

## ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی مکانیزم کاهنده نوفه سکوی توزین با استفاده از مبدل نیروی جرم آزاد در سامانه سنجش عملکرد نیشکر

محمد اسماعیل خراسانی فردوانی<sup>۱</sup>، رضا علیمردانی<sup>۲\*</sup> و محمود امید<sup>۳</sup>

۱، دانشجوی سابق دکتری و عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز،

۲، ۳، دانشیاران دانشکده مهندسی بیو سیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۲ - تاریخ تصویب: ۸۷/۱۲/۲۴)

### چکیده

موضوع تحقیق حاضر توسعه روشی برای سامانه‌های سنجش عملکرد نیشکر مبتنی بر وزن به منظور کاهش نوفه حاصل از اثر ارتعاشات و تکان‌های ماشین‌ها در حرکت در مزرعه است. این روش بر همانند سازی ارتعاشی سامانه معادل جرم و فنر سکوی توزین با یک مبدل نیروی اضافه مجهز به وزنه آزاد استوار است. یکسان سازی بسامد طبیعی و فاز ارتعاش این دو سامانه با محاسبه وزنه آزاد و در نهایت تصحیح سیگنال‌های سکو با تفاضل ضربی از سیگنال‌های حاصل از مبدل نیروی جرم آزاد از مجموع سیگنال‌های سکوی توزین به طور پیوسته انجام گرفت. طی دو سری آزمون در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی اثر شش سطح بسامدی شامل ارتعاشات ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ هرتز روی میز ارتعاشی و سه سطح سرعت پره‌های شبیه ساز بالابر شامل ۲/۲، ۲/۴ و ۲/۷ متر بر ثانیه و پنج سطح اضافه وزن محصول عبوری از روی سکو شامل صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ کیلوگرم بر انحراف معیار سیگنال‌های خروجی از سکوی توزین بر روی چهار تیمار شامل یک شاهد بدون تصحیح و هشت سطح تصحیح شده با ضرایب ۲، ۲/۱، ۲/۲، ۲/۳، ۲/۴، ۲/۵، ۲/۶، ۲/۷ مطالعه شد. نتایج نشان داد که در محدوده وسیعی از بسامدهای ارتعاشی، سرعت‌های مختلف بالابر و حتی در محدوده‌های اضافه بارهای متفاوت روی سکو و همچنین برای تکان‌های گذرا انحراف معیار سیگنال‌های خروجی از سکو بعد از تصحیح در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری با قبل از تصحیح داشت و بعد از تصحیح از ۰/۴ فراتر نرفت که نشان دهنده دقت بالای آن است. همچنین بهترین ضریب تصحیح برای حالت بدون بار ۲/۲ و برای حالت عبور محصول ۲/۴ به دست آمد. استفاده از این تکنیک به دلیل ساختار ساده و دقت بالا کاملاً کاربردی است و مزیت مهم دیگر آن این است که در محدوده بسامدهای کمتر از ۱۰ هرتز که نمی‌توان از فیلترهای آنالوگ یا دیجیتال به دلیل امکان حذف سیگنال‌های مفید استفاده نمود، این تکنیک به خوبی جواب گو است.

**واژه های کلیدی:** سنجش عملکرد، کاهنده نوفه، نیشکر، فیلتر، مبدل نیروی جرم آزاد

### مقدمه

ممکن می‌شود. اطلاعات حاصل از سامانه سنجش عملکرد پایه و اساس توصیه‌ها و کمک‌هایی به تولید کننده جهت مدیریت موثرتر نهاده‌هایی چون کود و دیگر مکمل‌های خاک و همچنین بهینه‌سازی و سودآوری بخش‌های منتخب مزرعه است. سامانه‌های سنجش عملکرد ابزار مستقیمی را برای محقق یا کشاورز فراهم می‌کند تا بازخورد حقیقی مدیریت مزرعه را دریافت کند. این اطلاعات همچنین می‌تواند جهت ارزیابی لزوم عملیات با نرخ متغیر برای نهاده‌هایی مانند کود، سم، حشره‌کش و مکمل‌های دیگر خاک استفاده شود. سامانه‌های سنجش عملکرد تاکنون برای محصولاتی چون غلات، کتان، سیب زمینی، چغندر قند، گوجه فرنگی، انگور و بادام به طور محدود تجاری شده اند. این سامانه‌ها به طور معمول دارای دقت بین ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشند.

از آنجا که وجود تغییرات در عملکرد محصول در سطح مزرعه امری پذیرفته شده است، کشاورزی دقیق نیازمند استفاده از سامانه‌های سنجش عملکرد<sup>۱</sup> است تا مقدار تغییرات عملکرد در سطح مزرعه را به دست آورد. سامانه‌های سنجش عملکرد، ابزاری سریع و جدید هستند که ماشین‌های برداشت را قادر می‌سازد عملکرد محصول را به طور مستمر اندازه گیری کنند. از این اطلاعات جهت تهیه نقشه تغییرات عملکرد استفاده خواهد شد. با کمک این نقشه‌ها اندازه‌گیری عملکرد محصول در هر نقطه‌ای از مزرعه و مدیریت مستقل بخش‌های کوچک در آن

E-mail: rmardani@ut.ac.ir

\* نویسنده مسئول

1. Yield Monitoring System

از سال ۱۹۹۶ کارهای تحقیقاتی متعددی به منظور طراحی سامانه سنجش عملکرد نیشکر انجام شده است. روش‌های غیرمستقیم بر پایه تعیین فشار روغن هیدرولیک محرک نقاله بالابر و تیغه برش اولیه، تغییرات جریان هیدرولیک و سرعت ماشین (Wendte et al., 2001; Cox et al., 1998) یا استفاده از یک صفحه کج شونده که در منتهی الیه بالابر در محل سقوط قلمه‌ها نصب می‌شد و از نیروی ضربه ناشی از سقوط قلمه‌ها عملکرد محاسبه می‌گردید استفاده شده است (Wendte et al., 2001). Pierossi & Hassuani (۱۹۹۷) از یک تریلر حمل نی مجهز به مبدل نیرو استفاده نمود ولی تحقیقات به سمت استفاده از روش مستقیم وزن نمودن روی کمباین میل نموده است. افرادی چون Benjamin et al. (۲۰۰۱)، Pagnano & Magalhaes (۲۰۰۱) و Cerri & Magalhaes (۲۰۰۵) از این روش جهت تعیین جریان جرمی محصول نیشکر استفاده نموده‌اند. در بیشتر مقالات ارائه شده یا از نوع فیلتر استفاده شده یا از فیلترهای آنالوگ پایین گذر فعال یا غیر فعال برای حذف اثر نوفه حاصل از ارتعاشات و تکان‌های ماشین روی سیگنال‌های خروجی از مبدل‌های نیرو استفاده شده است ولی به دلیل عدم امکان حذف اثر نوفه در فرکانس‌های پایین‌تر از ۱۰ هرتز با فیلترهای پایین گذر خطاهای گزارش شده بیش از ۱۰٪ می‌باشد (Cerri & Magalhaes, 2005). سامانه استفاده شده در این پژوهش از نوع اندازه‌گیری مستقیم جرم محصول با استفاده از مبدل نیرو در محل بالابر کمباین نیشکر است و به منظور حصول دقت مناسب مبدل سازگار تشخیص نوفه جهت فیلتر نمودن نوفه حاصل از ارتعاشات و تکان‌های ناگهانی ساخته و ارزیابی شده است.

هر نوع مبدل نیرویی که بر روی کمباین در حال حرکت نصب شده باشد، در معرض ارتعاشات با بسامد مختلف ناشی از کار موتور، بالابر، موتورهای هیدرولیک، دیگر اجزاء متحرک و تکان‌های تصادفی ناشی از حرکت کمباین بر سطح ناصاف زمین خواهد بود. سامانه سنجش عملکرد باید قادر به حذف یا کاهش اثر نوفه حاصل از این ارتعاشات از سیگنال‌ها باشد تا دستیابی به جریان جرمی دقیق محصول تحقق یابد. جهت اندازه‌گیری جریان جرمی محصول روی یک ماشین که در مزرعه حرکت می‌کند، جهت کاهش اثر نوفه حاصل از کار ماشین روی حسگر به یک فیلتر پایین گذر<sup>۱</sup> موثر یا الگوریتم تصحیح احتیاج است تا سیگنال عملکرد بهبود یابد. البته استفاده از این نوع فیلترها باعث حذف بعضی تغییرات عملکردی در فاصله‌های کوتاه

می‌شود که مطلوب نیست (Pelletier, 2001).

ارتعاشات ماشین و تکان‌های مربوط به سطح ناصاف مزرعه معمول‌ترین منابع تولید نوفه در سامانه سنجش عملکرد می‌باشند. در این تحقیق تمرکز بیشتر بر نوفه حاصل از ارتعاشات ماشین و تکان‌های ناگهانی است. ارتعاشات ماشین یکی از پارامترهای مهم و غیرقابل اجتناب در تجهیزات مزرعه است. هر حسگری که روی کمباین نصب می‌شود باید قابلیت تحمل و پایداری در مقابل ارتعاشات را داشته باشد. همچنین سامانه تحصیل داده هم باید قادر به ارائه داده‌های قابل استفاده از خروجی حسگر باشد. اثر ارتعاشات بسته به نوع حسگر متفاوت است. مبدل‌های نیرو خصوصاً با توجه به ماهیت اندازه‌گیری نیرو به ارتعاش حساس‌اند. تکان‌های تصادفی و حرکت هارمونیک ماشین که در اثر ارتعاشات ایجاد می‌شوند، باعث ایجاد تغییرات متناظر در خروجی مبدل‌های نیرو می‌گردند. کاربرد تکنیک‌های فیلترینگ در بر طرف کردن نوفه حاصل از ارتعاشات احتیاج به داشتن اطلاعاتی از پارامترهای ارتعاشی ماشین شامل محدوده و بزرگی ارتعاش دارد. استفاده از آنالیز طیفی تبدیل فوریه<sup>۳</sup> روش مفیدی جهت تعیین توان و محدوده بسامد ارتعاشات ماشین است. Wagner & Schrock (۱۹۸۹) و Mostofi, & Godwin (۲۰۰۷) به منظور تعیین نرخ داده برداری و پارامترهای طراحی فیلتر از آنالیز طیفی تبدیل فوریه استفاده کرده‌اند. به منظور حذف نوفه حاصل از ارتعاشات و دیگر منابع الکتریکی در سامانه‌های سنجش عملکرد از فیلترهای آنالوگ هم استفاده شده است. (De Baerdemaeker et al., 1985; Pringle et al., 1993; Schrock et al., 1995)

فیلترهای دیجیتالی در حقیقت نوعی میانگین‌گیری پیشرونده<sup>۴</sup> با ضرایب وزنی هستند که بسته به نوع فیلتر طراحی شده ضرایب تعیین می‌شوند. ساده‌ترین نوع فیلتر پایین گذر دیجیتال همان میانگین‌گیری پیشرونده بدون اعمال هیچ ضریب وزنی است، هرچه تعداد داده‌های میانگین‌گیری شده با توجه به فرکانس داده‌برداری بیشتر باشد فیلتر قادر به حذف فرکانس‌های بزرگتری است. از این شیوه به دلیل سادگی در بسیاری از تحقیقات به منظور حذف اثر نوفه حاصل از ارتعاشات استفاده شده است (Cerri & Magalhaes, 2005; Mostofi, & Godwin, 2007).

سه حالت اساسی در برخورد با نوفه سیگنال باید در نظر گرفته شود:

اولین و ساده‌ترین از نظر امکان حذف، نوفه‌ای است که

3. Fourier Transform-Based Spectral Analysis  
4. Moving Average Technique

1. Mass Flow Rate  
2. Low Pass Filter

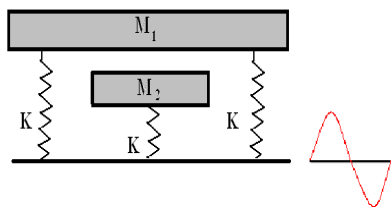
### مواد و روش‌ها

تئوری، اجزاء و خصوصیات سامانه سنجش عملکرد استفاده شده در این تحقیق بشرح زیر می‌باشد.

**پایه تئوری تکنیک پیشنهادی:** هر سامانه ارتعاشی را می‌توان به طور ساده به عنوان یک سامانه جرم و فنر در نظر گرفت. با مدل کردن سکوی توزین شامل دو مبدل نیروی اصلی و مبدل نیروی سوم با وزنه آزاد (حسگر تشخیص نوفه) به عنوان دو سامانه ارتعاشی جرم و فنر یکی با دو فنر (مبدل نیرو) با ضریب  $K$  و جرم  $M_1$  و دیگری با یک فنر (مبدل نیروی سوم) با ضریب  $K$  و جرم  $M_2$  مشخص است که برای یکسان نمودن بسامد طبیعی این دو سامانه باید  $M_2$  نصف  $M_1$  باشد (شکل ۱) (Thomson & Dahleh, 1998).

$$F_n = \left[ \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2K}{M_1}} \right]_1 \equiv \left[ \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_2}} \right]_2 \Leftrightarrow M_2 = \frac{1}{2} M_1 \quad (1)$$

که در آن  $F_n$  بسامد طبیعی،  $K$  ضریب فنریت مبدل‌های نیرو بر حسب (N/m)،  $M_1$  جرم چهارچوب و صفحه توزین و  $M_2$  جرم وزنه آزاد روی مبدل نیروی سوم بر حسب (Kg) است.



شکل ۱- مدل ارتعاشی سکوی توزین

حال پس از تنظیم جرم مبدل نیروی آزاد اگر کل سامانه ارتعاش کند، این دو سامانه با بسامد یکسانی مرتعش خواهند شد به طوری که نمودارهای زمان-مکان هر دو سامانه هم فاز می‌گردد ولی دامنه سیگنال‌های مبدل نیروی سوم به دلیل اینکه جرم حس شده توسط مبدل نیروی سوم نصف مجموع جرم حس شده از دو مبدل نیروی اصلی است. نصف خروجی سکوی توزین خواهد بود.

در زمان برداشت، سکوی توزین در معرض تغییرات متناوب جرم محصول عبوری است. به دلیل اثر این عامل بسامد طبیعی یا به عبارتی پهنای باند تابع تبدیل، متناسب با ریشه دوم  $1/(M + \Delta m)$  تغییر می‌کند و در نتیجه مقدار انرژی اضافه شده به سیگنال به دلیل ارتعاشات یا ضربه تغییر خواهد و بسامد طبیعی طبق رابطه (۲) تغییر خواهد کرد. در این حالت به ضریب تصحیح بزرگتری نیاز است (Thomson & Dahleh, 1998).

خارج از محدوده بسامدی عملکرد سامانه قرار می‌گیرد که با استفاده از یک فیلتر آنالوگ یا دیجیتال مناسب (پایین گذر، بالا گذر یا باند گذر) قابل حذف است (Pelletier, 1998 ; Pelletier & Upadhyaya, 1999 ; Porat, 1997).

دوم نوفه‌ای است که در محدوده بسامدی مطلوب اتفاق می‌افتد. در این حالت با فیلتر نمودن ساده، اطلاعات مفید هم حذف شده که این مطلوب نیست. بنابراین لازم است به منظور حذف اثر این نوفه از حسگری که همبستگی بالایی با نوفه و همبستگی پایینی با سیگنال مطلوب دارد استفاده شود. اگر بتوان یک مبدل نوفه با این خصوصیات ساخت، به طور موثری نوفه مربوطه قابل حذف است. در مجموع در این حالت کانالی که از طریق آن نوفه به سیگنال‌های مطلوب اضافه می‌شود از حساسیت بالایی برخوردار است. اگر کانالی که نوفه از طریق آن منتقل می‌شود در طول زمان ثابت بماند (یعنی تابع تبدیل به طور معنی‌داری تغییر نکند) می‌توان با استفاده از یک فیلتر تطابقی وینر<sup>۱</sup> نوفه را حذف نمود (Pelletier, 2001).

حالت سوم وقتی است که کانال نوفه دارای تابع تبدیل متغیر باشد. در این حالت تنها فیلتر سازگار حذف نوفه<sup>۲</sup> قادر به حذف اثر آن خواهد بود (Widrow & Stearns, 1985). Pelletier (۲۰۰۱) با استفاده از یک حسگر شتاب سنج روشی را برای حذف اثر تکان‌های تصادفی ناشی از حرکت ماشین از سیگنال‌های مطلوب با استفاده از فیلتر سازگار حذف نوفه ارائه داد. این فیلتر با استفاده از ورودی شتاب مقدار وزن اعمالی مربوط به اثر تکان‌های تصادفی را محاسبه و سیگنال‌های خروجی از مبدل‌های نیرو را تصحیح می‌نمود. در این تحقیق یا ایده گرفتن از این پژوهش به جای استفاده از سنسور شتاب‌سنج و انجام محاسبات سنگین جهت استخراج وزن معادل ارتعاش با تبدیل فوریه، مبدلی ساخته شد که مستقیماً خروجی آن به عنوان ضریب تصحیح فیلتر سازگار حذف نوفه جهت تصحیح سیگنال‌های سکوی توزین استفاده شد.

هدف این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی مکانیزم کاهنده نوفه سکوی توزین سامانه سنجش عملکرد نیشکر است. جهت بهبود دقت سیگنال‌های خروجی از سکوی توزین، از یک مبدل نیروی اضافه با جرم آزاد به عنوان حسگر تشخیص نوفه استفاده شده است بنحوی که بسامد طبیعی جرم آزاد با سکوی توزین یکسان گردد. ارزیابی سامانه روی میز ارتعاشی و شبیه ساز بالا بر انجام گرفت.

1. Matched Wiener Filter  
2. Adaptive Noise Cancellation Filter

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{K}{M_1 + \Delta m}\right)} \quad (۲)$$

که در آن  $\Delta m$  تغییرات جرم محصول عبوری از روی سکوی توزین را نشان می‌دهد.

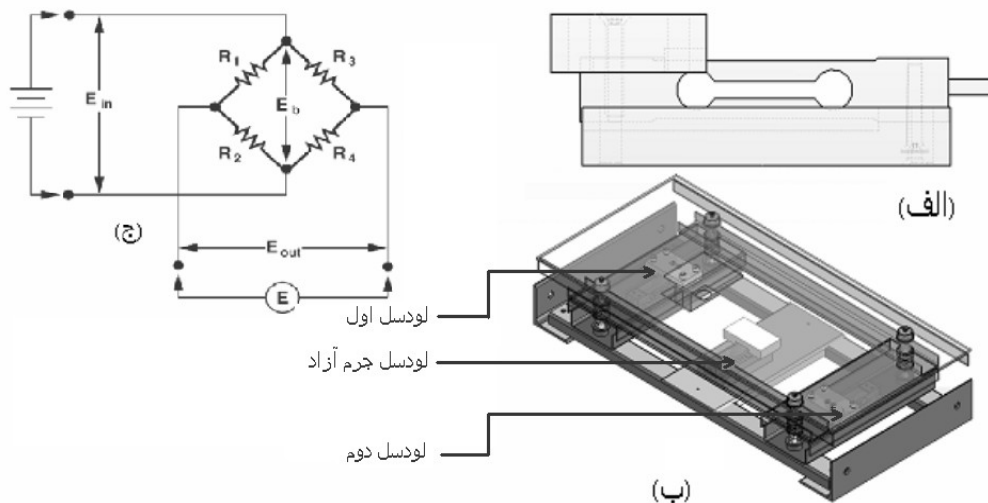
**سکوی توزین:** بالابر کمباین نیشکر از یکسری پره‌های فلزی تشکیل شده که با سرعتی در حدود ۲/۷ متر بر ثانیه از روی یک صفحه فلزی ثابت عبور می‌کنند. (این سرعت طبق اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای با استفاده از یک دستگاه تاکومتر نوری و حین برداشت اندازه‌گیری شد). این پره‌ها قلمه‌ها را به سمت واگن حمل نی هدایت می‌کنند. در شکل ۲ نمایی از سکوی توزین که بر روی شبیه‌ساز بالابر روی میز ارتعاشی نصب شده نشان داده شده است. طرح سکوی توزین از دو مبدل نیرو جهت وزن نمودن قلمه‌های نیشکر و یک مبدل نیروی مشابه با وزنه آزاد جهت تصحیح نوفه تشکیل شده است. هر یک از مبدل‌های نیرو از چهار کرنش سنج با آرایش پل وتستون جهت تقویت خروجی و تصحیح اثر دما تشکیل شده که روی یک عنصر ارتجاعی از نوع یکسرگیردار و از جنس آلیاژ آلومینیم نصب شده‌اند. هر یک از مبدل‌های نیرو دارای ظرفیت ۳۵ کیلوگرم است که بر روی یک شاسی ناودانی شکل آهنی نصب شده و بر روی آنها هم یک قاب و صفحه توزین قرار می‌گیرند. شاسی سکوی توزین از طریق یکسری پیچ به بدنه بالابر ثابت می‌شود. حداکثر وزن عبوری از روی سکوی توزین طبق محاسبات ۲۵ کیلوگرم به دست آمد ولی در اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مشخص شد که طی عملیات برداشت به طور معمول بین صفر تا ۶

کیلوگرم نی از روی سکوی عبور می‌کند. به دلیل لحاظ نمودن ضریب ایمنی و محدودیت مبدل‌های نیروی تجاری موجود ظرفیت هر یک از مبدل‌های نیرو ۳۵ کیلوگرم تعیین شد. خروجی هر یک از مبدل‌های نیرو به طور جداگانه اندازه‌گیری و ثبت شد.

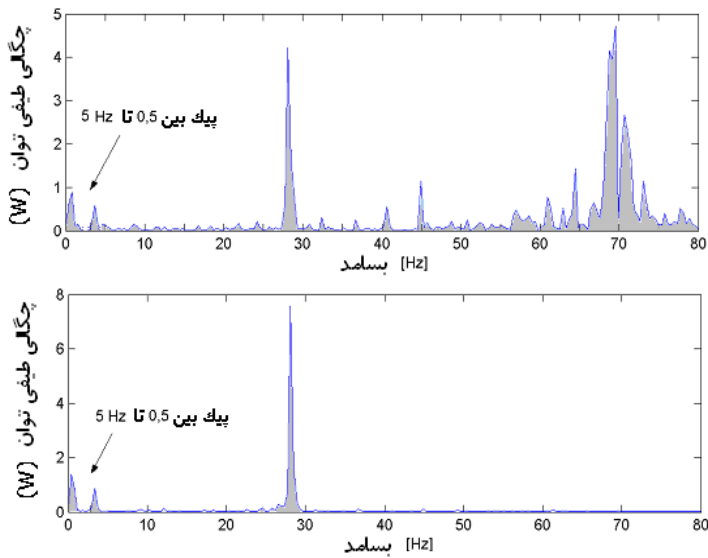
**میز ارتعاشی:** با اندازه‌گیری ارتعاشات روی بالابر کمباین در حین برداشت و اجرای آنالیز تبدیل فوریه در نرم افزار متلب<sup>۱</sup> طیف بسامدی ارتعاشات ماشین<sup>۲</sup> به دست آمد. محدوده بسامدی ارتعاشات بالابر بین صفر تا ۲۰۰ هرتز است. با محدود کردن طیف، بسامدهای کمتر از ۸۰ هرتز در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که از نمودارها مشخص است تنها نوفه ناشی از بسامدها در محدوده ۰/۵ تا ۲ هرتز مشکل ساز است چون بسامدهای بالاتر از ۱۰ هرتز را می‌توان با فیلتر پایین گذر آنالوگ یا دیجیتال حذف نمود.

به منظور اعمال ارتعاش با بسامدهای مختلف به سامانه سکوی توزین و شبیه‌ساز بالابر از میز ارتعاشی موجود در آزمایشگاه دانشگاه یونیکمپ (سائوپائولو، برزیل) استفاده شد (شکل ۴). دامنه ارتعاشی این میز ۵ میلی‌متر و بسامد آن با تغییر دور موتور محرک و با استفاده از یک دستگاه اینورتور<sup>۳</sup> بین صفر تا ۱۰ هرتز قابل تنظیم است.

1. MATLAB®, Version 6.1.0.450 Release 12.1
2. PSD (Power Spectral Density)
3. CFW09-variable frequency driver, (Vectrue Technology TM)



شکل ۲- (الف) مبدل نیرو و قطعات محافظ بیش باری، (ب) سکوی توزین و (ج) مدار پل وتسون



شکل ۳- طیف بسامدی ارتعاشات در دو محل یکی بر روی سکوی توزین (بالا) و دیگری بر روی چارچوب بالابر (پایین)



شکل ۴- (الف) میز ارتعاشی و (ب) شبیه ساز بالابر

سنج و القایی استفاده شد.

۱- حسگر شتاب سنج: به منظور تعیین طیف بسامدی میز ارتعاشی و سکوی توزین در دوره‌های مختلف موتور محرک، دو حسگر شتاب سنج، یکی در مرکز میز ارتعاشی به منظور تعیین فرکانس ارتعاشات در محل میز ارتعاشی و دیگری در محل سکوی توزین برای تعیین دامنه و فرکانس ارتعاش در محل سکو به طور ثابت نصب شد. این دو حسگر ارتعاش در راستای دو محور  $x$  و  $y$  را در گستره  $\pm 10g$  با حساسیت  $mV \times V_s/g$  ۲۰ اندازه‌گیری می‌کنند. ارتعاشات اندازه‌گیری شده از این دو حسگر تنها در دامنه ارتعاش متفاوت بودند. نتایج اندازه‌گیری‌ها در بخش نتایج به تفصیل ارائه شده است.

۲- حسگر تشخیص سرعت پره: به منظور اندازه‌گیری

شبیه ساز مکانیسم بالابر: به دلیل عدم امکان نصب بالابر اصلی روی میز ارتعاشی، مدلی نمونه از بالابر در آزمایشگاه تحقیقاتی گروه مهندسی کشاورزی دانشگاه یونیکمپ طبق شکل ۴ روی میز ارتعاشی نصب و استفاده شد. حرکت پره‌های بالابر توسط چرخ زنجیر و با استفاده از یک کاهنده تسمه و پولی از یک موتور DC با توان نامی ۲ اسب بخار تامین می‌شود. قبل از شروع آزمایش‌ها تغییراتی سامانه چرخ زنجیر روی شبیه ساز انجام شد تا برای آزمون آماده شود. دور موتور و در نتیجه سرعت حرکت پره‌ها توسط یک دستگاه اینورتور قابل تنظیم است.

اندازه‌گیری سرعت پره‌ها و بسامد میز ارتعاشی: در آزمایش‌های انجام شده دو پارامتر سرعت حرکت پره‌های شبیه ساز بالابر و بسامد میز ارتعاشی متغیرهای مستقل هستند. به منظور تعیین و اندازه‌گیری این پارامترها از حسگرهای شتاب

1. ADXL210, Accelerometer Sensor, semiconductor Company

وزن ثبت شده توسط سکو همواره کمتر از ۱۰ Hz است، به منظور کاهش نوفه‌های ناخواسته کلیه کانال‌ها با اعمال فیلتر پایین گذر ۱۰ Hz داده برداری شدند. در همه آزمون‌ها پس از اتمام، داده‌های ثبت شده توسط سامانه تحصیل داده به صورت فایل با فرمت ASCII ذخیره و در نرم افزار Excel فراخوانی شدند. در شکل ۵ شماتیک اجزا و نحوه اتصال سامانه آزمون آزمایشگاهی نشان داده شده است.

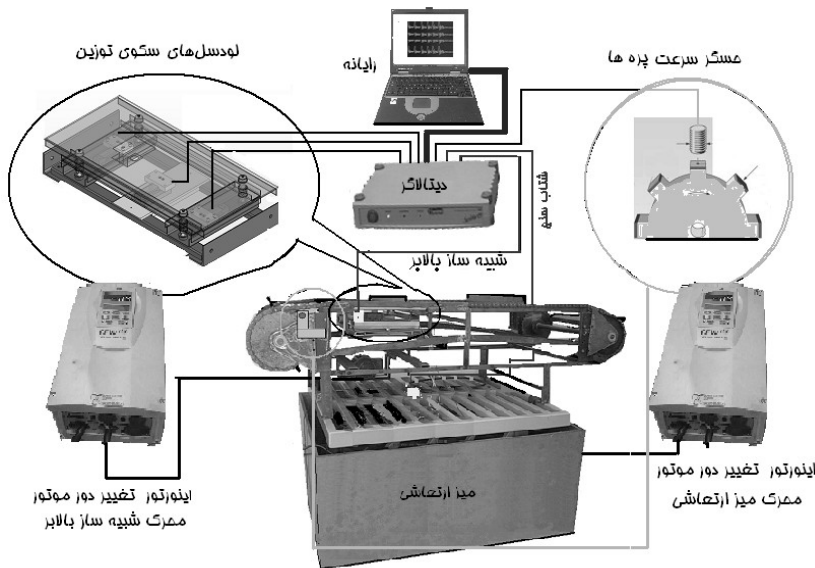
### کالیبراسیون میز ارتعاشی

برای کالیبره کردن، میز ارتعاشی با فرکانس‌های بین ۷ تا ۱۰ هرتز روی اینورتور راه اندازی و داده‌های خروجی شتاب سنج‌ها برای حداقل ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری و ثبت شدند و با انجام آنالیز تبدیل فوریه، طیف بسامدی میز و سکو برای هر دور تعیین و میز ارتعاشی کالیبره شد به طوری که سکوی توزین در فرکانس‌های مطلوب بین ۳ تا ۱۰ هرتز ارتعاش کند. شکل ۶ نمودار کالیبراسیون میز ارتعاشی را نشان می‌دهد.

سرعت پره‌های شبیه ساز بالابر از یک حسگر القایی<sup>۱</sup> با قطر ۲/۵ cm و حداکثر فاصله تشخیص ۱/۵ cm در محل چرخ محرک زنجیر استفاده شد.

**سامانه جمع آوری داده‌ها:** برای انجام آزمایش‌ها از یک دیتالاگر<sup>۲</sup> با امکان گسترش تا حداکثر ۲۵۶ کانال ورودی استفاده شد. در این دستگاه از یک کارت مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) ۱۶ بیتی با حداکثر سرعت نمونه‌گیری ۱۰۰kHz استفاده شده است. حسگرها شامل دو حسگر شتاب، سه مبدل نیرو، حسگر القایی (سرعت سنج) و همچنین حسگر القایی تشخیص پرها طبق کاتالوگ به ورودی‌های دیتالاگر متصل شدند (شکل ۵). از درگاه LPT1 جهت ارتباط رایانه نوت‌بوک با دیتالاگر استفاده شد. برنامه دیتالاگر<sup>۳</sup> در نوت بوک اجرا و تنظیمات اولیه برای کانال‌های ورودی و نحوه نمایش و ثبت داده‌ها انجام شد. از آنجا که فرکانس داده‌برداری و تغییرات

1. NPN – Proxy Sensor- 25mm/15mm, Palsetronic Company
2. Spider 8 - HBM ( Hottinger-Baldwin Measurement) Company
3. Catman ( Computer Aided Testing, Measurement and Analysis )



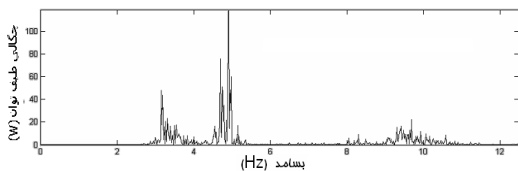
شکل ۵- طرحواره اجزا و نحوه اتصال سامانه آزمون در آزمایشگاه

دوره‌های بین ۱۰۰ تا ۵۰۰rpm و مقایسه با داده‌های یک دستگاه تاکومتر نوری در سه تکرار، میانگین سرعت خطی حرکت پرها اندازه‌گیری و نمودار کالیبراسیون آن به دست آمد. در شکل ۷ نمودار کالیبراسیون سرعت پرها نسبت به دور موتور نشان داده شده است. ضریب تبیین  $R^2 = 0.99$  نشان دهنده دقت خوب حسگر در تعیین سرعت است.

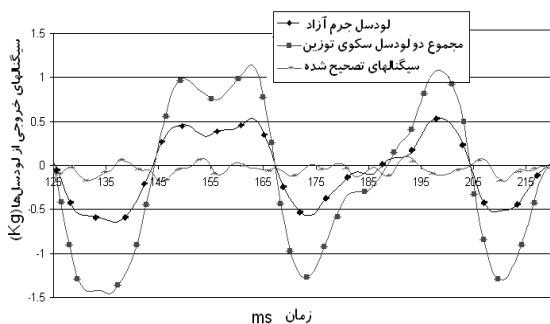
### کالیبراسیون حسگر سرعت پره

از آنجا که محدوده تغییر سرعت پره‌های بالابر کمباین حین کار بین ۱/۵ تا ۳ متر بر ثانیه بسته به حجم محصول عبوری از روی بالابر و سرعت حرکت کمباین توسط راننده قابل تنظیم است. به منظور کالیبره کردن داده‌های حسگر سرعت پره، با راه اندازی موتور محرک شبیه ساز از طریق اینورتور در

و برای حذف اثر ارتعاش روی خروجی کل سکو باید دامنه سیگنال‌های مبدل نیروی سوم را دو برابر و از مجموع خروجی دو مبدل نیروی اصلی کم کنیم. طبق شکل ۹ مقادیر زمانی سیگنال‌های هم فاز سکو و مبدل نیرو با جرم آزاد پس از ضرب در ضریب تصحیح ۲/۱ بر هم منطبق می‌شوند. با تفریق این دو سیگنال، اثر نوفه سامانه تا حد زیادی حذف شد ولی طبق نتایج آزمون‌ها، بهترین تصحیح در حالت بدون عبور محصول با ضریب ۲/۱ و در حالت عبور محصول با ضریب ۲/۴ حاصل شد که بیش از مقدار تئوری است. همانگونه که از شکل ۹ مشخص است با افزایش نوفه سیگنال‌ها، دامنه تغییرات خروجی از مبدل‌های نیرو نیز بیشتر می‌شود. هدف کاهش این تغییرات است، بنابراین بهترین معیار جهت برآورد و مقایسه این تغییرات، انحراف معیار سیگنال‌ها است. در کلیه آزمون‌ها انحراف معیار داده‌های خروجی مبدل‌های نیرو به عنوان پارامتر وابسته محاسبه شد. برای محاسبات آماری از نرم افزار MSTATC و برای رسم نمودارها از نرم افزار MS Excel استفاده گردید.

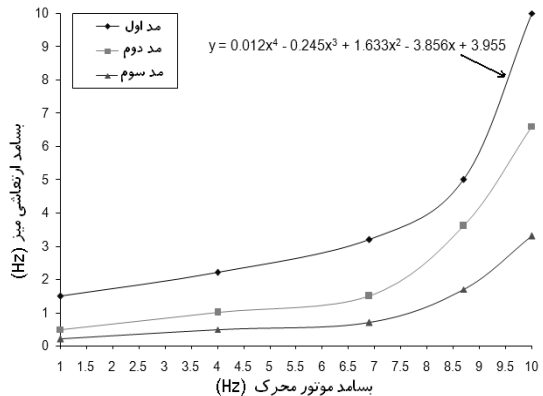


شکل ۸- مقایسه طیف بسامدی سکوی توزین (بالا) و مبدل نیروی آزاد (پایین)

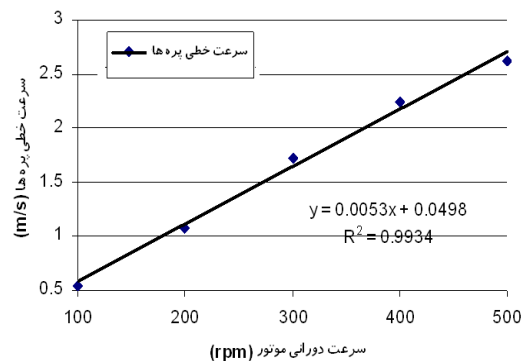


شکل ۹- خروجی نیم ثانیه سکوی توزین در سرعت ۲/۴ متر بر ثانیه و بسامد ۸ هرتز میز ارتعاشی

به منظور بررسی اثر سطوح سرعت پره‌های شبیه ساز بالابر در بسامدهای مختلف روی مقدار انحراف معیار



شکل ۶- نمودار کالیبراسیون میز ارتعاشی بر اساس اولین بسامد هر طیف



شکل ۷- نمودار کالیبراسیون سرعت پره ها نسبت به دور موتور

## نتایج و بحث

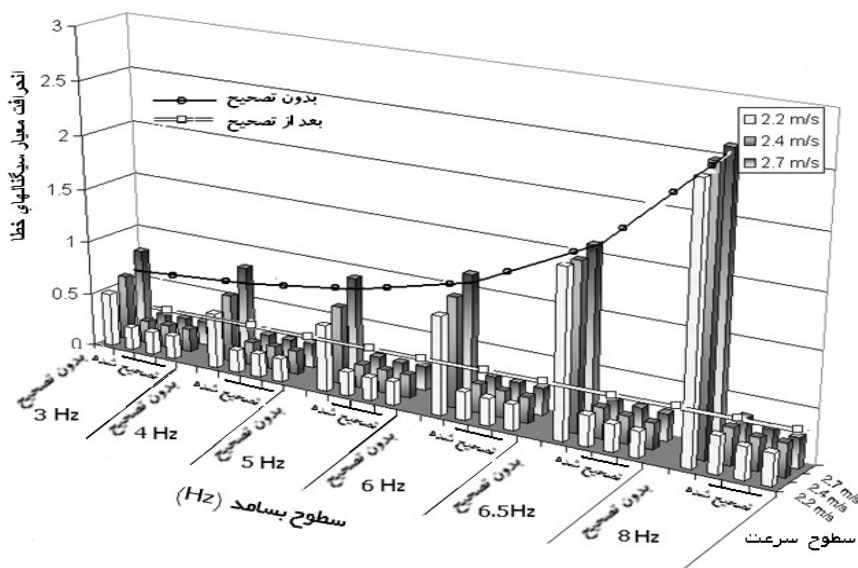
نتایج آزمون محدوده بسامدهای غالب روی سکو و مبدل نیروی جرم آزاد با نرم افزار متلب بررسی شد. محدوده بسامدی ارتعاشات بالابر بین صفر تا ۲۰۰ هرتز است، لیکن تنها فرکانس‌های زیر ۱۰ هرتز که در محدوده بسامد داده برداری است و با استفاده از فیلترهای معمول دیجیتال و آنالوگ قادر به حذف آن نیستیم مشکل ساز خواهد بود. طیف بسامدی سکوی توزین و مبدل نیروی آزاد در محدوده بسامدهای زیر ۱۰ هرتز در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بسامدهای غالب سکو و مبدل نیروی سوم با محاسبه دقیق وزنه آزاد هماهنگ شده است و سیگنال‌ها را می‌توان به منظور تصحیح از هم کم کرد. در کلیه سرعت‌ها و بسامدهای مختلف میز ارتعاشی این آزمون‌ها انجام شد و نتایج یکسانی به دست آمد.

از آنجا که طبق معادله (۱) به منظور هم فاز شدن ارتعاشات جرم آزاد روی مبدل نیروی سوم با ارتعاشات سکوی توزین (روی دو مبدل نیروی دیگر)، به طور تئوری جرم آزاد نصف جرم سکوی توزین تعیین شد. بنابراین دامنه سیگنال‌های خروجی از مبدل نیروی سوم نصف خروجی سکوی توزین است

سکو به طور متناوب متغیر است. سطوح مختلف سرعت هم اختلاف معنی‌داری با هم داشته و با افزایش سرعت، نوفه خروجی هم افزایش یافته است.

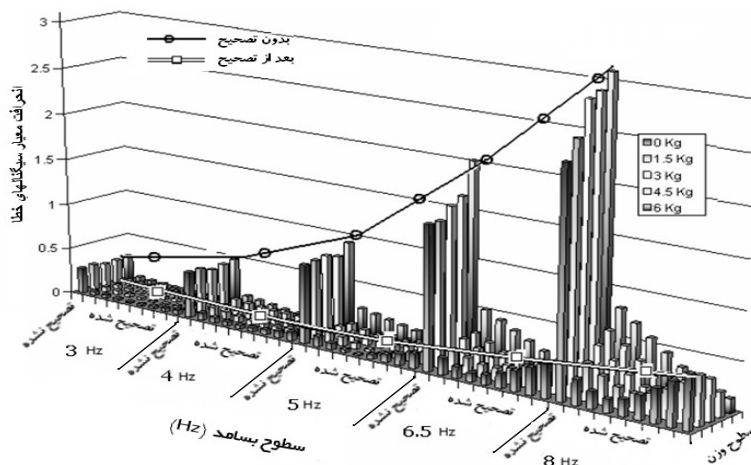
در آزمون دیگری اثر ۵ بسامد ارتعاشی مختلف شامل ۳، ۴، ۵، ۶/۵ و ۸ هرتز و ۵ وزن متفاوت محصول روی سکوی توزین شامل صفر، ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ کیلوگرم بر مقدار انحراف معیار سیگنال‌های نوفه سکوی توزین بررسی شد. با توجه به اینکه طی داده برداری‌های مزراحه‌ای مشخص شد حداکثر وزن محصول عبوری از روی سکوی توزین بین دو پره بالا بر در حین برداشت معمولاً کمتر از ۶ کیلوگرم است، سطوح وزن بین صفر تا ۶ کیلوگرم به پنج سطح تقسیم بندی گردید. در این آزمونها به منظور حصول نتایج قابل قبول‌تر تعداد تکرار از ۳ به ۴ افزایش داده شد. آزمایش‌ها در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی و در ۴ تکرار انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس و آزمون F با توجه به کوچک بودن میانگین مربعات خطا ( $MS_{Error} = 0/0005$ ) نشان داد که اختلاف کلیه فاکتورها در سطح احتمال ۱٪ بسیار معنی دار است. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۲ و نمودار در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این نمودار کلیه آزمونها با هم نشان داده شده تا روند افزایش انحراف معیار سیگنال‌های خطا با افزایش وزن و افزایش بسامد ارتعاش به خوبی نشان داده شود. همچنین به خوبی مشخص است که در کلیه آزمونها بعد از تصحیح با کلیه ضرایب تصحیح میانگین انحراف معیار خطا از ۰/۴ فراتر نرفت.

سیگنال‌های اغتشاش، اثر سه سطح سرعت ۲/۲، ۲/۴ و ۲/۷ که سرعت‌های معمول کار ماشین برداشت نیشکر است و شش سطح بسامد ارتعاشی ۳، ۴، ۵، ۶/۵ و ۸ هرتز شامل بسامدهای زیر ۱۰ هرتز، بر روی ۹ تیمار شامل یک شاهد بدون تصحیح و هشت سطح تصحیح شده با ضرایب ۲، ۲/۱، ۲/۲، ۲/۳، ۲/۴، ۲/۵، ۲/۶، ۲/۷ در سه تکرار در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی بر روی سکوی توزین انجام گرفت. به دلیل محدودیت‌های آزمایشی حداقل تعداد تکرار مورد قبول یعنی سه تکرار انتخاب گردید. نتایج نشان داد که بدون تصحیح با افزایش بسامد ارتعاشات و سرعت حرکت چرخ زنجیر، انحراف معیار سیگنال‌های خروجی سکو نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای تا حدود ۲/۵ کیلوگرم می‌یابد ولی بعد از تصحیح، انحراف معیار در کلیه آزمونها زیر ۰/۴ Kg باقی ماند. نتایج تجزیه واریانس و آزمون F با توجه به کوچک بودن میانگین مربعات خطا ( $MS_{Error} = 0/0005$ ) نشان داد که اختلاف بین کلیه فاکتورها در سطح احتمال یک درصد بسیار معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها در جدول ۱ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان طور که از جدول ۱ مشخص است بین سطوح تصحیح، قبل و بعد از تصحیح اختلاف معنی داری وجود دارد و بین ضرایب مختلف تصحیح هم ضرایب ۲/۱ و ۲/۲ اختلاف معنی‌داری با دیگر ضرایب داشتند و تصحیح بهتری را نتیجه دادند. همچنین مشخص است که بین سطوح مختلف بسامد هم اختلاف معنی‌دار بوده ولی اثر افزایش بسامد بر افزایش نوفه حاصل از ارتعاشات به دلیل طبیعی مجموعه شبیه ساز و



شکل ۱۰- اثر شش سطح بسامد و سه سطح سرعت‌های مختلف شبیه ساز بر افزایش نوفه قبل و بعد از تصحیح





شکل ۱۱- نمودار اثر ۵ سطح بسامد ارتعاشی مختلف و ۵ وزن مختلف محصول روی سکوی توزین بر افزایش نوفه قبل و بعد از تصحیح

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین انحراف معیار سیگنالهای خطا با روش دانکن (p=1%) برای اثرات سرعت، بسامد و سطوح تصحیح

		۳		۲		۱		تکرار	
		۰/۴۸۰۹ a		۰/۴۸۰۴ a		۰/۴۸۰۵ a			
سطوح تصحیح	بدون تصحیح	تصحیح (۲/۱)	تصحیح (۲/۲)	تصحیح (۲/۳)	تصحیح (۲/۴)	تصحیح (۲/۵)	تصحیح (۲/۶)	تصحیح (۲/۷)	تصحیح
		۰/۲۴۳۵ f	۰/۲۴۰۸ f	۰/۲۵۵۸ e	۰/۲۵۶۸ e	۰/۲۶۰۸ d	۰/۲۷۰۸ c	۰/۲۹۰۸ b	
بسامد میز	۳ Hz	۴ Hz	۵ Hz	۶ Hz	۶/۵ Hz	۸ Hz			
ارتعاشی	۰/۲۹۷۹ e	۰/۶۱۷۷ b	۰/۳۲۶۵ d	۰/۶۳۰۸ a	۰/۳۸۰۹ c	۰/۶۲۹۹ a			
سرعت شبیه	۲/۲۰ m/s	۲/۴۰ m/s	۲/۷۰ m/s						
ساز بالاتر	۰/۳۸۴۶ c	۰/۴۵۷۹ b	۰/۵۹۹۳ a						

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین انحراف معیار سیگنالهای خطا با روش دانکن (p=1%) برای اثرات بسامد، وزن و سطوح تصحیح مختلف

		۳		۲		۱		تکرار	
		۰/۲۷۹۴ a		۰/۲۸۲۹		۰/۲۸۰۵			
سطوح تصحیح	بدون تصحیح	تصحیح (۲)	تصحیح (۲/۱)	تصحیح (۲/۳)	تصحیح (۲/۴)	تصحیح (۲/۵)	تصحیح (۲/۶)	تصحیح (۲/۷)	
		۰/۲۳۶۸ b	۰/۱۹۱۴ c	۰/۱۵۲۴ f	۰/۱۲۶۸ ef	۰/۱۲۰۳ f	۰/۱۳۱۷ e	۰/۱۹۴۱ c	
بسامد میز	۳ Hz	۴ Hz	۵ Hz	۶/۵ Hz	۸ Hz				
ارتعاشی	۰/۲۴۲۲ e	۰/۲۵۵۵ d	۰/۲۷۲۹ c	۰/۲۸۵۶	۰/۳۴۷۴ a				
اضافه وزن روی	۰ Kg	۱/۵ Kg	۳ Kg	۴/۵ Kg	۶ Kg				
سکوی توزین	۰/۰۸۰۷	۰/۱۳۰۴	۰/۱۹۹۷ c	۰/۳۷۹۲ d	۰/۶۱۳۷ e				

ملاحظه شد که اختلاف میانگین انحراف معیار خطا با ضریب تصحیح ۲/۱ و ۲/۴ بسیار جزئی و برابر ۰/۰۷۱۱ کیلوگرم است و این نشان می‌دهد که در نظر گرفتن ضریب ۲/۴ در هر دو حالت عبور محصول و عدم عبور محصول موجب خطای اندکی می‌گردد که قابل اغماض است.

#### نتیجه گیری و پیشنهاد

در این پژوهش تبدیلی ساخته و ارزیابی گردید که تنها به نوفه سامانه حساس بوده و با دقت نوفه را حس کرده و از

همان طور که از جدول ۲ مشخص است بین سطوح تصحیح، قبل و بعد از تصحیح اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد و انحراف معیار سیگنالهای خطای سکو بعد از تصحیح به طور میانگین ۱۲٪ انحراف معیار قبل از تصحیح شد. در این آزمون ملاحظه شد که به منظور دستیابی به بهترین تصحیح با بالارفتن وزن محصول عبوری از روی سکوی توزین بایستی ضریب تصحیح از ۲/۱ به ۲/۴ افزایش یابد و با ضریب ۲/۴ بهترین تصحیح حاصل شد. با این وجود

سیگنال‌های مفید استفاده نمود، این تکنیک به خوبی جواب گو است. استفاده از این تکنیک به طور معنی داری باعث کاهش اثر نوفه‌ها می‌شود. در کنار استفاده از فیلترهای پایین‌گذر برای حذف اغتشاش‌های با بسامد بالا، به منظور حذف اثر بسامدهای پایین، استفاده از این سامانه در خطوط تولید کارخانه‌ها که نیاز به وزن نمودن پیوسته محصول روی نقاله‌ها یا بالابرها دارند کاملاً امکان پذیر است.

### سپاسگزاری

از شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی و دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه یونیکمپ کشور برزیل که در همه مراحل مشوق و کارگشا بودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

سیگنال اصلی حذف می‌کند. نتایج آزمون‌ها در آزمایشگاه روی میز ارتعاشی و شبیه ساز بالابر نشان داد که در محدوده وسیعی از بسامدهای ارتعاشی، سرعت‌های مختلف بالابر و حتی در محدوده‌های از اضافه بارهای متفاوت روی سکو و همچنین برای تکان‌های گذرا انحراف معیار سیگنال‌های تصحیح شده سکو از ۰/۴ فراتر نرفته و پایداری خوبی دارد. همچنین بهترین ضریب تصحیح برای حالت بدون بار ۲/۱ و در حالت عبور محصول ۲/۴ به دست آمد. با این حال با در نظر گرفتن یک ضریب تصحیح برای هر دو حالت انحراف معیار سیگنال‌های خطا باز هم در محدوده زیر ۰/۴ باقی می‌ماند. استفاده از این تکنیک به دلیل ساختار ساده و دقت بالا کاملاً کاربردی بوده و دیگر مزیت مهم آن این است که در محدوده بسامدهای کمتر از ۱۰ هرتز که نمی‌توان از فیلترهای آنالوگ یا دیجیتال به دلیل امکان حذف

### REFERENCES

- Benjamin, C.E., Mailander, M.P. & Price, R.R. (2001). Sugar Cane Yield Monitoring System. *ASAE*, St. Joseph. Paper No. 011189. 9p.
- Cerri, D.G.P., & Magalhaes, P.G. (2005). Sugar Cane Yield Monitor. An *ASAE Meeting Presentation* Paper No. 051154.
- Cox, G., Harris, H. & Cox, D. 1998. Application of Precision Agriculture to Sugar Cane. In: P.C. Robert *et al.* (Ed) In *Proceeding of 4th International Conference on Precision Agriculture*, July 19-22, 1998. St. Paul: ASA-CSSA-SSSA. P. 753-765.
- De Baerdemaeker J., Delcroix, R. & Lindemans, P. (1985). Monitoring the grain flow on combines, *Agri-Motion, ASAE*. pp. 329-338.
- Mostofi, M.R. & Godwin, R.G. (2007). Investigations on Performance of a Continuous Mass Flow Rate Measurement System for Potato Harvesting, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 06 031. Vol. IX.
- Pagnano, N.B. & Magalhaes, P.G. (2001). Sugarcane Yield Measurement. Faculdade De Engenharia Agricola – Unicamp – Campinas – SP, Brazil 13083-970. In *Proceeding of 3rd European Conference on Precision Agriculture*, Pp, 839-844. Montpellier, France.
- Pelletier, M.G. (1998). *Development of a tomato load/yield monitor*. Ph.D. diss. Univ. of California, Davis, CA (Diss. Abstr. Int. No. pending).
- Pelletier, M. G., & Upadhyaya, S. K. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. *Compute. Electron. Agric.* 32, 103-117.
- Pelletier, M.G. (2001). Adaptive signal processing for removal of impulse noise from yield monitor signals. *Journal of Cotton Science* 5, 224-233
- Pierossi, M. A., & Hassuani, S. J. (1997). Caçamba Instrumentada Para Pesagem de Cana Picada, In *Proceeding of Semin Rio Copersucar De Tecnologia Agronomica*, 7.
- Pringle J.L., Schrock M.D., Hinnen R. T., Howard K.D., & Oard, D.L. (1993). Yield variation in grain crops, *ASAE Paper*, 93-1505.
- Schrock M. D., Kuhlman, D. K. Hinnen, R.T. Oard, D.L. & Pringle, J.L. (1995). *Sensing grain yield with a triangular elevator Site Specific Management for Agricultural Systems*. 637-650. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA.
- Thomson, W., & Dahleh, M. (1998). *Theory of Vibration with Application*. 5Th. Ed. Prentice Hall. Inc.
- Wagner L.E. & Schrock (1989). Yield determination using a pivoted auger flow sensor, *Transactions of the ASAE*. 32(2),409-13,
- Wendte, K.W., Stotinka, A. & Thomas, K. K. (2001). *Sugar Cane Yield Monitor*. United States Patent No. 6272819 B1.
- Widrow, B., & Stearns, S. D. (1985). Adaptive signal processing. Prentice-Hall, *Englewood Cliffs*, NJ.