

بررسی میزان ارتعاشات عقب کمباین در حوزه زمان در شرایط مختلف کاری

سینا خلیل‌وندی بهروزیار^{۱*}، حسین نوید^۲، قادر کریمیان خسروشاهی^۳، مهدی رضایی^۴، محمدرضا سرمدی^۵

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

۲- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

۳- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی برق، دانشگاه تبریز

۴- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند

۵- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی برق، دانشگاه تبریز

* ایمیل نویسنده مسئول: s.khalilvandi@gmail.com

چکیده

دستگاه اندازه‌گیر افت دانه یک سیستم اندازه‌گیری تلفات دانه در کمباین است. برای اندازه‌گیری میزان تلفات، دانه ضربه‌ای به حسگر وارد کرده و یک سیگنال ولتاژ الکتریکی تولید می‌شود که متناسب با مقدار تلفات است. در حین برداشت محصول در مزرعه، کمباین در معرض ارتعاشاتی قرار می‌گیرد که عملکرد و سیگنال ولتاژ تولیدی توسط این حسگرها را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این حسگرها تمایز بین ضربات ایجاد شده توسط محصول و نوبزهای ایجاد شده در کمباین مثل ارتعاشات، یک چالش به حساب می‌آید؛ بنابراین پی بردن به مقادیر ارتعاشات در جایی که این حسگرها نصب می‌شوند بسیار مهم است. در این پژوهش برای بررسی میزان ارتعاشات عقب کمباین، از یک حسگر شتاب سه محوره دیجیتالی استفاده گردید. این حسگر در قسمت عقب کمباین JD955 ICM، نصب و مقادیر شتاب این قسمت در سه سطح سرعت پیشروی و سه سطح سرعت دورانی کوبنده در رایانه ذخیره گردید. نتایج حاصل از تحلیل آماری نشان داد، شتاب در راستای قائم بیشتر تحت تأثیر ناهمواری‌های زمین است تا متغیرهای مربوط به ماشین. وجود محصول در داخل کمباین باعث افزایش در مقادیر شتاب شد که می‌توان علت آن را پایین بودن درصد رطوبت گندم برداشت شده دانست. در سرعت دورانی کوبنده معین با افزایش سرعت پیشروی و در حالتی که کمباین در حال برداشت گندم بود، مقدار شتاب در راستای طولی افزایش پیدا کرد. از نتایج این تحقیق می‌توان در بهبود دقت و کارکرد سامانه‌های اندازه‌گیری مقدار تلفات برخط و هم‌چنین طراحی ایزولاتورهای ارتعاشی برای این سامانه‌ها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، تلفات، حسگر، شتاب سنج، کمباین

مقدمه

گندم از مهم‌ترین محصولات زراعی کشور ایران است که نقش عمده‌ای در تأمین مواد غذایی مردم بازی می‌کند. در هنگام برداشت محصول گندم توسط کمباین، به دلیل تنظیم نبودن کمباین‌ها و یا کهنه و فرسوده بودن آن‌ها، درصد قابل توجهی از دانه‌ها به صورت شکسته یا کوبیده نشده خواهند بود. اندازه‌گیری میزان تلفات در کمباین از نکات مهم در ارزیابی نحوه کارکرد آن است. امروزه برای اطلاع از میزان تلفات از حسگرهای مختلفی که در خروجی عقب کمباین نصب می‌شود، استفاده می‌گردد. این سامانه‌ها برخلاف روش‌های مرسوم اندازه‌گیری افت که نیازمند صرف وقت و تلاش زیادی هستند و همچنین بایستی چندین آزمایش در قسمت‌های مختلف مزرعه انجام گیرد، می‌توانند میزان افت کمباین را به صورت برخط^۱ و لحظه‌به‌لحظه نمایش دهند. این سامانه‌ها که دستگاه‌های اندازه‌گیر افت دانه نامیده می‌شوند، می‌توانند مزایایی همچون اندازه‌گیری تلفات بدون نیاز به توقف کمباین، نمایش دائمی میزان تلفات و انجام تنظیمات متناسب با مقدار افت موجود در کمباین، آگاهی از منشأ واقعی تلفات و انتخاب سرعت پیشروی مناسب به طوری که مقدار تلفات در حد قابل قبول باقی بماند را نیز به همراه داشته باشند. این حسگرها به دلیل حساسیت بالایی که دارند قادر به تشخیص دانه از مواد غیر دانه‌ای بوده و کار اندازه‌گیری افت دانه را انجام می‌دهند؛ اما همین حساسیت بالا باعث می‌شود تا تحت تأثیر ارتعاش موجود در کمباین در حین کار در مزرعه قرار گرفته و کار اصلی خود را که همانا اندازه‌گیری میزان افت دانه است، نتواند به خوبی و با دقت کافی انجام دهد.

برای بررسی نتایج انتقال ارتعاش از یک وسیله حمل‌ونقل حیوانات، در مطالعه‌ای سطوح ارتعاشی و فرکانس‌های تشدید یک وسیله انتقال گاوهای شیری را در حین حمل‌ونقل بررسی شد. برای اندازه‌گیری میزان ارتعاش شاسی، کف و گاو از سه شتاب سنج استفاده گردید. شتاب سنج‌های به کاررفته دارای محدوده اندازه‌گیری ارتعاش $\pm 10g$ با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز در هر سه جهت عمودی، افقی و جانبی عمل داده‌برداری را انجام می‌دادند. نتایج نشان داد میزان ارتعاش شاسی کامیون نسبت کاملاً مستقیم با سرعت کامیون دارد. حیوانات بیشترین میزان ارتعاشات را در جاده شنی و در سرعت‌های ۵۰ و ۷۰ کیلومتر در ساعت و به ترتیب به اندازه $2/23 \pm 0/27 m.s^{-2}$ و $2/27 \pm 0/33 m.s^{-2}$ در امتداد حرکت کامیون و درحالی که گاوها عمود به جهت حرکت ایستاده بودند، تجربه کردند (Gebresenbet *et al.*, 2011).

Lu *et al* (۲۰۰۸) در یک تحقیق در کشور ژاپن تأثیر میزان شوک و ارتعاشات یک کامیون حمل‌کننده میوه را با اندازه‌گیری میزان ارتعاشات با استفاده از سه شتاب سنج با ظرفیت $\pm 10g$ که در کف تریلر نصب شده و میزان شتاب را در سه جهت عمودی، طولی و جانبی اندازه‌گیری می‌نمودند، بررسی کردند. نتایج نشان داد شوک‌های واردشده به طور متناوب اتفاق افتاده و دامنه آن‌ها معمولاً بالاتر از $0/1g$ می‌باشد. در بزرگراه‌ها شوک بیشتر بر اثر وجود اتصالات فلزی در جاهایی که دو جاده به هم پیوند می‌خورند، به وجود می‌آید.

¹.Online

هم‌چنین شوک‌های به وجود آمده در راه‌های محلی بیشتر به دلیل ناهمواری راه، اتصالات فلزی، اختلاف ارتفاعات موجود در آسفالت جاده، محل عبور عابران پیاده، انحنای راه و هم‌چنین محل عبور خط آهن به وجود می‌آید.

در سه مطالعه موردی میزان ارتعاش وارده به بدن انسان در یک کارخانه تولید کامیون توسط Salmoni *et al* (۲۰۰۸) مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعه اول میزان ارتعاش منتقل شده به کل بدن کارگران تعیین شد. یک شتاب سنج سه محوره روی صندلی راننده نصب و عمل داده‌برداری در سه محور عمود بر هم و به مدت حدود ۳۰ تا ۴۰ ثانیه انجام گرفت. نرخ داده‌برداری ۱۰۰۰ هرتز و محدوده اندازه‌گیری شتاب سنج نیز ۱g بود. نتایج حاصل نشان داد که ارتعاش منتقل شده در محور Z نسبت به سایر محورها غالب بود. در مطالعه موردی دوم، تأثیر کاربرد یک سیستم تعلیق جدید روی کامیون مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق ابتدا سه کامیون بدون سیستم جدید و سپس با سیستم جدید مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اضافه کردن سیستم تعلیق جدید به هر یک از کامیون‌ها نتایج مختلفی را ارائه کرد. در مطالعه موردی سوم، یک کامیون مدل ۲۰۰۴ و یک کامیون جدید مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد مثل دو مطالعه قبلی ارتعاش در محور Z نسبت به سایر محورها غالب بود. با مقایسه ارتعاشات، معلوم شد تغییرات سرعت، تأثیر کمی روی ارتعاش کلی داشت.

Sam and Kathirvel (۲۰۰۶) مقدار ارتعاشات ماشین، منتقل شده به دست و به کل بدن را در تیلر نوع سواره و پیاده در حین خاک‌ورزی دوار در مزرعه شخم‌خورده و نخورده و حمل‌ونقل در دو نوع جاده مزرعه‌ای و آسفالت بررسی کردند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که با افزایش سرعت موتور میزان ارتعاش ماشین نیز افزایش می‌یابد. در تیلر نوع پیاده میزان ارتعاش منتقل شده به دست بیشتر از نوع سواره آن بود. درحالی‌که میزان ارتعاش منتقل شده به کل بدن و دست در تیلر نوع سواره در حین حمل‌ونقل بیشتر بود.

Sam and Kathirvel (۲۰۰۹) گزارش کردند که ایزولاتورها می‌توانند میزان ارتعاش منتقل شده به دست را در حدود ۶۰٪ تا ۵۰٪ کاهش دهند؛ که با به‌کارگیری ایزولاتورهای ارتعاشی خطر ابتلا به بیماری انگشت سفید در حالت انجام عمل خاک‌ورزی از پنج سال به نه سال و در حالت حمل‌ونقل از هفت سال به ۱۱ سال تغییر پیدا می‌کند.

Rabbani *et al* (۲۰۱۱) مشخصات ارتعاشی یک تراکتور نیمه زنجیری را با در نظر گرفتن یک مدل دینامیکی سه‌بعدی، پیش‌بینی کردند. آزمایش‌های میدانی که در آن تراکتور موردنظر روی جاده آسفالت رانده می‌شد، برای اعتبارسنجی تحلیل‌های انجام‌گرفته بر اساس معادلات حرکتی که از مدل دینامیکی به دست می‌آید، انجام گرفت. این آزمایش‌های بر روی تراکتور نیمه زنجیری که به ۱۲ شتاب سنج بر اساس روش اندازه‌گیری شتاب شش درجه آزادی (Inou, Kashima, Sakai & Ide, 1993; Mimura & Onodera, 2005)، مجهز شده بود انجام گرفت. نتایج نشان داد مقادیر RMS پیش‌بینی شده صرف‌نظر از ترکیب غلتک‌ها، مطابقت بسیار زیادی با داده‌های اندازه‌گیری شده تا سرعت 0.76 m.s^{-1} داشت؛ اما در سرعت‌های بالاتر RMS اندازه‌گیری شده افزایش زیادی را در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده از خود نشان داد.

ارتعاش منتقل شده به صندلی یک تراکتور چهارچرخ محرک که توان روی محور P.T.O آن ۹۲KW بود و به دو سیستم جدید برای کاهش ارتعاش انتقالی به صندلی راننده مجهز شده بود، اندازه‌گیری و بر اساس استاندارد ISO مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های شتاب نیز با شتاب سنج سه محوره پیزوالکتریکی انجام گرفت. نتایج نشان داد سیستم تعلیقی که در روی محور جلو نصب شده بود در اکثر موارد باعث کاهش زیادی در مقدار ارتعاش منتقل شده از صندلی در جاده‌های مختلف، با یا بدون ادوات خاک‌ورزی شد (Marsili et al., 2002).

حسین احمدیان (۱۳۹۰) در یک پژوهش میزان ارتعاش وارد شده از یک تیلر با توان ۱۳ اسب بخار به کاربر را در حین حمل و نقل در جاده آسفالت بررسی نمود. نتایج نشان داد با افزایش سرعت دورانی موتور میانگین RMS شتاب ارتعاش به‌طور کلی افزایش داشت. میزان RMS شتاب ارتعاش وابسته به جهت مختصات بوده و این مقدار به‌طور کلی در جهت عمودی بیشتر از جهات جانبی و طولی بود.

تقی زاده علی سرایی (۱۳۹۰) پژوهشی را به‌منظور بررسی پارامتری ارتعاشات حاصل از مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل با سوخت دیزل در موتور دیزلی چهار زمانه پرکینز قبل و بعد از سرویس انجام داد. اندازه‌گیری‌ها با سه شتاب سنج یک محوره انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد ارتعاش موتور در دور ۲۰۰۰rpm بیشترین مقدار خود را دارا است. همچنین بعد از سرویس موتور میانگین ارتعاش به مقدار ۱۲٪ کاهش پیدا کرد.

Zhao et al. (۲۰۱۱) یک سیستم اندازه‌گیری میزان تلفات برای کمباین با استفاده از حسگر پیزوالکتریک (PVDF) طراحی، ساخت و مورد ارزیابی قرار دارند. برای کاهش اثر ارتعاش کمباین در میزان دقت اندازه‌گیری، یک لایه لاستیکی به ضخامت سه میلی‌متر به قسمت پایینی لایه‌های محافظ حسگر اصلی چسبانده شد. ارتعاش کمباین، سیگنال ولتاژ خروجی حسگر پیزوالکتریکی را به‌صورت قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌داد، پس از تبدیل فوریه سریع (FFT) معلوم شد فرکانس این ارتعاشات کمتر از ۸۰۰ هرتز است. یک مدار برای حذف سیگنال‌های مربوط به ارتعاش و تشخیص تفاوت بین سیگنال MOG از دانه مورد استفاده محققان قرار گرفت. سیگنال ولتاژی تولید شده توسط دانه‌ها عمدتاً در محدوده ۳/۵V-۲/۰V قرار داشت در حالی که سیگنال تولیدی توسط اثر ارتعاش کمباین و همچنین سیگنال تولیدی MOG کمتر از ۱V بود. آزمایش آزمایشگاهی نشان داد که این حسگر می‌تواند تعداد دانه‌ها را با حداکثر خطای ۴/۵٪ محاسبه نماید. نتایج آزمایش‌های میدانی نیز نشان داد خطای نسبی اندازه‌گیری میزان افت با این حسگر کمتر از ۱۲٪ بود.

بنابراین پژوهشی با هدف شناسایی مشخصات ارتعاشی و همچنین مقادیر ارتعاش در قسمت عقب کمباین و محلی که دستگاه‌های اندازه‌گیر افت دانه نصب می‌شوند، انجام گردید. با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از این تحقیق، امکان پالایه کردن تأثیرات ارتعاش و نویزهای حاصل از آن روی دستگاه اندازه‌گیری افت دانه وجود دارد.

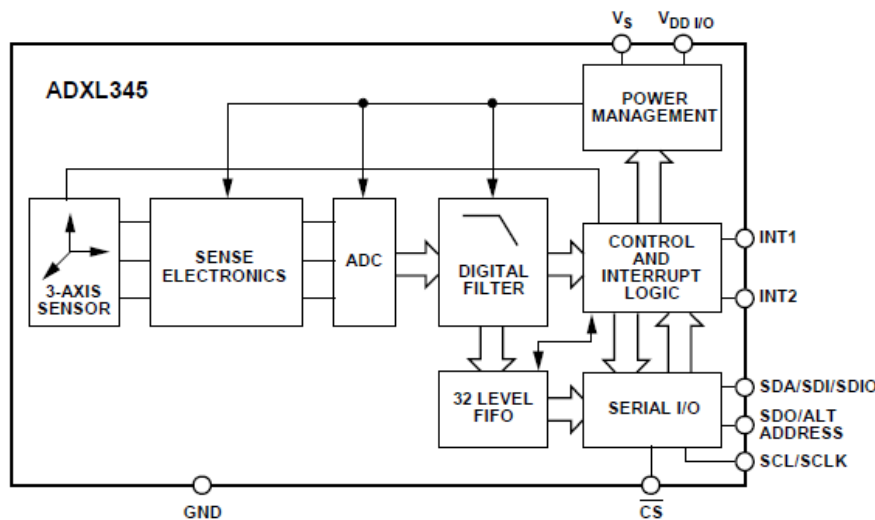
¹. Polyvinylidene Difluoride

مواد و روش‌ها

در این تحقیق داده‌های ارتعاشی در قسمت عقب کمباین در چند حالت مختلف که در ذیل تشریح می‌شوند، اندازه‌گیری و ذخیره شدند. برای اندازه‌گیری دقیق و داشتن خطای کم در آزمایش‌های سعی شد از تجهیزات مناسب استفاده گردد. این مجموعه شامل انتخاب حسگر مناسب، سیستم جمع‌آوری داده، ذخیره و پردازش داده‌ها است.

برای اندازه‌گیری ارتعاش در قسمت عقب کمباین و ثبت شتاب‌ها نیاز به شتاب سنجی بود که بتواند ارتعاشات را در سه محور اندازه‌گیری نماید. برای این کار از شتاب سنج ADXL345 ساخت شرکت Analog Devices ایالات متحده امریکا، استفاده گردید. محدوده اندازه‌گیری این شتاب سنج به صورت انتخابی در محدوده‌های $\pm 2g$ ، $\pm 4g$ ، $\pm 8g$ یا $\pm 16g$ است. میزان تفکیک پذیری این حسگر برابر با 4 mg/LSB است. حسگر ADXL345 در ابعاد بسیار کوچک $3\text{mm} \times 5\text{mm} \times 1\text{mm}$ و پکیج‌های سربی و پلاستیکی عرضه شده است. شکل شماره یک بلوک دیاگرام این حسگر را نمایش می‌دهد.

برای پردازش داده‌های دیجیتال به دست آمده از حسگر نیاز به یک میکروکنترلر بود. این میکروکنترلر علاوه بر پردازش داده‌های خروجی از حسگر، وظیفه انتقال دستورات کاربر به حسگر و همچنین داده‌های به دست آمده از حسگر به دستگاه ذخیره داده‌های شتاب را بر عهده داشت. میکروکنترلر LPC1768 برای این کار مورد استفاده قرار گرفت. این میکروکنترلر از خانواده ARM Cortex-M3 است. برای راحتی کار از برد راه‌انداز این میکروکنترلر استفاده شد.



شکل ۱- بلوک دیاگرام حسگر شتاب ADXL345

یک برنامه نرم‌افزاری در محیط IDE keil، به زبان C++ و متناسب با حسگر شتاب نوشته شد. از رابط دیجیتالی SPI برای برقراری ارتباط استفاده گردید. رایانه مورد استفاده لپ‌تاپ مدل DELL Vostro A860، با CPU به مشخصات Intel Pentium Dual



Core T2410 (2 GHz) و RAM با حافظه یک گیگابایت بود. داده‌ها پس از انتقال به رایانه در اختیار نرم‌افزار Realterm قرار می‌گرفت.

برای اندازه‌گیری سرعت دورانی محور کوبنده کمباین از یک تاکومتر دیجیتالی نوری/ تماسی استفاده گردید. تاکومتر مدل DT-2230، ساخت شرکت لوترون تایوان است.

برای انجام آزمایش‌ها از کمباین رایج John Deer 955 ساخت شرکت کمباین سازی ایران استفاده گردید که ساخت سال ۱۳۷۹ بود. داده‌های ارتعاشی در یکی از مزارع گندم استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. این مزرعه در ۱۰ کیلومتری شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی با مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 26/613'N$ و $46^{\circ} 41/607'E$ قرار داشت. آماده‌سازی زمین قبل از کاشت گندم توسط گاواهن برگردان دار و گاواهن چیزل با تیغه پنجه‌غازی انجام گرفته بود. عملیات مرحله کاشت با استفاده از یک عمیق کار ۱۱ ردیفه ساخت شرکت کشت گستر و با تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع انجام گرفته بود. بذر گندم مورد استفاده در این مزرعه، بذر اصلاح شده آذر ۲ و به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. مساحت مزرعه مورد نظر پنج هکتار بود. به منظور اندازه‌گیری میزان عملکرد، یک قاب چوبی به ابعاد 50×50 سانتی‌متر به‌طور تصادفی در چند نقطه از مزرعه قرار داده شد. مقدار عملکرد خالص در هکتار محاسبه گردید که برابر $1/9$ تن در هکتار بود. متوسط مقدار رطوبت $10/8$ درصد بود. شکل شماره ۲ تصویر کمباین مورد استفاده را نشان می‌دهد. جهت انجام آزمایش‌ها در مزرعه، مجموعه حسگر و پردازشگر در قسمت عقب کمباین JD955 ICM که در حال برداشت گندم بود، نصب گردید. محدوده تغییرات پارامترها باید طوری در نظر گرفته می‌شد که بیشترین حالت‌های رایج برداشت گندم توسط کمباین را در برمی‌گرفت. پارامترهایی که برای این تحقیق در نظر گرفته شدند، سرعت پیشروی و سرعت دورانی کوبنده بودند.



شکل ۲- کمباین و مزرعه مورد استفاده در پژوهش حاضر

جدول شماره یک، حالت‌های مختلف اندازه‌گیری‌ها را مشخص می‌کند. شکل شماره ۳ شکل شماتیک مکان نصب حسگر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- جدول حالت‌های مختلف اندازه‌گیری ارتعاش در قسمت عقب کمباین

سطوح متغیرها			متغیرها
۳	۲	۱	
۵/۵	۴	۲/۶	سرعت پیشروی (Km.h ⁻¹)
۷۸۰	۶۹۰	۶۰۰	سرعت دورانی کوبنده کمباین (RPM)
عمود برجته پیشروی (x)			امتداد اندازه‌گیری شتاب قائم (z) پیشروی (y)

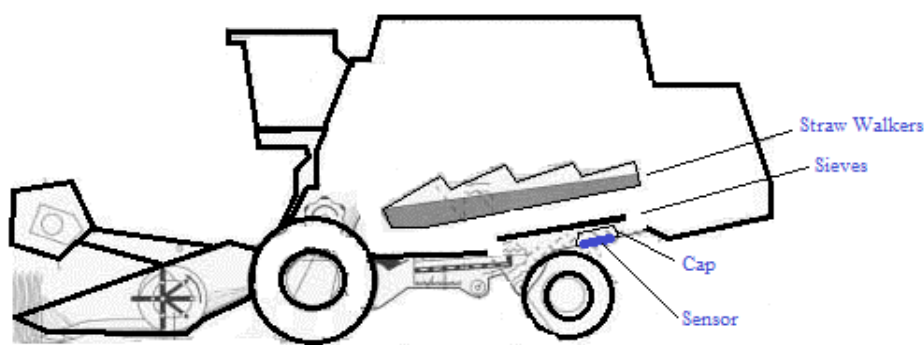
نرخ داده‌برداری ۱۰۰۰ هرتز و زمان داده‌برداری در حدود ۲۵ ثانیه برای هر حالت خاص در نظر گرفته شد. پس از انجام داده‌برداری، داده‌ها به نرم‌افزار MS Excel انتقال داده شد. سیگنال‌ها در نمودارهای زمان-شتاب رسم شدند و سپس مقادیر ریشه میانگین مربعات (RMS) با توجه به رابطه (۱) برای هر جهت مختصات به دست آمد. همچنین برای مقایسه بهتر داده‌های شتابی و داشتن یک مقدار کلی برای همه جهات اندازه‌گیری شده شتاب، برآیند شتاب‌ها در هر سه راستا با توجه به رابطه (۲)، محاسبه گردید. شکل شماره ۴ نمونه ای از داده‌های شتاب در حوزه زمان را نشان می‌دهد.

$$a_{RMS} = \sqrt{1/N \sum_{k=1}^N a_k^2} \quad (1)$$

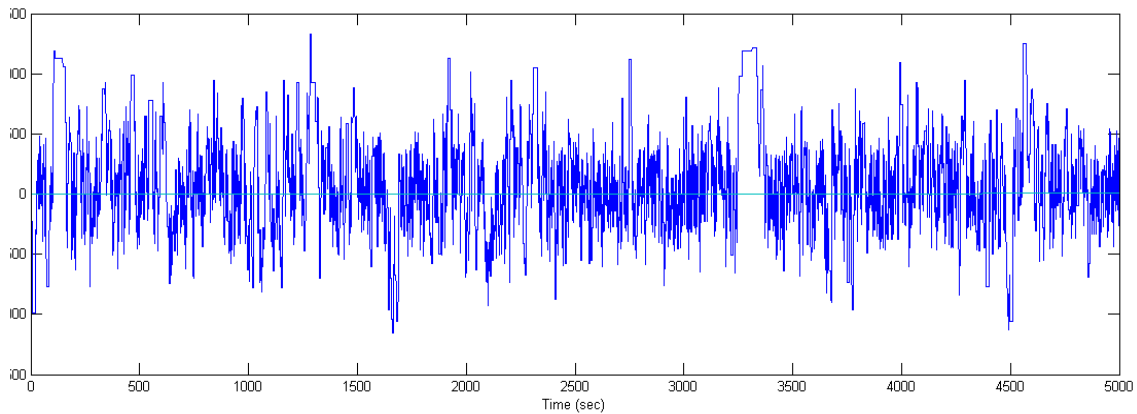
که در آن a_{RMS} مقدار ریشه میانگین مربعات شتاب، a_k ، K امین مقدار شتاب از سیگنال حوزه زمانی و N تعداد کل مقادیر شتاب می‌باشد.

$$a_t = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (2)$$

که در آن a_t برآیند شتاب و a_x ، a_y و a_z به ترتیب نشان‌دهنده شتاب در جهات x ، y و z می‌باشد.



شکل ۳- شکل شماتیک محل نصب حسگر مورد استفاده



شکل ۴- سیگنال شتاب (سرعت دورانی کوبنده ۶۰۰ rpm و سرعت پیشروی و سرعت دورانی $2/6 \text{ km.h}^{-1}$)

نتایج و بحث

جدول ۲ تجزیه واریانس مقادیر RMS شتاب را بر اساس سرعت دورانی کوبنده و سرعت پیشروی کمباین در سطح احتمال ۵٪ نشان می‌دهد.

جدول ۲- تجزیه واریانس RMS شتاب در سه راستای x، y و z

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییر
در حین برداشت				
Z	y	X		
$ns_{49.795/364}$	$ns_{3.6208/0.226}$	$*_{66.0515/216}$	۲	n
$ns_{2.6484/545}$	$ns_{79896/3386}$	$*_{174923/433}$	۲	V
$ns_{4189.01/373}$	$ns_{9119/8.014}$	$ns_{29641/257}$	۴	n×V
$231.49/483$	$1.0768/683$	$14726/688$	۱۸	خطا

* معنی دار در سطح احتمال ۵٪

ns: غیر معنی دار

با توجه به این جدول مشاهده می‌شود اثرات اصلی سرعت دورانی کوبنده و سرعت پیشروی کمباین روی مقادیر RMS شتاب در جهت جانبی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است. مقادیر سرعت دورانی کوبنده، سرعت پیشروی کمباین و اثر متقابل آن‌ها هیچ اثر معنی‌داری روی مقادیر شتاب در راستای عمودی نداشت. علت این امر را می‌توان این‌گونه ذکر کرد که مقادیر شتاب در راستای عمودی بیشتر تحت تأثیر ناهمواری‌های زمین بوده است تا کار اندام‌های داخلی کمباین و محصول داخل آن. این یافته‌ها در تضاد با یافته‌های *Salmoni et al* (۲۰۰۸) و احمدیان (۱۳۹۰) می‌باشد. یکی از علت‌های این امر را می‌توان متفاوت بودن آزمایش‌های انجام گرفته ذکر کرد. چرا که در تحقیق حاضر مقادیر شتاب در عقب کمباین در حال برداشت انجام گرفته است در حالی که در آزمایش‌های محققان مذکور به ترتیب روی کامیون و تیلر انجام گرفته است.

شکل ۵ اثر سرعت دورانی کوبنده روی مقدار RMS شتاب در جهت جانبی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، با افزایش سرعت دورانی کوبنده میزان RMS شتاب در راستای جانبی افزایش می‌یابد. این رفتار می‌تواند به دلیل افزایش شدت

ضربه‌های وارده در داخل کمباین از طرف کوبنده به محصول باشد. همچنین می‌توان یکی دیگر از دلایل این رفتار را افزایش دور موتور کمباین ذکر کرد؛ چرا که افزایش سرعت دورانی کوبنده از طریق افزایش در مقدار دور موتور کمباین حاصل می‌شود. این نتیجه با یافته‌های Sam and Kathirvel (۲۰۰۶) منطبق می‌باشد.



شکل ۵- تأثیر سرعت دورانی کوبنده کمباین روی مقدار RMS شتاب جانبی

شکل ۶ اثر سرعت پیشروی روی مقدار RMS شتاب جانبی در کمباین در حال برداشت گندم را نشان می‌دهد. در این شکل نیز همانند اثر سرعت دورانی، با افزایش میزان سرعت پیشروی مقدار شتاب جانبی افزایش یافته است.



شکل ۶- تأثیر سرعت پیشروی کمباین در حال برداشت روی مقدار RMS شتاب جانبی

برای مقایسه بهتر داده‌های شتاب به دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته و داشتن یک مقدار کلی برای همه راس‌های شتاب، مقدار برآیند شتاب با استفاده از رابطه (۲) به دست آمد. سپس با استفاده از طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اثر تیمارها بر روی مقدار شتاب برآیند و در سطح احتمال ۵٪، مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۳ تجزیه واریانس مقادیر برآیند شتاب را در دورهای مختلف کوبنده و سرعت‌های مختلف پیشروی کمباین در حین برداشت نشان می‌دهد. مطابق این جدول مشاهده می‌شود که در حین برداشت گندم توسط کمباین هیچ‌یک از تیمارها روی مقدار برآیند ارتعاش تأثیر معنی‌داری نداشته‌اند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مقادیر برآیند شتاب در حین برداشت

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۹۹۶۸۷/۷۷۷۶ ^{ns}	۲	n
۳۴۸۲۰۲/۵۰۹۳ ^{ns}	۲	V
۱۶۳۰۷۴/۳۵۶۲ ^{ns}	۴	n×V
۱۵۰۵۹۸/۲۸۳	۱۸	خطا

ns: غیر معنی‌دار

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی حاصل از پژوهش انجام‌گرفته را می‌توان در چند مورد زیر خلاصه نمود:

- ۱- تحلیل مقادیر RMS شتاب در سه امتداد محورهای مختصات و در حین برداشت گندم نشان داد شتاب جانبی با افزایش سرعت دورانی کوبنده و سرعت پیشروی کمباین افزایش می‌یابد؛ اما تغییرات این دو عامل در مقادیر شتاب راستاهای قائم و طولی هیچ تأثیر معنی‌داری ندارند.
- ۲- مقادیر سرعت دورانی کوبنده و سرعت پیشروی کمباین هیچ اثری روی مقادیر RMS شتاب در جهت عمودی نداشتند. علت این امر را می‌توان تأثیرپذیری بیشتر مقادیر شتاب در این راستا از ناهمواری‌های زمین دانست.
- ۳- تحلیل برآیند شتاب نشان داد، هیچ‌یک از تیمارها روی مقادیر برآیند شتاب در حالت برداشت کمباین تأثیر معنی‌داری نداشتند.
- ۴- با توجه به ویسکوالاستیک بودن محصولات کشاورزی و تأثیر مقدار رطوبت در ضرایب فنریت و میرایی مواد، به نظر می‌رسد مقدار رطوبت محصول در هنگام برداشت (۱۰/۸٪) در افزایش میزان ارتعاش کمباین تأثیرگذار بوده است؛ شاید اگر در رطوبت‌های بالاتر برداشت صورت می‌گرفت، از مقادیر ارتعاشات کاسته می‌شد.



منابع

- احمدیان، ح. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری، تحلیل و ارزیابی ارتعاش تراکتور دوچرخ در حالت حمل‌ونقل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
- تقی زاده علی سرایی، ا. ۱۳۹۰. بررسی پارامتری سیگنال ارتعاشات تراکتور MF399 با استفاده از سوخت‌های دیزل و بیودیزل. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- Gebresenbet, G., Aradom, S., Bulitta, F. S., & Hjerpe, E. (2011). Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport. *Biosystems Engineering*, 110(1), 10-19. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2011.05.007
- Lu, F., Ishikawa, Y., Shiina, T & Satake, T. (2008). Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan. *Packaging Technology and Science*, 21(8), 479-489. doi: 10.1002/pts.841
- Marsili, A., Ragni, L., Santoro, G., Servadio, P., & Vassalini, G. (2002). PM—Power and Machinery. *Biosystems Engineering*, 81(1), 35-47. doi: 10.1006/bioe.2001.0003
- Rabbani, M. A., Tsujimoto, T., Mitsuoka, M., Inoue, E., & Okayasu, T. (2011). Prediction of the vibration characteristics of half-track tractor considering a three-dimensional dynamic model. *Biosystems Engineering*, 110(2), 178-188. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2011.07.013
- Salmoni, A. W., Cann, A. P., Gillin, E. K., & Eger, T. R. (2008). Case studies in whole-body vibration assessment in the transportation industry—Challenges in the field. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(9-10), 783-791. doi: 10.1016/j.ergon.2007.10.002
- Sam, B., & Kathirvel, K. (2006). Vibration Characteristics of Walking and Riding Type Power Tillers. *Biosystems Engineering*, 95(4), 517-528. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.08.013
- Sam, B., & 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. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2009.04.012
- Zhao, Z., Li, Y., Chen, J., & Xu, J. (2011). Grain separation loss monitoring system in combine harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(2), 183-188. doi: 10.1016/j.compag.2011.01.016