ارزیابی عملکرد دستگاه اندازه‌گیر جریان پیوسته جرمی برای ماشین‌های برداشت محصولات غده‌ای جهت کاربرد در کشاورزی دقیق

محمدرضا مستوفی سرکاری[1*] و سعید مینائی[2]

تاریخ دریافت : 89/3/24 تاریخ پذیرش : 89/10/2

1- استادیار پژوهش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج
2- دانشیار مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
* مسئول مکاتبه : Email: mostofi08@gmail.com

چکیده

این تحقیق براساس توسعه روند انتخاب، طراحی، اتصال، آزمایش و ارزیابی سامانه‌های اندازه‌گیری جریان پیوسته جرمی به منظور برداشت محصولات غده‌ای (سیب زمینی وچغندرقند) پایه گذاری شده است. برای دست‌یابی به سامانه اندازه‌گیر جریان پیوسته جرمی دقیق و پایدار بر اساس طول موثر تسمه نقاله تغذیه در ارتباط با روش‌های تغذیه محصول غده‌ای درآزمایشگاه ومزرعه، بررسی و ارزیابی‌های لازم صورت گرفت. آزمون‌ها بر اساس ارزیابی سامانه-های اندازه‌گیر جریان پیوسته جرمی غده‌ها در تسمه نقاله با استفاده از نمونه آزمایشگاهی و کمباین برداشت سیب زمینی انجام شد. دو سامانه اندازه‌گیر جرمی مورد ارزیابی عبارتند بودند از: 1- مبدل‌های یکسر درگیر متصل به مکانیزم تسمه نقاله و 2- بارسنج نگهدارنده وزن کل نقاله تغذیه و محصول. نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی نشان داد که سامانه مبدل یکسر درگیر استاندارد و بارسنج دارای کوچک‌ترین انحراف معیار از متوسط خطای آزمایشی با مقادیری به ترتیب مساوی 0/54 و 0/84 کیلوگرم بودند. در استفاده از مبدل‌های یکسر درگیر استاندارد زمانی که به دو عدد غلتک هرزگرد در تسمه نقاله متصل بودند، کوچک‌ترین انحراف معیار از متوسط خطای ازمایشی حاصل گردید. آزمایش‌ها در آزمایشگاه و مزرعه به منظور دستیابی به اثر شیب تسمه نقاله و ارتعاشات انتقالی از تراکتور به ماشین برداشت روی سامانه‌های اندازه‌گیری جرم محصول برنامه‌ریزی و انجام گردید. مطالعات مزرعه‌ای برای آزمایش و ارزیابی سامانه مبدل یک سر درگیر متصل به چرخ هرزگرد 50 میلی‌متر (قطر استاندار هرزگرد کمباین) و 125 میلی‌متر روی ماشین برداشت سیب‌زمینی زارعین انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که دقیق‌ترین عملکرد سامانه اندازه‌گیری زمانی بود که از چرخ‌های هرزگرد به قطر 125 میلی‌متر استفاده گردید و انحراف معیار متوسط خطای آزمایشی عملکرد نمونه برابر با 0/98 کیلوگرم برآورد شد. نتایج ارزیابی سامانه بارسنج با استفاده از ماشین برداشت سیب‌زمینی نشان داد که رابطه خطی خوبی بین جرم اندازه‌گیری شده و توزین‌شده نمونه‌های سیب‌زمینی وجود دارد. انحراف معیار متوسط خطای آزمایشی 0/34 کیلوگرم به دست آمد.

واژه‌های کلیدی : جریان جرمی، چغندرقند، سامانه اندازه‌گیر پیوسته، سیب‌زمینی، کشاورزی دقیق، ماشین‌های برداشت

Performance Evaluation of Mass Flow Rate Measurement System for Root Crop Harvesting to Precision Farming Application

MR Mostofi Sarkari[1*] and S[2] Minaei

[1]Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Institute Karaj, Iran
[2]Associate Prof, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
* Coresponding author : E-mail: mostofi08@gmail.com

Abstract

This project was established to develop a procedure for the selection, design, installation, test and evaluation of mass-flow rate measurement systems for root crop (potatoes and sugar beet) harvesting. To assess consistency and precision of the weighing systems incorporated with crop feed arrangements, laboratory and field studies were conducted. Studies were conducted to evaluate conveyor belt weighing systems using an experimental apparatus and commercial potato harvester. Two weighing systems were evaluated: (a) cantilever transducers fitted to the conveyor belt mechanism and (b) a load cell system supporting the total weight of the conveyor and crop. The results of laboratory studies with sugar beet/potatoes showed that the standard cantilever transducers and the load cell supporting systems gave the smallest percentage of standard deviation from the mean experimental error, with values equal to 0.54 and 0.84 kg, respectively. Experiments were conducted in the laboratory and field to assess the effects of belt inclination and extraneous vibration, transferred from the tractor to the harvester, on the measurements of crop mass. The results of field studies with potatoes using the cantilever transducers showed that the most accurate system performance was when using the 125 mm idler wheels with standard deviation of the mean experimental error of the sample yield equal to 0.98 kg. The results of barn field studies with potatoes using the load cell system showed that there was a good linear relationship between the indicated and weighed mass of the potato samples with standard deviation of the mean experimental error equal to 0.34 kg.

Keywords: Continuous weighing system, Harvesting, Mass flow measurement, Potatoes, Precision farming, Sugar beet

مقدمه

سامانه‌های اندازه‌گیر جریان پیوسته جرمی تجهیزات مهمی از کشاورزی دقیق هستند که به منظور مشخص نمودن میزان تغذیه محصول ورودی و تهیه نقشه عملکرد محصول بکار می‌روند. کشاورزی دقیق ابزاری برای مدیریت و کاهش اثر متغیرهای مزرعه برعملکرد محصول، ارتقاء عملکرد در هر بخشی از مزرعه به منظور افزایش درآمد و کاهش تنش های زیست محیطی است (ارل و همکاران 1996). در سال های اخیر تحقیقاتی با هدف بهینه سازی و استفاده از نمایشگر عملکرد محصولات مختلف، چه در مورد محصولات قابل برداشت با کمباین (برگلت و همکاران 1992 و مستوفی و همکاران 2007) و چه محصولات

دیگر (گادوین و ویلر 1997 و پرز - مونز و کالوین 1994) برداشت محصول با استفاده از ابزار و تجهیزات الکترونیکی کشاورزی دقیق انجام شد.

در محصولات غیر قابل برداشت با کمباین، نظیر چغندر قند، سیب زمینی، هویج، پیاز، گوجه فرنگی و پرتقال محدوده ای از روشهای مختلف وزنی و نمایشگر عملکرد استفاده شده است (آیرنهمر و دی‌مل 1999، هال و همکاران 1997-ب و فیشر و همکاران 1997).

نمایشگرهای عملکرد برای محصولات غده‌ای نظیر چغندرقند و سیب‌زمینی، که در مراحل اولیه توسعه هستند گزینه‌های ایده‌الی برای سوددهی در کشاورزی دقیق می‌باشند (رالینز و همکاران 1994و1995، کمبل و همکاران 1994، هافمن و همکاران 1995، والتر و همکاران 1996، هال و همکاران 1997- الف و مستوفی و همکاران 2006).

گادوین و ویلر (1997) در تحقیقی نقشه‌های عملکرد را بوسیله تعیین میزان جرم محصول برداشت شده بررسی نمودند. آنان سامانه‌ای به منظور ثبت عملکرد محصولات غده‌ای با ارزش با استفاده از روش وزنی متصل به تریلر ساختند که بر اساس تخمین دبی مواد ورودی به داخل تریلر یا دیگر مخازن نگهداری بوسیله ثبت فراوانی تجمعی جرم محصول برداشت شده کار می کرد (گادوین و همکاران 1999، مستوفی و مینایی 2009 و پنتون و لورنت 1999).

در تحقیق حاضر بررسی و ارزیابی پایه‌ای سامانه اندازه گیر جریان پیوسته جرمی، دو سامانه مبدل یکسر درگیر و بارسنج نگهدارنده برای برداشت محصولات غده ای (چغندر قند و سیب زمینی) به عنوان هدف اصلی بکار گرفته شد (مستوفی 2000).

اهداف فرعی برای رسیدن به هدف اصلی عبارتند از: ارزیابی سامانه اندازه‌گیر جریان پیوسته جرمی، کل جرم و عملکرد محصول برداشت شده و معرفی سامانه حسگر جرمی با دقت بالا و پایداری زیاد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد نیاز در این تحقیق برای مطالعه های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در زیر آورده شده اند.

مطالعه‌های آزمایشگاهی: وسیله آزمایشگاهی شامل تسمه نقاله تغذیه مجهز به موتور الکتریکی، کرنش سنجها و مبدل‌های ساخته شده برای دو طرف تسمه نقاله، وزنه‌های نیم تا پنج کیلوگرمی، محصول (سیب زمینی/ چغندرقند)، بار سنج های S شکل.

مطالعه‌های مزرعه‌ای: کمباین برداشت سیب زمینی دو ردیفه، بار سنج های مجهز به چرخهای هرز گرد به قطر 125 میلیمتر، بار سنج های کششی/ فشاری S شکل، شتاب سنج به منظور اندازه‌گیری ارتعاشات منتقله از طرف تراکتور به کمباین برداشت، ترازو با دقت صدم کیلوگرم برای اندازه گیری نمونه‌های جمع-آوری شده از مزرعه.

به منظور دستیابی به اهداف اصلی، تحقیق فوق به سه بخش اصلی زیر تقسیم شد:

1- مطالعه‌های آزمایشگاهی شامل ارزیابی عملکرد هر دو سامانه مبدل‌های یکسر در گیر و بار سنج های S شکل روی وسیله آزمایشگاهی
2- بررسی اختلال‌های بوجود آمده در مزرعه شامل ارزیابی تأثیر ارتعاشات منتقله از تراکتور و شیب ماشین برداشت بر سامانه‌های اندازه گیر
3- مطالعه‌های مزرعه‌ای شامل ارزیابی عملکرد هر دوسامانه مبدل های یکسر درگیر و بار سنج های S شکل در مزرعه

در این مقاله نتایج آزمایش‌های انجام شده در بخش‌های 1و 2 بطور مختصر، و بررسی‌های بعمل آمده در بخش 3 بصورت مشروح ارائه می‌گردد.

آزمایش‌های آزمایشگاهی

ارزیابی عملکرد سامانه های مبدل یکسر درگیر در سه تیمار اتصال به یک، دو و سه غلتک هرزگرد و

تسمه نقاله تغذیه با دو روش تغذیه محصول بصورت پیوسته و منقطع: مبدل‌های یکسر درگیر از اتصال حسگر ها با استفاده از پل وتستون روی تیر فولادی طره (یکسر درگیر) بوجود آمدند و بعد از واسنجی ایستائی و بدست آوردن ضریب آن، در دو طرف وسیله آزمایشگاهی نصب شده و دوباره واسنجی دینامیک شده و با اتصال به یک، دو و سه غلتک، میزان جرم عبوری در مساحت بین دو مبدل در واحد زمان اندازه-گیری شد.

ارزیابی عملکرد بار سنج های S شکل با محلهای متفاوت تغذیه محصول روی تسمه نقاله با دو فرم تغذیه بصورت منقطع و پیوسته: این بارسنج ها در زیر چهار پایه وسیله آزمایشگاهی متصل شدند و پس از بدست آوردن ضریب واسنجی، حرکت محصول در داخل کمباین سیب زمینی/ چغندر قند روی این وسیله شبیه‌سازی شده و انواع مختلف روش‌های تغذیه (منقطع و پیوسته) محصول روی تسمه نقاله تغذیه آزمایشگاهی مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت و میزان محصول عبوری از مساحت یک متر ثبت گردیده و عملکرد مبدل‌ها بررسی شد.

آزمایش‌های اختلال‌های به وجود آمده در مزرعه[1]

اندازه‌گیری ارتعاشات منتقله از تراکتور به ماشین برداشت در حین برداشت محصول در مزرعه با استفاده از حسگر شتاب سنج و ثبت داده‌ها در دیتالاگر، به همراه اندازه‌گیری دورهای مختلف موتور تراکتور و سرعت پیشروی با انجام تکرار مناسب منظور شده‌اند.

شبیه‌سازی تغییرات زاویه شیب تسمه نقاله تغذیه و تأثیر آن بر عملکرد سیستم‌های اندازه‌گیر جرمی در آزمایشگاه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. دو زاویه شیب 5 و 10 درجه با چهار جهت شیب در نظر گرفته شده و سرعت پیشروی محصول در این شیب‌ها محاسبه گردید.

آزمایش‌های مزرعه‌ای

ارزیابی عملکرد سامانه مبدل یکسر درگیر متصل به چرخهای هرز گرد 125 میلی متری حین برداشت محصول در مزرعه در شرایط معمولی و مرطوب خاک در مسافتهای کوتاه و طولانی مطالعه‌های مزرعه‌ای به منظور بررسی عملکرد سامانه مبدل یکسر درگیر روی کمباین برداشت سیب‌زمینی (کمباین دو ردیفه بندیکت) در مزرعه اجرا گردید. محل قرارگیری مبدل به منظور جلوگیری از چسبیدن خاک به محصول و بدست آوردن سیگنال خروجی واقعی، مهم بود. به همین دلیل، مبدل‌ها در قسمت انتهائی چرخ زنجیر دوم روی کمباین برداشت نصب گردید.

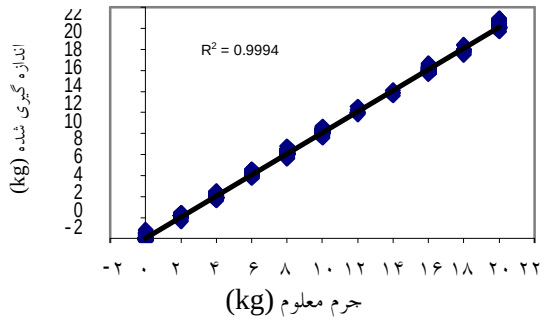
مبدل‌ها و چرخ‌های هرز گرد روی کمباین برداشت با استفاده از اتصالات مناسب مکانیکی متصل شدند. اتصالات به منظور وصل نمودن مبدل‌ها به شاسی کمباین برداشت بکار رفته و مبدل و چرخ‌های هرز گرد متصل به چرخ زنجیر را تنظیم می‌نمایند. چرخ‌های هرز گرد مابین مبدل‌ها و چرخ زنجیر دوم نصب شده‌اند (شکل 1).

شکل 1- تسمه نقاله زنجیری کمباین و طرح‌واره اتصال مبدل یکسر درگیر به چرخ زنجیر دوم کمباین برداشت

به منظور تثبیت رابطه خطی مابین نیروی واقعی و نشان داده شده توسط مبدل ها، واسنجی پایا[1] انجام گردید. آزمایش‌ها با قرار دادن وزنه‌های مشخص روی محدوده حساس چرخ زنجیر دوم کمباین برداشت (محل نصب مبدل ها) ادامه پیدا کرد. وزنه های مختلفی از 0/5 تا 5 کیلوگرم استفاده گردید تا حساسیت سامانه‌های وزنی تعیین شود. سیگنال خروجی در یک دیتالاگر

[1] Steady state calibration

(DASY Lab) به ثبت رسید. داده‌های بدست آمده تجزیه و تحلیل گردید و محاسبات با استفاده از صفحه گسترده نرم افزار اکسل به انجام رسید. شکل 2 رابطه خطی خوبی بین جرم واقعی و نشان داده شده را بدون وجود پدیده پسماند (بارگذاری و بار برداری) نشان می‌دهد.



شکل 2- همبستگی مابین وزن واقعی و نشان داده شده توسط مبدل یکسر درگیر

آزمایش‌های مزرعه‌ای با استفاده از مبدل‌های یکسر درگیر نصب شده روی چرخ زنجیر دوم کمباین برداشت اجرا شده و سیگنالها توسط مدارهای الکترونیک به رایانه همراه ارسال گردید.

داده های وزنی زیر ثبت گردیدند:

- کمباین خالی در شروع مرحله برداشت
- کمباین پر از محصول در ابتدا و انتهای زمان ثبت داده
- کمباین خالی بعد از حمل محصول به درون تریلر

عملکرد محصول با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$Y=(10\times F)/(w\times V) \quad [1]$$

$$F=W\times S \quad [2]$$

که در آن :

W= جرم اندازه گیری شده محصول در متر طول چرخ زنجیر دوم کمباین برداشت، کیلوگرم بر متر

S = سرعت تسمه نقاله، متر بر ثانیه

F = نرخ تغذیه محصول، کیلوگرم بر ثانیه

w = عرض تسمه نقاله، متر

V = سرعت پیشروی کمباین، کیلومتر بر ساعت

Y = عملکرد محصول، تن بر هکتار

عملکرد محاسبه شده محصول با استفاده از وزن محصول برداشت شده در آن مساحت تعیین گردید.

سامانه اندازه گیر پیوسته وزنی برای اندازه گیری و ثبت داده‌های عملکرد بالا و پائین محصول، رطوبت‌های مناسب و مرطوب خاک مورد آزمون و ارزیابی مزرعه‌ای قرار گرفت. چرخهای هرز گرد با قطرهای 50 میلی‌متر (قطر استاندارد هرزگرد های موجود در کمباین برداشت) و 125 میلی متر (براساس نتایج اخذ شده از آزمایش‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر) به منظور بررسی عملکرد سامانه های وزنی مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی عملکرد سامانه بارسنج‌های S شکل در محوطه مزرعه

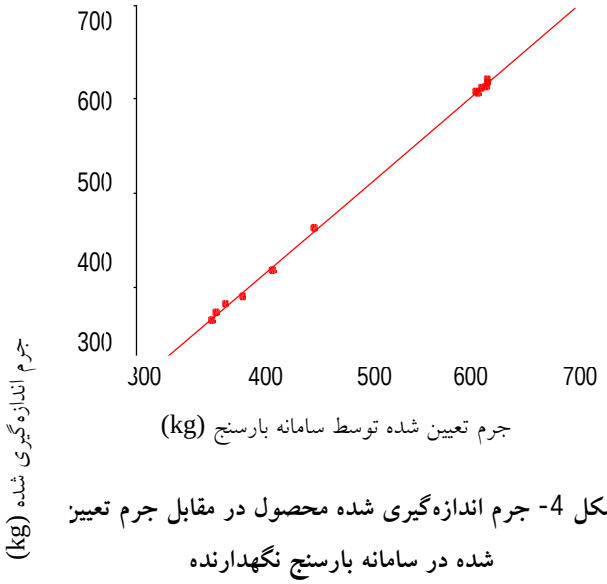
مطالعه‌ها در محوطه مزرعه به منظور بررسی عملکرد سامانه بارسنج نگهدارنده[1] با استفاده از کمباین برداشت ساماندهی گردید. دو مبدل ساخته شده و روی کمباین برداشت و در محل نصب چرخ هرز گرد آن نصب گردید(شکل 3). مکان مبدل‌ها به منظور دستیابی به سیگنال خروجی واقعی برای محصولاتی که از روی سامانه وزنی عبور می کنند، بسیار مهم است. واسنجی پایا روی تسمه نقاله عرضی کمباین برداشت انجام گردید. وزنه‌های مختلفی از 1 تا 5 کیلوگرم به منظور تعیین حساسیت سامانه حسگر وزنی بکار برده شد و پس از بدست آوردن ضریب تصحیح، خطی بودن رابطه بین آنها تثبیت گردید.

متوسط طول موثر تسمه نقاله 0/205 متر بوده که برابر با طول متوسط واقعی یک سلول از تسمه نقاله عرضی کمباین برداشت (L_A) است (L_A < 0/226 >0/193 متر).

محصول با استفاده از تسمه نقاله تغذیه به کمباین برداشت منتقل گردیده و از روی سامانه وزنی عبور نمود، سپس در کیسه های آویزان شده توسط بالابرجمع آوری گردید. نتایج این بررسی در شکل 4 نشان داده شده است.

[1] Load Cell Supporting System

شکل 3- چگونگی اتصال سامانه بارسنج نگهدارنده در کمباین برداشت سیب‌زمینی



شکل 4- جرم اندازه‌گیری شده محصول در مقابل جرم تعیین شده در سامانه بارسنج نگهدارنده

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه‌های آزمایشگاهی نشان داد که اتصال مبدل‌های یکسر درگیر استاندارد به دو عدد غلتک هرز گرد تسمه نقاله با تغذیه ممتد محصول از یک انتهای آن بهترین ترتیب قرارگیری سامانه حسگر جرمی است. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها، برآورد فاصله اطمینان را در جدول 1 نشان می‌دهد.

جدول 1- نتایج مطالعه‌های آزمایشگاهی سامانه مبدل یکسر درگیر

تیمار	متوسط طول موثر تسمه نقاله (متر)	فاصله اطمینان %95	ضریب تغییرات (%)
مبدل یکسر درگیر استاندارد متصل به دو چرخ هرز گرد	0/180	$1/41\times10^{-3}$	1/27

فاصله اطمینان 95% طول موثرتسمه نقاله تغذیه بین 0/179و0/181 متر با انحراف معیار $2/28\times10^{-3}$ متر بود.

در مقابل با استفاده از سامانه مبدل تفاضلی نتایج نشان داد که فاصله اطمینان 95% طول موثر تسمه نقاله تغذیه بین 0/131 و 0/135 متر با انحراف معیار $3/41\times10^{-3}$ متربوده است. بنابراین نتایج، سامانه مبدل یکسر درگیر استاندارد، اندازه گیری های معتبر طول موثرتسمه نقاله تغذیه را اندازه گیری نموده و با اندازه-های اصلی تطبیق داشته و تائید می نماید.

برای سامانه بار سنج های S شکل، نتایج نشان داد که درآزمایش‌هائی که تغذیه محصول بصورت پیوسته و منقطع بود تفاوت معنی‌داری بین طولهای موثر تسمه نقاله تغذیه مشاهده نگردید. نتایج حاصله پس از تجزیه و تحلیل داده ها با آزمایش t در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2 - نتایج آزمایش های آزمایشگاهی سامانه بارسنج

تیمار	نحوه تغذیه	متوسط طول موثر تسمه نقاله (متر)	فاصله اطمینان 95% (متر)	ضریب تغییرات (%)

1- تغذیه از انتهاء - سمت چپ نقاله تغذیه	پیوسته و منقطع	0/899	$8/59\times10^{-3}$	2/18
2- تغذیه از پهلو - سمت چپ نقاله تغذیه	پیوسته و منقطع	0/875	$1/01\times10^{-2}$	2/25
3- تغذیه از پهلو - کل طول نقاله تغذیه	پیوسته	0/680	$1/02\times10^{-2}$	4/72

به طوری که درجدول 2 مشاهده می شود وضعیت تغذیه محصول از یک انتهای تسمه نقاله بصورت پیوسته و منقطع نشان داد که مناسب ترین ترتیب قرار گرفتن حسگرهای جرمی با بیشترین عملکرد پایدار سامانه اندازه گیر بوده است. فاصله اطمینان 95% طول موثر تسمه نقاله $8/59\times10^{-3}$ متر با انحراف معیار0/0196 متر بوده است. همچنین تغذیه از پهلو با استفاده از سمت چپ تسمه نقاله برای حالت تغذیه پیوسته و منقطع نتایج خوبی بدست داد. فاصله اطمینان 95% طول موثر تسمه نقاله $1/01\times10^{-2}$ متر با انحراف معیار0/0224 متر بود. تغذیه از پهلو با استفاده از کل طول تسمه نقاله تغذیه در هر دو حالت پیوسته و منقطع و مداوم نیز نتایج رضایت بخشی داد. فاصله اطمینان 95% طول موثر تسمه نقاله $1/02\times10^{-2}$ متر با انحراف معیار 0/0032 متربود. تجزیه آماری مقادیر میانگین طول موثر تسمه نقاله نشان داد که کمترین ضریب تغییرات متعلق به تغذیه از انتها از سمت چپ تسمه نقاله بصورت پیوسته و منقطع بوده است. بنابراین پایدارترین وضعیت تیمار اول (تغذیه از انتها با استفاده از سمت چپ نقاله تغذیه) بوده که محصول زمان کافی ماندگاری به منظور وزن شدن روی سامانه اندازه‌گیر را داشته است.

آزمایش‌های بررسی اختلال‌های بوجود آمده در مزرعه به منظور اندازه‌گیری تاثیر ارتعاشات منتقله از تراکتور و شیب کمباین برداشت انجام شد. نتایج اندازه گیری دینامیکی (حین برداشت محصول) نشان داد که میانگین دامنه شتاب منتج از ارتعاشات ماشین $2/91 ms^{-2}$ با انحراف معیار $0/324\ ms^{-2}$ بوده است. فاصله اطمینان 95%، $\pm 0/17\ ms^{-2}$ بود. همچنین نتایج نشان داد که میانگین دامنه شتاب اندازه گیری شده که از تراکتور به کمباین برداشت منتقل شده بود، کمتر از مقدار دامنه شتاب حد کالیبراسیون ($3/16\ ms^{-2}$) با استفاده از حسگر شتاب سنج بوده است. بسامد نمونه برداری، به منظور جلوگیری از پدیدهٔ موج مشابه و محدود نمودن فاکتورهای ارتعاش متاثر از دامنه شتاب بالا، در محدوده مناسبی تعیین شدند. تاثیر ارتعاشات وقتی که از روش مناسب میانگین متحرک درآنالیز داده‌ها استفاده شود، اختلالی در سامانه‌های اندازه‌گیر وزنی ایجاد نمی‌کند.

آزمایش‌های شیب در دو اندازه 5 و10 درجه در جهت‌های مختلف چپ، راست، جلو و عقب با استفاده از تغذیه از انتها از طرف چپ تسمه نقاله انجام گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها درجدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3- متوسط سرعت موثر محصول برای شیب تسمه نقاله به طرف عقب و جلو در دو شیب

زاویه شیب	5 درجه		10 درجه	
متوسط سرعت موثر (متر بر ثانیه)	سمت عقب	سمت جلو	سمت عقب	سمت جلو
	0/633	0/673	0/579	0/713

به طوری که در جدول 3 مشاهده می‌شود سرعت موثر سیب‌زمینی‌ها روی تسمه نقاله تغذیه با شیب 5 و10 درجه متفاوت بوده است. برای شیب به عقب، سیب زمینی‌ها به دلیل اینکه روی سطح صاف تسمه نقاله پایدار نبودند، به طرف عقب تسمه نقاله می‌غلتند. سرعت موثر در شیب 10 درجه، کمتر از سرعت طبیعی تسمه نقاله ($0/618\ ms^{-2}$) بود که منتج به خطای 6/3% در تعیین دبی محصول گردید. اما در شیب 5 درجه با خطای 2/43% سرعت موثر متفاوت از سرعت طبیعی تسمه نقاله بوده که قابل مقایسه با محدوده‌ی خطای آزمایشی است. برای شیب به طرف جلو در هر دو زاویه، سرعت موثر سیب‌زمینی بیشتر از سرعت طبیعی تسمه نقاله بود که باعث ایجاد خطاهای 8/9% و 15/4% به ترتیب در زوایای شیب 5 و10 درجه گردید.

درعمل، غلتش محصول روی تسمه نقاله با استفاده از تسمه نقاله چرخ زنجیری و یا میله‌ای در کمباین‌های برداشت محصولات غده‌ای به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و یا محدود می‌گردد. در این صورت ممکن است سرعت انتقال محصول مستقل از زاویه شیب (تا 10 درجه) باشد. همچنین اگرتسمه نقاله کمباین برداشت برای اندازه‌گیری دبی محصول با میله‌های چوبی طراحی و ساخته شوند در این صورت از شتاب گرفتن محصول در اثر گرانش) زمین زمانی که کمباین برداشت روی سطح شیب‌دار قرار می گیرد جلوگیری خواهد شد.

مطالعه‌های مزرعه‌ای با استفاده از ماشین برداشت سیب‌زمینی به منظور ارزیابی و آزمون عملکرد هر دو سامانه اندازه‌گیر مبدل یکسردرگیر استاندارد و بار سنج نگهدارنده انجام گرفت. برای این منظور سامانه مبدل یکسر درگیر روی کمباین برداشت نصب گردید. موقعیت و محل نصب سامانه‌های اندازه‌گیر به منظور کاهش مواد زاید چسبنده به محصول مانند خاک و کلوخهای کوچک وسنگ خیلی مهم بود.

دقیق‌ترین و پایدارترین نتیجه زمانی حاصل شد که سامانه مبدل یکسردرگیر به چرخ هرزگرد به قطر125 میلی‌متر متصل گردید که دارای کمترین ضریب تغییرات میانگین عملکرد نمونه (1/15%) و عملکرد جامعه با استفاده از آزمون t بوده است.

دلیل این امر آن است که همه سیب‌زمینی‌ها (ضمن عبور از روی سامانه اندازه‌گیر) زمان ماندگاری کافی برای پایداری و وزن شدن بدون حرکت روی چرخ زنجیر دوم کمباین برداشت را داشتند واین ترتیب قرار گرفتن و اتصال سامانه اندازه‌گیر مطلوب بوده است. نتایج بدست آمده از مناسب‌ترین تیمار در جدول 4 نشان داده شده است.

زمانی که سرعت پیشروی و سرعت تسمه نقاله تغذیه ثابت بودند، تغییرات میزان تغذیه محصول ورودی، متاثر از تغییرات عملکرد در مزرعه شد. میانگین میزان تغذیه محصول $4kgs^{-1}$ در عملکرد پائین محصول (میانگین عملکرد اندازه‌گیری شده $3/046\ kgm^{-2}$ یا $30/46\ tonha^{-1}$) با استفاده از چرخ هرزگرد 50 میلی‌متر متصل به سامانه اندازه‌گیر بود.

جدول 4- نتایج مطالعه‌های مزرعه ای اتصال چرخ هرزگرد 125میلی متر به سامانه مبدل یکسر درگیر

تیمار	میانگین عملکرد نمونه اندازه گیری شده (کیلوگرم بر متر مربع)	میانگین عملکرد اندازه گیری شده توسط کشاورز (کیلوگرم بر متر مربع)	انحراف معیار (کیلوگرم بر متر مربع)	95% فاصله اطمینان (کیلوگرم بر متر مربع)	ضریب تغییرات (%)
چرخهای هرز گرد با قطر 125 میلی متر و عملکرد بالا	5/02	4/986	0/058	2 ± 0/02	1/15

در عملکرد بالا (میانگین عملکرد اندازه گیری شده $5/02\ kgm^{-2}$ یا $50/20\ tonha^{-1}$) که میانگین میزان تغذیه محصول $7\ kgs^{-1}$ بوده، از هرزگرد 125میلی مترمتصل به سامانه اندازه گیری استفاده شده است.دروضعیت مرطوب خاک میانگین میزان تغذیه محصول $5kgs^{-1}$ بود.

در زمان طولانی ثبت داده‌ها بعنوان مثال 5 تا 6 دقیقه، اثر ناهمگونی میزان تغذیه محصول روی میزان عملکرد محصول اندازه‌گیری شده کاهش یافت ($kg\ m^{-2}$ $5/02$ برای عملکرد بالا ثبت شد).

مقدار مواد اضافی چسبیده به محصول در شرایط خشک و تر خاک اندازه‌گیری شد. در شرایط خشک خاک، مقدار آن 300 کیلوگرم در 7916/5 کیلوگرم محصول بوده است که نشان دهنده 3/79% خطای سامانه اندازه‌گیری است، درحالی که در شرایط مرطوب خاک، 1100 کیلوگرم در 8977 کیلوگرم محصول بود و خطایی برابر با 12/25% را نشان داد. از آنجا که در شرایط مرطوب خاک، مواد اضافی به مبدل‌ها می چسبند، در ثبت جرم خطای بیشتری نسبت به شرایط خشک ایجاد شد.

میانگین عملکرد محصول به طور نمونه اندازه‌گیری شده برابر با $5/01kgm^{-2}$ بوده است. ضریب تغییرات عملکرد نمونه درمقایسه با عملکرد جامعه 1/70% بود.

مطالعه‌ها در محوطه مزرعه به منظور ارزیابی عملکرد سامانه اندازه‌گیر بار سنج روی کمباین برداشت سیب‌زمینی انجام شد. نتایج بدست آمده از جدول آنالیز داده‌ها (ANOVA) که به روش رگرسیون انجام شد نشان داد که رابطه خطی خوبی بین جرم اندازه‌گیری شده و توزین شده نمونه‌های سیب‌زمینی وجود دارد (R^2 =0/9994 و16767/615 =F). میانگین طول موثر تسمه نقاله 0/226 متر با انحراف معیار $1/54\times10^{-3}$متر بوده و ضریب تغییرات آن 0/68% به دست آمد.

ضریب تغییرات پایین نشان دهنده دقت بیشتر و پایداری عملکرد سامانه اندازه‌گیری بوده که همه سیب زمینی‌ها زمان ماندگاری مناسب برای پایداری در سلولهای روی تسمه نقاله تغذیه عرضی داشتند. در طول این زمان محصول درون سلولها بدون حرکت و در حالت ثابت بوده و از روی سامانه اندازه‌گیری عبور کرده است. ضرائب مدل ارائه شده با آزمون t مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بررسی‌ها نشان داد که فاصله از مبدا (B = -5.836) اختلاف معنی‌داری نداشته ولی شیب خط (1/012) در سطح 1% معنی‌دار بوده و به بیان دیگر مدل ارائه شده بستگی به ضریب B ندارد.

جمع‌بندی

1- سامانه مبدل یکسر درگیر استاندارد و بارسنج دارای کوچکترین انحراف معیار از متوسط خطای آزمایشی با مقادیری به ترتیب مساوی 0/54 و 0/84 کیلوگرم بودند.

2- دقیق‌ترین عملکرد سامانه اندازه گیری زمانی بود که از چرخهای هرزگرد به قطر 125 میلی متر استفاده گردید و انحراف معیار متوسط خطای آزمایشی عملکرد نمونه برابر با 0/98 کیلوگرم برآورد شد.

3- بررسی اختلال‌های بوجود آمده در مزرعه نشان داد میانگین شتاب اندازه‌گیری شده که از تراکتور به کمباین برداشت منتقل شده بود، کمتر از مقدار دامنه شتاب حد واسنجی با استفاده از حسگر شتاب سنج بوده است.

4- سرعت موثر در شیب 10 درجه به طرف عقب، کمتر از سرعت طبیعی تسمه نقاله بود که منتج به خطای 6/3% در تعیین دبی محصول گردید. اما در شیب 5 درجه با خطای 2/43% سرعت موثر متفاوت از سرعت طبیعی تسمه نقاله بوده که قابل مقایسه با محدوده ی خطای آزمایش است. برای شیب به طرف جلو در هر زاویه، سرعت موثر شیب زمین بیشتر از سرعت طبیعی تسمه نقاله بوده که باعث ایجاد خطاهای 8/9% و 15/4% به ترتیب در زوایای 5 و 10 درجه گردید.

5- ارزیابی سامانه بارسنج منضم به کمباین برداشت سیب‌زمینی نشان داد که رابطه خطی خوبی بین جرم اندازه گیری شده و توزین شده نمونه‌های سیب‌زمینی وجود دارد (R^2=0/9994). انحراف معیار متوسط خطای آزمایشی 0/34 کیلوگرم بدست آمد.

منابع مورد استفاده

Auernhammer H and Demmel M, 1999. Local yield measurement in a potato harvester and overall yield patterns in a cereal-potato crop rotation. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Canada.

Borgelt SC and Sudduth KA, 1992. Grain flow monitoring for in-field yield mapping. ASAE International Summer Meeting, Charlotte, North Carolina, June 21-24.

Campbell RH, Rawlins SL and Han S, 1994. Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE Paper, No. 94-1584, ASAE, St. Joseph, MI.

Earl R, Wheeler PN, Blackmore BS and Godwin RJ, 1996. Precision farming-the management of variability. Landwards, Winter.

Fisher S, Jaggarad K and Stafford J, 1997. Precision farming for sugar beet. Beet Review, Vol. 65 No. 4.

Godwin RJ and Wheeler PN, 1997. Yield mapping by mass accumulation rate. ASAE Paper No. 97-1061, ASAE, St. Joseph, MI.

Godwin RJ, Wheeler PN, O'Dogherty MJ, Watt CD and Richards T, 1999. Cumulative mass determination for yield maps of non-grain crops. Computers and Electronics in Agriculture 23: 85-101.

Hall T L, Backer L F, Hofman V and Smith L J, 1997(a). Monitoring sugar beet yield on a harvester. ASAE Paper No. 97-3139, ASAE, St. Joseph, MI.

Hall T L, Backer L F, Hofman V L and Smith L J, 1997(b). Evaluation of sugar beet yield-sensing systems operating concurrently on a harvester. Department of Agricultural and Biosystems Engineering, North Dakota State University, Fargo, North Dakota.

Hofman VL, Panigrahi S, Gregor BL Walter JD, 1995. In-field yield monitoring of sugar beets. ASAE Paper No 952114, Warrendale, PA.

Mostofi Sarkari MR, 2000. Mass flow rate measurement system for root crop harvesting. PhD Dissertation, Cranfield University- Silsoe- Bedfordshire- MK45 4DT.

Mostofi Sarkari MR, Godwin RG and O'Dogherty MJ, 2006. Performance evaluation of a continuous mass flow rate measurement system for root crop harvesting- World Congress, Bonn/Germany, Sep. 2006.

Mostofi Sarkari MR, Godwin RG, O'Dogherty MJ and Minaei S, 2007. Investigation on performance of a continuous mass flow rate measurement system for potato harvesting- agricultural engineering international: the CIGR E-Journal. Manuscript PM 06 031. Vol. IX. May 2007.

Mostofi Sarkari MR and Minaei S, 2009. Mass flow rate measurement system performance. Journal of Agricultural Science and Technology (JAST). 11: 259-274

Panneton B and St-Laurent G, 1999. Performance of yield monitors for root crops. ASAE/CSAE Annual International Meeting, Toronto, Paper No. DN/C/379/1016.

Perez-Munoz F and Colvin TS, 1994. Continuous grain yield monitoring. ASAE International Summer Meeting, Hyatt Regency Crown Centre, Kansas City, MO.

Rawlins SL, Campbell GS, Campbell RH and Hess JR, 1994. Yield mapping of potato. Report of US Department of Energy, Idaho Field Office Contract DE-AC07-76IDO1570. Pullman, WA: Department of Crops and Soil Science, Washington State University.

Rawlins SL, Campbell GS, Campbell RH and Hess JR, 1995. Yield mapping of potato. Proceedings of site-specific management for agricultural systems, Minneapolis, MN.

Walter JD, Backer LF, Hofman VL and Scherer TF, 1996. Sugar beet yield monitoring for site specific farming. ASAE paper No. 96-1022, ASAE, St. Joseph, MI.