



آنالیز فرکانس‌های غالب اندام‌های بدن راننده تراکتور

علی ملکی^۱ و سید سعید محتسبی^۲

^۱ استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد و استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی

دانشگاه تهران.

Maleki-a@agr.sku.ac.ir

چکیده

بررسی مشکلات ناشی از صدمات مکانیکی وارد بر بدن رانندگان تراکتورهای ایران هنگام رانندگی با آن و تعیین فرکانس غالب اندام‌های مختلف بدن آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. به ویژه هنگامی که ارتعاش منتقل شده به بدن راننده در محدوده فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن او باشد. به همین منظور پژوهشی به منظور تعیین فرکانس‌های غالب بدن راننده تراکتور در راستاهای مختلف طولی، جانبی و عمودی روی سه راننده با وزن‌های ۵۵، ۷۰، ۸۵ کیلوگرم و و چهار شتاب تحریک ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر مجذور ثانیه انجام گرفت که با تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده، مقادیر فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن راننده در سه راستا با استفاده از رگرسیون چند متغیره با عامل‌های جرم راننده و فرکانس تحریک، برازش شد که روش محاسبه فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن راننده از طریق جرم راننده و فرکانس تحریک، بیشترین تطابق را با نتایج حاصل از آزمایش‌های ایستگاهی داشت.

واژه‌های کلیدی: فرکانس طبیعی، اندام‌های بدن، راننده، تراکتور، فیکسچر

مقدمه

امروزه، به ایمنی شغلی کشاورزان، در کشورهای در حال توسعه کمتر توجه می‌شود این مساله برای رانندگان تراکتورها که در معرض شرایط بسیار نامناسب محیط کار و ارتعاش زیاد تراکتور و صندلی آن قرار دارند از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد همچنین صدمات مکانیکی ناشی از انتقال ارتعاشات تراکتور به راننده هنگامی که فرکانس ارتعاشات تراکتور برابر با فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن راننده می‌گردد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

ارتعاش‌های مکانیکی در یک ماشین به وسیله حرکت اجزاء آن ماشین و یا عامل‌های خارجی وارد بر آن وسیله بوجود می‌آید. چون یک ماشین شامل چندین سیستم مکانیکی می‌باشد و حرکت هر جزء ماشین داری فرکانس

مشخصی است؛ بنابراین ارتعاش منتقل شده به راننده از ترکیب چندین فرکانس مختلف تشکیل شده که همزمان بوجود آمده و با در معرض ارتعاش قرارگرفتن راننده یک توزیع پیچیده‌ای از نیروهای نوسانی در بدن او بوجود می‌آید.

هدف از این پژوهش بدست‌آوردن فرکانس‌های غالب و فرکانس‌های مضر برای سلامتی رانندگان تراکتورهای کشاورزی و تعیین فرکانس‌های غالب هر یک از اندام‌های مختلف بدن انسان (ساق پا، ران، نشیمنگاه، کمر، قفسه سینه، گردن، سر و دستها) می‌باشد که با تعیین رابطه فرکانس‌های طبیعی اندام‌ها با جرم و فرکانس تحریک ارتعاش وارده و مقایسه آنها با فرکانس طبیعی این اندام‌ها که آزمایش‌های ایستگاهی تعیین گردید، می‌توان فرکانس‌های طبیعی اندام‌های مختلف را بر حسب جرم و فرکانس ارتعاش وارده بیان نمود.

مروری بر پیش‌نگاشت‌ها

بطور کلی عامل‌هایی مهمی که روی واکنش راننده در برابر ارتعاش‌های تراکتور تاثیر دارد را می‌توان به دو گروه عامل‌های درونی و برونی تقسیم نمود. عامل‌های درونی، شامل مواردی چون انواع شاخص‌های جمعیتی (سن، جنس، اندازه و ...) و شاخص‌های رفتاری عملکردی (تجربیات، انگیزه، شرایط درآمد و ...) حالت بدن و فعالیت‌های بدنی است که وابسته به راننده می‌باشد و عامل‌های برونی، مانند اندازه ارتعاش، فرکانس و محورهای ارتعاش، محل اعمال ارتعاش، طول دوره ارتعاش و شرایط محیطی (نور، گرما، صدا و ...) را شامل می‌گردد که بطور مستقیم به راننده مرتبط نیست [۱۳].

ارتعاش‌های فرکانس پایین که راننده در معرض آن قرار می‌گیرد ناشی از جابجایی خطی وسیله یا جابجایی چرخشی وسیله حول محورهای طولی (Roll)، جانبی (Pitch) و عمودی (Yaw) می‌باشد که در جهت‌های طولی و عمودی تاثیر معنی‌داری را روی بدن راننده بوجود می‌آورند. ارتعاش‌های خودرو ناشی از سه عامل زیر می‌باشند:

- ارتعاش منتقل شده از سطح زمین به راننده به دلیل فقدان میرایی کافی در چرخ‌های خودرو.
- ارتعاش ناشی از تاثیر شوک‌های ناگهانی جهت افزایش یا کاهش سرعت پیشروی خودرو.
- ارتعاش ناشی از حرکت اجزاء متحرک خودرو.

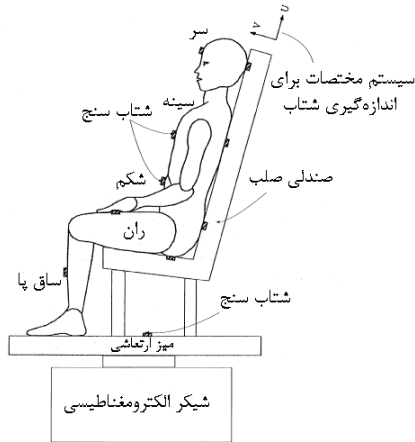
انتظار می‌رود دو عامل اول شدت ارتعاش زیادی در جهت عمودی نسبت به صفحه افقی ایجاد کنند درحالی‌که نوسان بارها بر موتور در جهت طولی تاثیر بیشتری دارد. منشاء ارتعاش‌های فرکانس بالا، موتور خودروست که معمولاً این فرکانس‌ها بطور کامل توسط فوم صندلی تقلیل می‌یابد و کمتر به ارگان‌های اساسی بدن راننده آسیب می‌رساند [۱۴].

تراکتورهای بدون کابین و سیستم تعلیق از نظر میزان ارتعاش و اثرات آن بر بدن راننده با دیگر وسائل جاده‌ای به طور گسترده‌ای مقایسه گردیده‌اند [۴]. صدمات مکانیکی اجزاء بدن به دلیل کرنش ایجاد شده در بافتهای آن ناشی از ارتعاش و عدم هماهنگی اثرات فیزیولوژیکی بوجود آمده با فرکانس و دیگر جنبه‌های ارتعاشی می‌باشد [۵]. تراکتورهایی که دارای سیستم تعلیق نمی‌باشند، شدت ارتعاش بیشتری نسبت به تراکتورهایی که مجهز به سیستم تعلیق می‌باشند، دارند. این مشکل وقتی بحرانی تر می‌شود که فرکانس ارتعاش‌های آن حدود ۱۲-۱ هرتز باشد زیرا که فرکانس‌های طبیعی بدن انسان نیز در این محدوده قرار دارد. به عنوان مثال فرکانس طبیعی ستون فقرات و تنه انسان به ترتیب برابر با ۴-۵ هرتز و ۸-۴ هرتز می‌باشد [۱۵ و ۱۷].

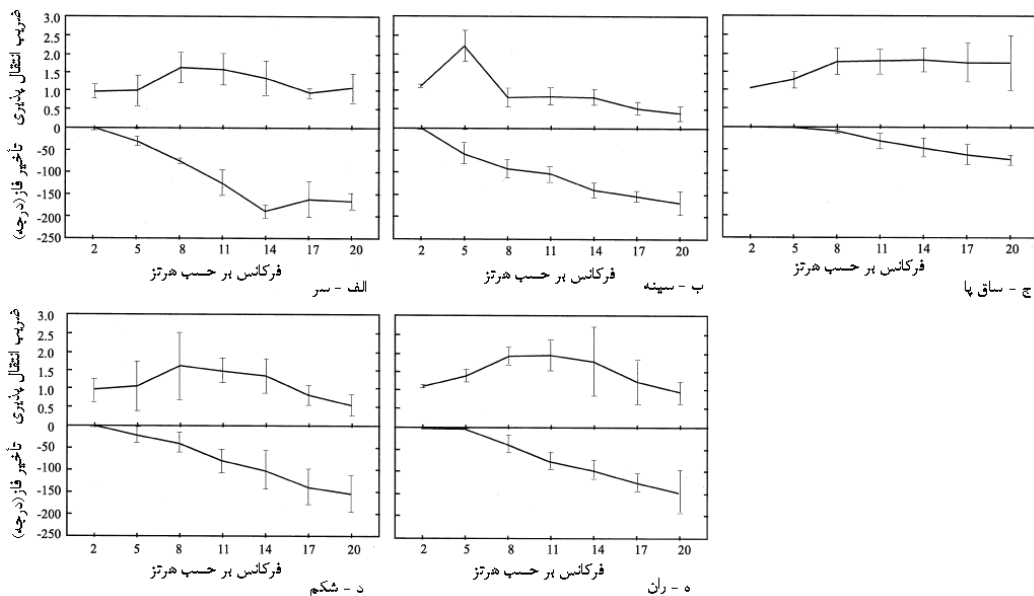
مطالعات زیادی روی رانندگان تراکتور و یا اندازه‌گیری ارتعاش و مقایسه آن با استانداردهای جهانی ISO و بررسی اثرات ارتعاش بر روی سلامتی رانندگان انجام گردیده است [۸، ۹ و ۱۶]. فیملی و گریفن (۱۹۹۰) جرم ظاهری (نسبت نیرو و شتاب در فرکانسهای خطی) هشت نفر نشسته روی صندلی را در جهت‌های جلو و عقب و جانبی با ارتعاشات تصادفی اندازه‌گیری نمودند [۷]. هولملوند و همکاران (۲۰۰۰) جرم ظاهری ۱۵ مرد و ۱۵ زن را در معرض ارتعاشات سینوسی اندازه‌گیری نمودند. این محققین مد ارتعاشی اول را برابر ۰/۷ هرتز برای هر دو جهت و مد ارتعاشی دوم را برابر ۲ هرتز در جهت جانبی و ۲/۵ هرتز را در جهت جلو و عقب بدست آوردند [۱۰].

فیملی و گریفن (۱۹۸۹) مقادیر ارتعاش ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ متر بر مجذور ثانیه را در محدوده فرکانسی ۲۰-۰/۲ هرتز روی هشت ۸ نفر بررسی نمودند. این افراد به این نتیجه رسیدند که فرکانس تشدید در جرم ظاهری هر شخص با افزایش اندازه ارتعاش از فرکانس ۶ تا ۴ هرتز کاهش یافت. همچنین این روند برای فرکانس تشدید دوم نیز صادق بود [۶].

کوبو و همکاران (۲۰۰۱) رفتارهای مختلف چندین شخص را در معرض ارتعاش با فرکانس‌های ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۲۰ هرتز را به مدت ده دقیقه مورد بررسی قرار دادند. داده‌های فیزیکی و انتقال پذیری ارتعاش بدن افراد مطابق شکل ۱، اندازه‌گیری و ثبت شد. شکل ۲ تغییرات قابلیت انتقال ارتعاش پنج عضو سر، سینه، شکم، ران‌ها و پاها را با توجه به فرکانس نشان می‌دهد. اگرچه در کلیه قسمت‌ها تغییرات انتقال پذیری ارتعاش مشاهده می‌گردد اما در قسمت سینه به وضوح مشخص است که در فرکانس ۵ هرتز بیشترین مقدار انتقال‌پذیری مشاهده می‌شود. همچنین بیشترین تغییرات فاز نیز در فرکانس ۵ هرتز واقع شده است [۱۱].



شکل ۱. نحوه اندازه‌گیری ارتعاش انتقال داده شده به بدن انسان [۱۱]



شکل ۲. ضریب انتقال و اختلاف فاز پنج عضو بدن انسان. (الف. سر، ب. سینه، ج. ساق پا، د. شکم و ه. ران) [۱۱]

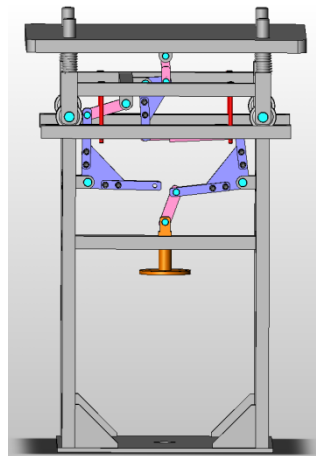
منسفیلد و گریفین (۲۰۰۰) تاثیر مقدار سطوح ارتعاش را در محدوده‌ای از فرکانس روی ۱۲ نفر بررسی نمودند. آنها مقادیر شتاب ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ را در محدوده فرکانسی ۰/۲-۲۰ هرتز بررسی نمودند. مقدار جرم ظاهری و انتقال‌پذیری ارتعاش از صندلی به قسمت‌های مختلف سطح بدن (قسمت بالا و پایین دیواره شکم، روی مهره L3 و منطقه سینه) بررسی گردید. نتایج بیانگر کاهش معنی‌دار فرکانس تشدید با افزایش مقدار ارتعاش در قسمت پایین شکم بود. فرکانس تشدید در جرم ظاهری از ۵/۴ تا ۴/۲ هرتز با افزایش مقدار شتاب از ۲/۵ تا ۰/۲۵ کاهش یافت. حرکت عمودی ستون فقرات و نشیمنگاه فرکانسهای تشدیدی حدود ۴ و ۱۰-۸ هرتز نشان دادند [۱۲].

مواد و روش های انجام پژوهش

بررسی مشکلات ناشی از صدمات مکانیکی وارد بر بدن رانندگان تراکتورهای ایران هنگام رانندگی با آن و تعیین فرکانس و شتابهای مضر برای بدن این افراد هدف اصلی این پژوهش بوده بنابراین به منظور تعیین میزان ارتعاش روی اندامهای مختلف بدن راننده در راستاهای مختلف نیاز به وسیله‌ای بود که بتواند فرکانس و شتاب تحریک معینی را در هر زمان با توجه به انتخاب کاربر در جهت‌های مختلف به صندلی تراکتور اعمال کند تا بتوان مقدار ارتعاش منتقل شده روی بدن راننده را اندازه‌گیری نمود. به همین منظور، پس از انجام مراحل اولیه طراحی فیکسچر توسط نرم افزارهای طراحی و آنالیز آن و تأیید طرح اولیه، فیکسچر مورد نظر ساخته شد.

این فیکسچر قابلیت انتقال ارتعاش در سه راستای مختصات X ، Y و Z را داشت، بنحوی که وقتی ارتعاش مورد نظر در راستای عمودی به فیکسچر اعمال می‌شد با توجه به انتخاب کاربر ارتعاش مورد نظر فقط در یک جهت، افقی، جانبی یا عمودی به صندلی تراکتور انتقال می‌یافت. این فیکسچر قابلیت کار در فرکانس‌های یک الی ۳۰ هرتز و محدوده جرم راننده ۴۰ الی ۱۵۰ کیلوگرم را داشت (شکل ۳).

به منظور تعیین مقدار ارتعاش منتقل شده از تراکتور به صندلی و راننده تراکتور از یک صندلی تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ با جرم ۱۸/۶ کیلوگرم استفاده گردید. این صندلی روی فیکسچر نصب گردید که با نشستن راننده روی آن و نصب شتاب سنج‌ها روی بدن او مقادیر ریشه میانگین مربع‌های شتاب اندازه‌گیری و ثبت گردید. شایان ذکر است که قبل از نشستن راننده روی صندلی، میزان سختی فنر آن با توجه به جرم راننده از طریق پیچ تنظیم جرم پشت صندلی، تنظیم شد (شکل ۴).



شکل ۳. فیکسچر صندلی تراکتور برای ارتعاش راننده تراکتور در راستای طولی، عرضی و عمودی



شکل ۴. صندلی تراکتور مدل ۲۸۵ نصب شده روی فیکسچر

از بین رانندگان تراکتور، سه نفر با جرم‌های ۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم برای انجام آزمایش انتخاب شدند. افراد نباید تحت فشار روانی و یا هنگام انجام آزمایش مضطرب باشند؛ بنابراین چند لحظه به صورت آزمایشی در معرض ارتعاش قرار می‌گرفتند تا شوک و استرس‌های ناشی از تغییر ناگهانی وضعیت آن‌ها برطرف و سپس داده‌برداری آغاز می‌گردید. همچنین هنگام انجام آزمایش به یک نقطه ثابت رو به روی خود نگاه می‌کردند و با توجه به این که وضعیت نشستن شخص و آرایش پاها و دست‌های فرد روی جرم ظاهری بدن تأثیر دارد، دست‌ها و پاهایشان را در وضعیت ثابتی قرار می‌دادند تا شرایط آزمایش برای هر سه راننده یکسان باشد.

در این پژوهش شتاب سنج‌ها روی اندام‌های در معرض ارتعاش چون ساق پاها، ران‌ها، نیم‌تنه پایینی، کمر، نیم‌تنه بالایی، گردن، سر و دست‌های راننده نصب شدند و آزمایش‌ها در نه فرکانس مختلف ۲، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۷ و ۲۰ هرتز و چهار شتاب تحریک ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر مجذور ثانیه انجام گرفت که با تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از این آزمایش‌ها توسط نرم افزارهای MATLAB و SPSS مقادیر شتاب و فرکانس‌های غالب اندام‌های مختلف بدن رانندگان تراکتور بدست آمدند.

دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش و ثبت آن دارای قسمتهایی چون شتاب سنج‌های سه جهتی مدل (DJB Type A/120/V Serial No. 2784, 2785, 2786 & 2787) و یک جهتی مدل (A/130/V Serial No. 023 & 003)، تقویت‌کننده، کمپرسور هوا و نرم افزار پردازش سیگنال PULSE Lab Shop Ver. 8 ساخت شرکت Brüel & Kjær می‌شد که قابلیت اندازه‌گیری و اعمال ارتعاش در محدوده فرکانسی ۰-۴۰۰۰ هرتز را دارا بود (شکل ۵).



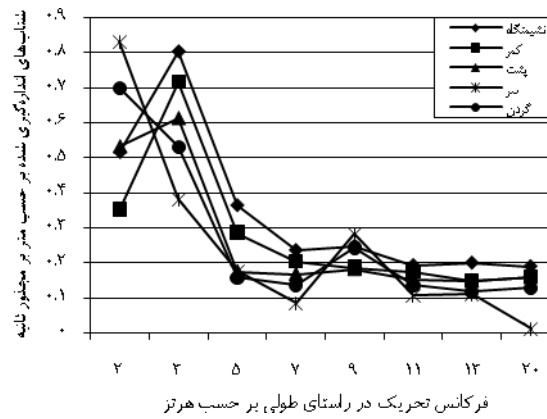
شکل ۵. قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش و ثبت آن. به ترتیب از راست به چپ: شتاب‌سنج سه جهتی، شتاب‌سنج یک جهتی، دستگاه لرزاننده، تقویت‌کننده و کمپرسور هوا

تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش بر اساس استانداردهای جهانی شوک و ارتعاش‌های مکانیکی، "ارزیابی ارتعاش‌های وارد بر بدن انسان" [۳] و استاندارد جهانی ارتعاش وارد بر راننده تراکتور "اندازه‌گیری ارتعاش‌های وارد بر بدن راننده در تراکتور و ماشین‌های کشاورزی" [۱] و نیز استانداردهای جهانی آزمون صندلی "ارتعاش‌های مکانیکی، روش آزمایشگاهی برای ارزیابی ارتعاش‌های صندلی وسایل" [۲] انجام گرفت.

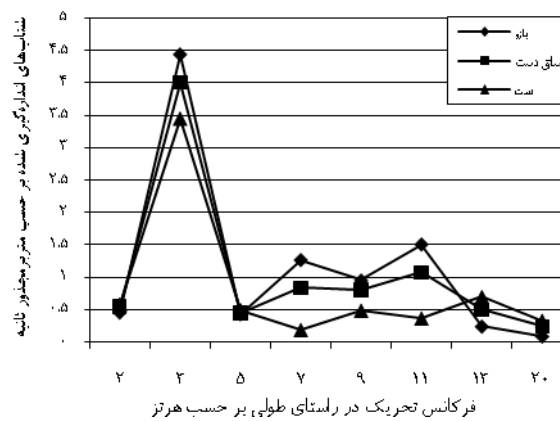
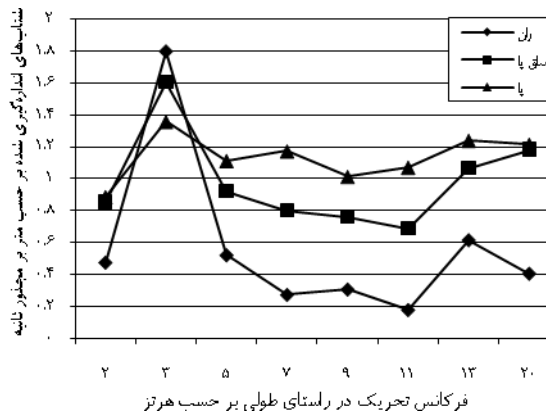
نتیجه‌گیری و بحث

جهت تعیین فرکانس‌های غالب اندام‌های بدن راننده، مقادیر میانگین شتاب اندازه‌گیری روی اندام‌های مختلف بدن راننده در فرکانس‌های مختلف برای راستاهای مختلف طولی، جانبی و عمودی محاسبه گردید. برای این منظور، مقادیر شتاب‌های اندازه‌گیری در بازه زمانی توسط ام-فایل‌های نوشته شده در نرم افزار MATLAB، داده‌ها اندازه‌گیری شده، به بازه فرکانسی تبدیل شدند و از طریق نمودارهای حاصل از این داده‌ها، فرکانس‌های بحرانی تعیین شد. مقادیر محاسبه شده، در شکل‌های ۶ تا ۱۱ در راستاهای X، Y و Z تعیین گردید. همانطور که مشاهده می‌گردد با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ فرکانس غالب اندام‌های مختلف بدن راننده در راستای طولی در محدوده ۲-۵ هرتز رخ داده‌اند که یافته‌های این تحقیق با نتایج فیرولی و گریفین (۱۹۸۹) مطابقت دارد.

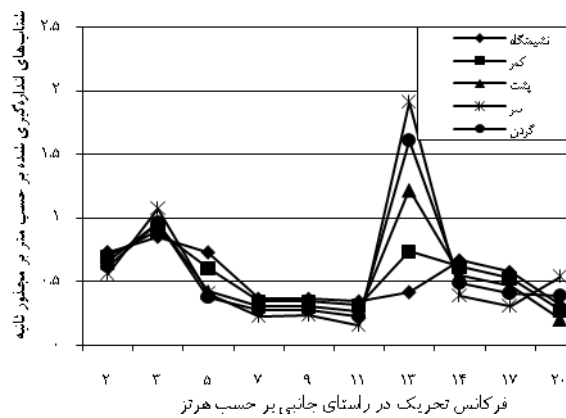
شکل‌های ۸ و ۹ شتاب‌های اندازه‌گیری شده روی اندام‌های بدن راننده را در راستای جانبی نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌گردد، بیشترین شتاب در محدوده فرکانسی ۱۴-۱۷ هرتز برای اندام‌های بدن انسان رخ داده است که نتایج بدست آمده با یافته‌های منسفیلد و گریفین (۲۰۰۰) و پاپ و هنسون (۱۹۹۲) مطابقت داشت. همچنین برای بعضی از اندام‌های بدن مانند نشیمنگاه، کمر، پشت، گردن، سر، دست، بازو و ساق دست فرکانس‌های ۴/۵ - ۲/۵ هرتز اثر غالب را داشته‌اند. بنابراین با توجه شکل‌ها می‌توان فرکانس‌های مد اول را برای این اندام‌ها برابر ۱۷-۱۴ هرتز و فرکانس‌های مد دوم را برابر ۴/۵ - ۲/۵ هرتز در نظر گرفت.



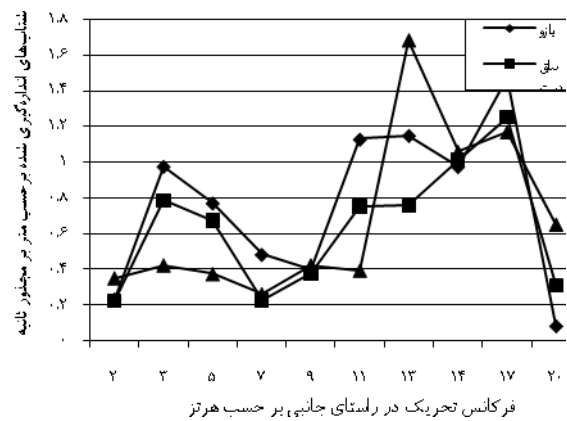
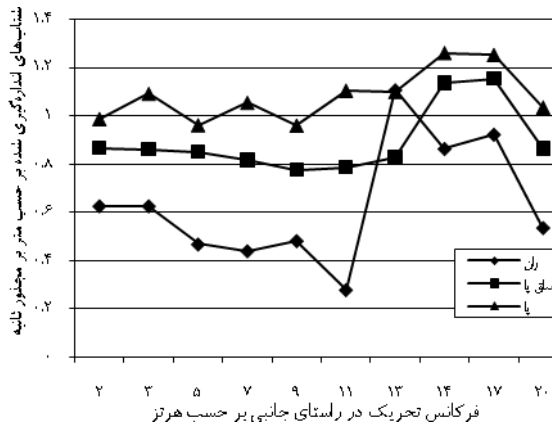
شکل ۶. میانگین‌های شتاب اندازه‌گیری شده روی نشیمنگاه، کمر، پشت، گردن و سر راننده در راستای طولی برای فرکانس‌های مختلف



شکل ۷. میانگین‌های شتاب اندازه‌گیری شده روی دست، بازو و ساق دست، ران‌ها، پا و ساق آن در راستای طولی برای فرکانس‌های مختلف

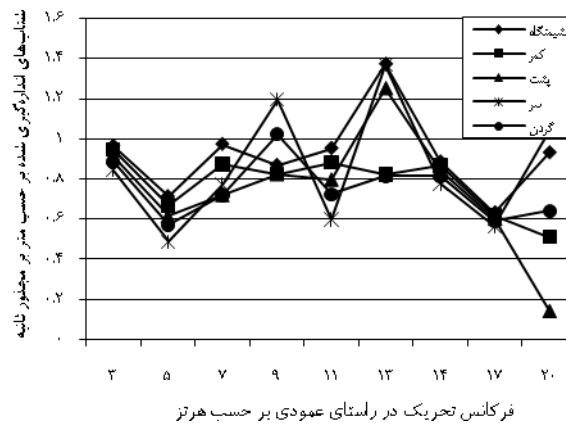


شکل ۸. میانگین‌های شتاب اندازه‌گیری شده روی نشیمنگاه، کمر، پشت، گردن و سر راننده در راستای جانبی برای فرکانس‌های مختلف

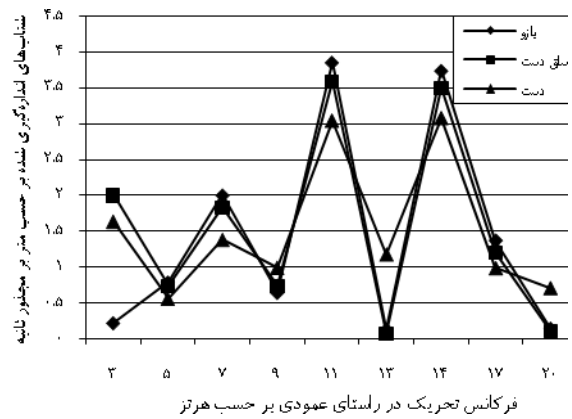
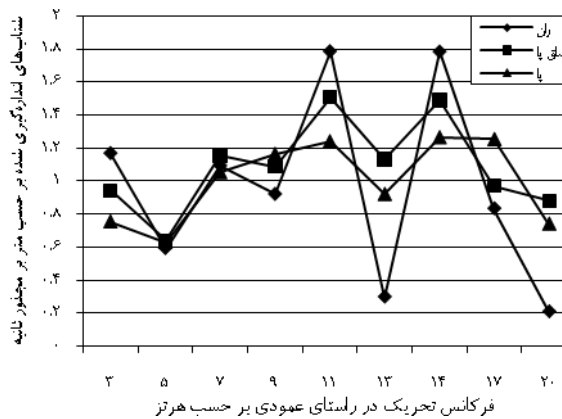


شکل ۹. میانگین‌های شتاب اندازه‌گیری شده روی دست، بازو و ساق دست، ران، پا و ساق آن در راستای جانبی برای فرکانس‌های مختلف

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ شتاب‌های اندازه‌گیری شده اندام‌های بدن راننده را در راستای عمودی نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در این اشکال نیز دو مد فرکانسی مشاهده می‌گردد که بیشترین شتاب اندازه‌گیری شده در محدوده فرکانسی ۱۷-۱۳ هرتز برای اندام‌های بدن انسان در مد اول رخ داده است. همچنین در مد دوم شتاب‌های غالب در فرکانس‌های ۱۱-۹ هرتز بوجود آمده است. نتایج حاصل از این نمودارها نیز با یافته‌های کوبو و همکاران (۲۰۰۱) تطابق داشت. شایان ذکر است که این نتایج در بعضی از موارد با نتایج بدست آمده اختلاف دارند که ناشی از عدم در نظر گرفتن واکنش‌های غیر ارادی اندام‌های بدن در مقابل ارتعاشات و جرم راننده در محاسبات این پژوهشگران می‌باشد.



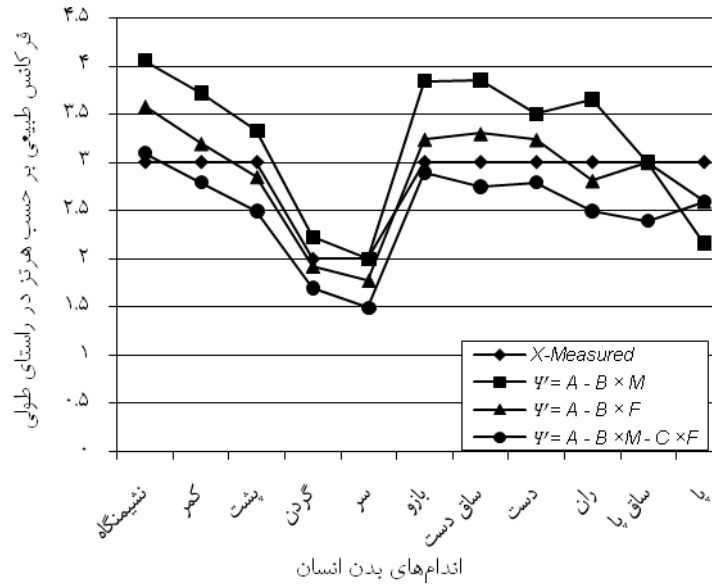
شکل ۱۰. میانگین‌های شتاب اندازه‌گیری شده روی نشیمنگاه، کمر، پشت، گردن و سر راننده در راستای عمودی برای فرکانس‌های مختلف



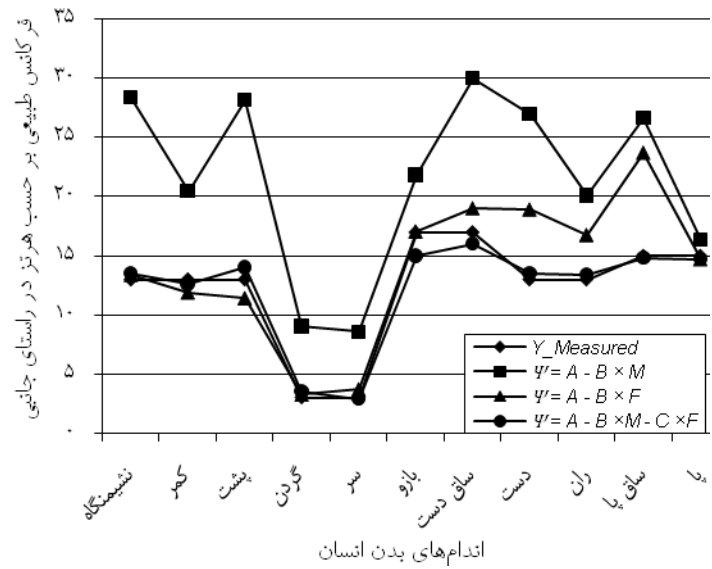
شکل ۱۱. میانگین‌های شتاب اندازه‌گیری شده روی دست، بازو و ساق دست، ران، پا و ساق آن در راستای عمودی بر حسب فرکانس‌های مختلف

چون واکنش‌های افراد در شرایط مختلف ارتعاش و فرکانس تحریک با توجه به پاسخ‌های غیر ارادی سیستم عصبی و رفتار ماهیچه‌ای بدن آن‌ها متفاوت می‌باشد و نیز خصوصیات فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی این افراد نیز تأثیر بسزایی در تعیین پارامترهای بیومکانیکی آن‌ها دارد؛ بنابراین برای محاسبه فرکانس طبیعی اندام‌های انسان فرض شد که این ضرایب تابعی از جرم راننده، فرکانس تحریک و یا هر دو عامل می‌باشند؛ بنابراین سه روش برای برآورد این مقادیر بررسی شدند و بهترین روش انتخاب گردید.

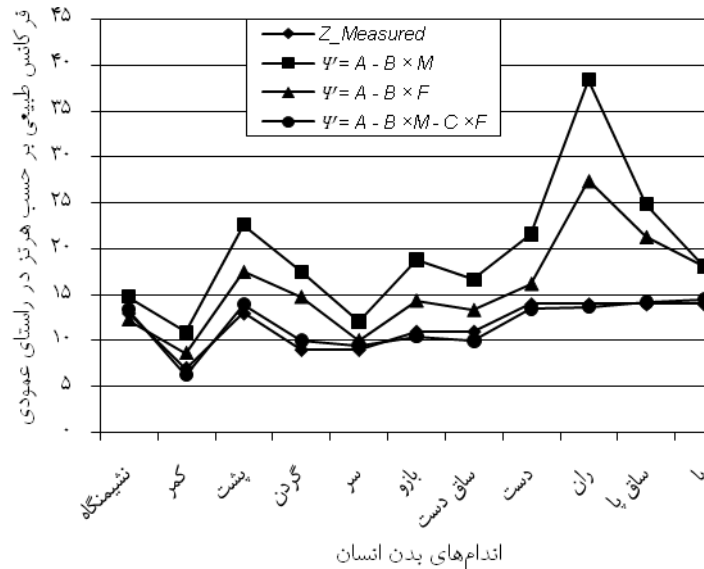
برای این منظور، پس از تجزیه و تحلیل این مقادیر با استفاده از نرم افزار SPSS، مقدار دقیق فرکانس‌های طبیعی با توجه به جرم راننده و فرکانس تحریک و یا هر دو عامل بیان گردیدند که از طریق رگرسیون خطی چند متغیره (روش استپ‌وایز و یا روش اینتر) با توجه به تغییرات جرم و فرکانس تحریک برآورد شد و در نهایت فرکانس‌های محاسبه شده با توجه به روش مورد نظر در شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ بیان گردیدند. با مقایسه فرکانس‌های محاسبه شده از طریق این روابط و فرکانس‌های مختلف تحریک مقادیر فرکانس طبیعی اندام‌های بدن انسان که در راستاهای مختلف از طریق آزمایش‌های ایستگاهی تعیین گردیدند، روش محاسبه فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن انسان از طریق جرم راننده و فرکانس تحریک، بیشترین تطابق را با نتایج حاصل از آزمایش‌های ایستگاهی داشت.



شکل ۱۲. مقایسه مقادیر فرکانس طبیعی اندازه‌گیری و محاسبه شده برای اندام‌های بدن راستای طولی



شکل ۱۳. مقایسه مقادیر فرکانس طبیعی اندازه‌گیری و محاسبه شده برای اندام‌های بدن راستای جانبی



شکل ۱۴. مقایسه مقادیر فرکانس طبیعی اندازه‌گیری و محاسبه شده برای اندام‌های بدن انسان در راستای عمودی

منابع

1. Anonymous. 1979. ISO 5008. Mechanical vibration and shock - Agricultural wheeled tractors and field machinery - Measurements of whole-body vibration at the operator. *International Organization for Standardization*.
2. Anonymous. 1992. ISO 10326-1. Mechanical vibration – Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration – Part 1: Basic requirements. *International Organization for Standardization*.
3. Anonymous. 1997. ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General Requirement. *International Organization for Standardization*.
4. Bovenzi, M. and A. Betta. 1994. Low back disorder in agricultural tractor drivers exposed to whole body vibration and postural stress. *Applied Ergonomics*. 25:231-241.
5. Chaffin D.B. and B.G. Andersson. 1990. Occupational biomechanics (2ndEdn.). John Wiley & Sons. Inc., New York.
6. Fairley, T.E. and M.J. Griffin, 1989. The apparent mass of the seated human body: vertical vibration . *Journal of biomechanics*. 22,81-94.
7. Fairley, T.E. and M.J. Griffin, 1990. The apparent mass of the seated human body in the fore-and-aft and lateral directions. *Journal of Sound and Vibration*. 139:299-306.
8. Futatsuka, M., S. Maeda, T. Inaoka, M. Nagano, M. Shono, and T. Miyakita. 1998. Whole body vibration and health effects in the agricultural machinery drivers. *Industrial Health*. 36:127-132.
9. Gerke, F.G. and D.L. Hoag. 1981. Tractor vibration at the operator's station. *Transaction of the ASAE*. 24:1131-1134.
10. Holmlund, P., R. Lundstrom, and L. Lindberg. 2000. Mechanical impedance of the human body in vertical direction. *Applied Ergonomics*. 31:415–422.

11. Kubo, M., F. Terauchia, H. Aokia and Y. Matsuokab. 2001. An investigation into a synthetic vibration model for humans: An investigation into a mechanical vibration human model constructed according to the relations between the physical, psychological and physiological reactions of humans exposed to vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 27:219-232.
12. Mansfield, N.J. and M.J. Griffin. 2000. Non-linearities in apparent mass and transmissibility during exposure to whole body vertical vibration. *Journal of biomechanics*. 33:933-941.
13. Mehta, C. R., and V.K. Tiwari. 2000. Seating discomfort for tractor operators: a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 25: 661-674
14. Mehta, C. R., M. Shyam, S. Paratap and R. N. Verma. 2000. Ride vibration on tractor implements system. *Applied Ergonomics*. 31:323-328.
15. Pope, M. H. and T.H. Hansson. 1992. Vibration of the spine and low back pain. *Clinical Orthopedics*. 279: 49-59.
16. Sorainen, E., J. Penttinen, M. Kallio, M. Rytkonen, and K. Taattola. 1998. Whole body vibration of tractor during harrowing. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 59:642-544.
17. Troup, J.D.G. 1978. Driver's back pain and its prevention – a review of postural, vibratory and muscular factors together with problem of transmitted road-shock. *Applied Ergonomics*. 9:207-214.