servadio, P. and Vassalini, G. 2002. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. **Biosystems Engineering**. 81(1): 35-47.
6. Paddan, G.S. and Griffin, M.J. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. **Journal of Sound and Vibration**. 253(1): 195-213.
7. Salokhe, V. M., Majumder, B. and Islam, M. S. 1995. Vibration characteristics of a power tiller. **Journal of Terramechanics**. 32: 81-197.
8. Sama, B. and Kathirvel, K. 2009. Development and evaluation of vibration isolators for reducing hand transmitted vibration of walking and riding type power tillers, **Biosystems Engineering**. 103(4): 427-437.
9. Taghizadeh-Alisaraci, A., Ghobadian, B., Tavakoli-Hashjin, T. and Mohtasebi, S.S. 2012. Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. **Journal of Fuel**. 102: 414-422.
10. Taghizadeh-Alisaraci, A., Tavakoli-Hashjin, T. and Ghobadian, B. 2009. Analysis and Evaluation of Vibration of Power Tiller in Stationary situation. **Iranian Journal of Biosystems Engendering**. 41(1): 27-35.
11. Tewari, V.K. and Prasad, N. 1999. Three-DOF modelling of tractor seat-operator system. **Journal of Terramechanics**. 36: 207-219.
12. Tewari, V.K., Dewangan, K.N. and Subrata, K. 2004. Operator's Fatigue in Field Operation of Hand Tractors. **Biosystems Engineering**. 89(1): 1-11.
13. Tewaria, V.K. and Dewangan, K.N. 2009. Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. **Biosystems Engineering**. 103(2): 146-158.
14. Wakeling, J.M., Nigg, B.M. and Rozitis, A.I. 2002. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibration. **Journal of Applied Physiology**. 93: 1093-1103.
15. Yue, Z. and Mester, J. 2001. A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. **Journal of Biomechanics**. 35: 639-64

Mechanical-Vibrational Simulation an Operator during Use of Mitsubishi Two-Wheel Tractor

A. Taghizadh Alisaraei^{1*}, B. Ghobadian², H. Shamsabadi³

^{1*} Corresponding author, Assistant Professor, Department of Agricultural Mechanics Engineering. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Phone: 09301479586, Fax: 0171-4426942, Email: Ahmadtza@yahoo.com.

² Associate Professor, Department of Agricultural Mechanics Engineering, Tarbiat Modarres University. Email: Bghobadian2004@yahoo.com.

³ Assistant Professor, Department of Agricultural Mechanics Engineering. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Email: Hshamsabadi@yahoo.com.

Received: 2013- 02- 09 Accepted: 2014- 03- 16

Abstract

Transmitted vibrations from the machine have undesirable affect the human body and performance. In this paper, the effect of body wobbling masses vibration and partial-full transferred vibration to the hand-arm was investigated during use of Mitsubishi power tiller. In this research, the body mechanical-vibrational model was simulated using the masses, springs and dampers. For this, a system with four degrees of freedom including the rigid and wobbling mas was considered for whole body of operator. Then, the effects of hand-arm vibration transmitted through the tiller handle on the internal organs were examined at different engine speeds. It was found that the vibration frequency of the internal parts of the body for different engine speeds of 1300, 1600, 1800, 2000, 2200 and 2400 rpm, is 13.54, 16.69, 18.75, 20.83, 22.50 and 25 Hz, respectively and does not create resonance in the operator body.

Keywords: *Vibration Simulation, two Wheel Tractor, Frequency, Operator.*