نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد۴، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۳، ص ۵۶-۵۰

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 1, Spring - Summer 2014, p. 50-56

طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی کارگاهی سامانه پایش‌گر لحظه‌ای عملکرد محصول سیب‌زمینی

داود محمدزمانی[1*]- علی تقوی[2]- محمد غلامی پرشکوهی[3]- جعفر مساح[4]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۱۵

چکیده

در این مقاله مراحل طراحی، ساخت و ارزیابی کارگاهی یک سامانه پایشگر لحظه‌ای عملکرد محصول سیب زمینی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این پژوهش توسعه روشی دقیق برای تهیه نقشه عملکرد محصول سیب‌زمینی می‌باشد. ابتدا یک سامانه پایشگر لحظه‌ای عملکرد محصول متشکل از یک سینی توزین، نیروسنج، چرخش‌سنج، کنترلگر PLC و یک رایانه همراه بر روی یک ماشین برداشت سیب‌زمینی از نوع دو ردیفه کششی نصب شد. در این پژوهش PLC به‌عنوان یک کنترلگر در ارتباط با یک رایانه‌ی همراه و برنامه‌های کنترلی توسعه یافته با Win-Proladder و Visual Basic قادر است داده‌های مربوط به حسگرها شامل چرخش‌سنج و نیروسنج‌ها را دریافت کند و می‌توان بر روی داده‌های دریافتی برنامه‌ریزی‌های لازم را انجام داد. به‌منظور ارزیابی کارگاهی سامانه طراحی شده و به‌دست آوردن بهترین حالت عملکرد این سامانه، آزمون‌های کارگاهی بر روی دستگاه برداشت سیب‌زمینی انجام گرفت. متغیرهای مستقل آزمون عبارت بود از: سرعت پیشروی، زاویه سینی و ضخامت مختلف ضربه‌گیر. به‌منظور تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج آزمایشگاهی از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن با سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد. به‌منظور بررسی بر هم کنش عوامل مختلف از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. در بررسی اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر بر داده‌های مربوط به عملکرد محصول بهترین حالت مربوط به زاویه سینی ۳۷ درجه، با سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و بدون استفاده از ضربه‌گیر و با درصد خطای ۲/۸۱ درصد بود، که در این وضعیت سامانه طراحی شده بهترین عملکرد را در قرائت و ثبت داده‌های جرم (عملکرد محصول) داشت.

واژه‌های کلیدی: چرخش سنج، سینی توزین، کنترلگر PLC، نقشه عملکرد محصول، نیرو سنج

مقدمه

کشاورزی دقیق (PA[5]) شامل به‌کارگیری برخی ابزار پیشرفته ارزیابی شرایط مزرعه و اعمال کودها، مواد شیمیایی و سایر نهاده‌های زراعی بر اساس این شرایط می‌باشد. از طریق به‌کارگیری فناوری‌هایی چون سامانه مکان‌یابی، ماهواره‌ها، حسگرهای الکترونیکی، کنترل‌کننده و نرم‌افزارهای پیشرفته می‌توان تصویر تفصیلی از عملیات خود خلق نمود. به‌طور سنتی کشاورزان عملکرد محصول را برای کشتزار و یا بخش‌های وسیعی از کشتزار اندازه‌گیری می‌نمایند. فناوری‌های جدید به کشاورزان اجازه می‌دهد تا عملکرد محصول را در سطوحی بسیار کوچک‌تر از کل هر کشتزار اندازه‌گیری نمایند. متغیر بودن ویژگی‌های خاک و شرایط محیطی به‌طور قطع بر تولید محصول مؤثر است. پیشرفت‌های اخیر در فناوری و توسعه روش پردازش داده‌ها برای کشاورزان، امکان پرداختن به این موضوع را فراهم ساخته است. برخی از تولید کنندگان محصولات زراعی امروزی، مدیریت موضعی را اعمال می‌نمایند. آشکار سازی الکترونیکی عملکرد محصول عمدتاً اولین گام در توسعه مدیریت موضعی یا برنامه‌های کشاورزی دقیق می‌باشد. داده‌های اطلاعاتی دقیق از عملکرد محصول را می‌توان با انواع زیادی از داده‌های خاک و شرایط محیطی ادغام نمود تا فرآیند ایجاد و توسعه یک سامانه مدیریت زراعی دقیق را آغاز کرد. از بین کاربردهای قابل اجرای کشاورزی دقیق، منطقی‌ترین نقطه آغاز برای کشاورزی که مایل به پذیرش این فناوری است، بخش ارزیابی عملکرد محصول است که فرآیندی از اندازه‌گیری و نقشه‌برداری مکان مشخصی از مزرعه و مطالعه اثرات ویژگی‌های خاک، وضعیت آب و هوا و مدیریت بر روی عملکرد محصولات است (Moore, 1997).

از سال ۱۹۹۹ به بعد تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پایش عملکرد محصول در دنیا آغاز شده است. (Goginen, 2002) به طراحی و

۱،۲و۳- به ترتیب استادیار، کارشناس ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان
۴- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.dmzamani@gmail.com)

5- Precision Agriculture

پیاده‌سازی سامانه آشکارسازی عملکرد سیب‌زمینی شیرین پرداخت. داده‌های تصویری به‌دست آمده از این سامانه، توسط نرم افزارهای پردازش تصویر مورد پردازش قرار گرفت. در این روش از روش قطعه‌بندی تصاویر سیب‌زمینی برای پردازش آن‌ها استفاده شد. روش قطعه‌بندی تصاویر به شناسایی سیب‌زمینی‌ها با دقت ۸۰ درصد منجر شد. (Durrence *et al*., 1999) در دانشگاه جورجیا یک پایش‌گر عملکرد محصول بادام زمینی بر مبنای نیروسنج را طراحی کردند. خطای این سامانه در شرایط مزرعه‌ای شبیه سازی شد. ارزیابی این سامانه نشان داد که این سامانه دارای ظرفیت کیفی پایینی برای تعیین عملکرد نقاط خاصی از مزرعه به‌منظور آشکارسازی عملکرد محصول است. (Caryn, 2002) یک سامانه پایش‌گر عملکرد محصول نیشکر بر روی کمباین Cameco CH نصب کرد. سامانه آشکارسازی عملکرد شامل داده‌های جرمی به‌دست آمده از سامانه و یک سامانه مکان‌یابی جهانی افتراقی (DGPS) به‌منظور تعیین موقعیت بود که در آن از یک سینی توزین که به‌وسیله چهار نیروسنج نگهداری می‌شد، استفاده شد. نتایج ارزیابی این سامانه نشان داد که متوسط خطا ۱۱/۵ درصد است و گونه‌های مختلف محصول نیشکر بر اعداد قرائت شده توسط سامانه تأثیرگذار است ولی مراحل رشد نیشکر، طول ردیف برداشت و نرخ جریان محصول اثرات مهمی بر نتایج ندارد. (Lee *et al*., 2002) یک سامانه پایشگر عملکرد علوفه سیلویی را طراحی کردند. در این تحقیق از سامانه مکان‌یابی جهانی، نیروسنج، بلوتوث برای انتقال داده‌ها و حسگر رطوبت استفاده شد. این سامانه در آزمون‌ها دارای خطایی به میزان ۱/۹۶ درصد بود. (Bassam *et al*., 2006) به توسعه عملکرد حسگری برای اندازه‌گیری وزن مخصوص پیاز پرداختند. آن‌ها در این تحقیق عنوان کردند که اندازه‌گیری وزن مخصوص قارچ‌ها، پیازها و میوه‌جات بر روی ماشین برداشت ممکن است که ارزش بازاری آن‌ها را افزایش دهد و راهی به سوی کشاورزی دقیق ارائه دهد. آن‌ها از دو حسگر ضربه‌ای نیروسنج و یک سینی از جنس اکریلیک و یک ضربه‌گیر از جنس پلی‌اوره‌تان که برای اندازه‌گیری وزن مخصوص پیاز طراحی شده بود استفاده کردند. نتایج نشان داد که ترتیب قرارگیری پیازها بر روی صحت (دقت و حساسیت) حسگر تأثیری نداشت و فاصله بین خروجی تسمه نقاله و مرکز صفحه برخورد، دقت حسگر کاهش را می‌دهد. اگر ضخامت ضربه‌گیری که بر روی سینی تعبیه شده است از ۱۰ میلی‌متر کاهش یابد، دقت کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از ضربه‌گیر به ضخامت ۳۰ میلی‌متر دقت حسگر بهبود یافت (حتی در ارتفاعات بالاتر) و درصد خطا به کمتر از ۲ درصد رسید. از زاویه ۳۷ درجه برای نصب صفحه برخورد و ضربه‌گیر استفاده شد که این زاویه مناسب‌ترین زاویه برای پیشگیری از برخورد دوباره پیاز پس از برخورد اولیه به سینی توزین و انباشته شدن خاک و شن بر روی سینی می‌باشد.

در این پژوهش نیز هدف نهایی طراحی، ساخت و ارزیابی کارگاهی یک سامانه اندازه‌گیری لحظه‌ای عملکرد محصول و به‌دست آوردن بهترین حالت عملکرد سامانه در حالت‌های مختلف زاویه سینی نسبت به افق، سرعت پیشروی و ضربه‌گیر می باشد.

مواد و روش‌ها

ماشین برداشت سیب‌زمینی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت از نوع زنجیر نقاله دو ردیفه کششی ساخت شرکت سبز دشت اصفهان بود. این نوع ماشین‌ها در مناطق مختلف، به‌خصوص در مناطقی که دارای خاک‌های سبک هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع ماشین وسیله مناسبی برای استفاده در شرایط ذکر شده می‌باشد، اما در شرایطی که خاک مرطوب و چسبنده باشد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

جدول ۱- مشخصات ابعادی ماشین برداشت سیب‌زمینی

Table1- Dimension data of potato harvester

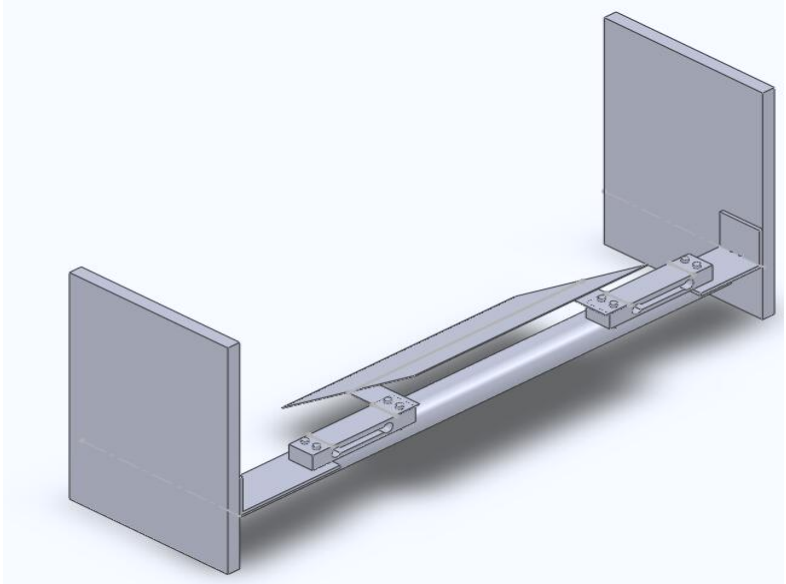
مشخصات فنی Technical properties	یک ردیفه One of row	دو ردیفه Two of rows	واحد Unit
ابعاد (Dimension)	234×140×120	253×183×117	سانتیمتر (cm)
عرض کار (Width)	0.7	1.4	متر (m)
وزن دستگاه (Weight)	410	690	کیلوگرم (kg)
توان مورد نیاز (Power)	45	60	اسب بخار (hp)
نوع اتصال (Hatchment)	اتصال سه نقطه (سوار) (Three point hatchment)	اتصال سه نقطه (سوار) (Three point hatchment)	–
سرعت محور توانده‌ی (rpm PTO)	540	540	دور در دقیقه (rpm)
حدود ظرفیت زراعی (Field capacity)	0.2	0.5	هکتار در ساعت ($ha\ h^{-1}$)

مزیت عمده سیب‌زمینی‌کن زنجیر نقاله‌ای، ریختن سیب‌زمینی‌ها در یک ردیف باریک در مزرعه می‌باشد که موجب سهولت در جمع‌آوری سیب‌زمینی‌ها با دست می‌گردد، گرچه این امر موجب کاهش قابل توجهی در تعداد کارگر مورد نیاز برای جمع‌آوری سیب زمینی‌ها نخواهد شد. در مقایسه با دیگر انواع ماشین‌های برداشت این نوع از ماشین به‌دلیل تماس بیشتر قطعات با خاک، فرسودگی بالاتری دارد. مشخصات ابعادی ماشین مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ خلاصه شده است.

به‌منظور پایش عملکرد محصول سیب‌زمینی، تغییراتی در این ماشین اعمال شد که از جمله این تغییرات می‌توان به نصب یک قطعه به شکل ناودانی بر روی زنجیر نقاله در انتهای مسیر برای اجتناب از سقوط هم‌زمان تعداد زیاد غدد سیب‌زمینی بر روی سینی توزین و نیز در یک مسیر قرار دادن غدد سیب‌زمینی و تا حد امکان به‌منظور سقوط تک تک غدد بر روی سینی توزین، اشاره نمود. این ناودانی از جنس فولاد و به ضخامت ۳ میلی‌متر انتخاب شد. به منظور توزین غدد از سه عدد سینی از جنس چوب (MDF) و به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و به ابعاد ۲۲۰×۲۹۵ میلی‌متر استفاده شد که هر یک با زاویه مختلف در آزمون‌های کارگاهی نصب شد. این سینی در انتهای دستگاه و از ارتفاعی به فاصله ۲۴۰ میلی‌متر از لبه زنجیر نقاله که توسط دو حسگر نیروسنج که بر روی پایه‌های سینی توزین نصب شده بودند قرار گرفت. این سینی‌ها با زاویه های ۳۰، ۳۷ و ۴۵ درجه نسبت به خط افق در انتهای دستگاه نصب شد. در شکل ۱ طرحواره سینی توزین نشان داده شده است.

برای جلوگیری از برخورد دوباره غدد به سینی توزین پس از برخورد اولیه آن که منجر به ایجاد خطا در سامانه اندازه‌گیری می‌شد و همچنین کاهش ارتعاش سامانه توزین از دو نوع ضربه گیر از جنس ابر و به ضخامت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر و یک نوع ضربه‌گیر از جنس ورق پلی‌کربنات دو جداره بر روی سینی توزین استفاده شد. از ویژگی ورق پلی‌کربنات دو جداره سبک و مقاوم بودن آن نسبت به ضربه است، که مقاومت آن ۲۰۰ برابر شیشه می‌باشد. ضخامت این نوع ضربه گیر ۶ میلی‌متر انتخاب شد.

در این پژوهش به‌منظور توزین غدد سیب زمینی از دو حسگر نیروسنج مدل AB120 با خطای کمتر از ۰/۰۳ درصد ساخت کشور کره که در انتهای سینی توزین و به‌صورت افقی نصب شده بودند استفاده شد، که یک سر این حسگرها به پایه‌ها و سر دیگر آن‌ها به سینی توزین متصل می‌باشد. با در نظر گرفتن دامنه سیگنال آنالوگ خروجی نیروسنج (در حد میلی‌ولت)، نیاز به مبدلی به‌منظور استاندارد سازی خروجی آنالوگ نیروسنج و تبدیل آن به سیگنال مناسب برای اتصال به ورودی‌های آنالوگ ماژول PLC می‌باشد. به‌منظور تبدیل سیگنال خروجی نیروسنج‌ها به سیگنال‌های آنالوگ استاندارد، به ازای هر نیروسنج از یک مبدل (مجموعاً دو عدد)، با دو سیگنال خروجی استاندارد ۲۰-۴ میلی‌آمپر و ۱۰-۰ ولت ساخت شرکت SEWHA محصول کشورکره جنوبی استفاده شد.



شکل ۱- طرحواره سینی توزین

Fig.1. Schematic of weighting plate

شکل۲- ماشین برداشت سیب‌زمینی زنجیر نقاله‌ای به همراه تجهیزات مورد استفاده

Fig.2. Chain type Potato harvester and used instruments

در این پژوهش از PLC به‌عنوان یک کنترلگر استفاده شد که در ارتباط با یک رایانه همراه و برنامه‌های کنترلی توسعه یافته با Win-Proladder و Visual Basic قادر است داده‌های مربوط به حسگرها شامل چرخش سنج و نیروسنج‌ها را دریافت کند. PLC مورد استفاده در این تحقیق محصول شرکت FATEK مدل FBs-24MC می‌باشد که قابلیت دریافت ۱۴ ورودی دیجیتال ۲۴ ولت جریان مستقیم را داراست که بسامد جریان برای دو ورودی kHz ۲۰۰ و بسامد ۱۲ ورودی دیگر ۲۰kHz می‌باشد. در شکل ۲ ماشین برداشت سیب زمینی به همراه تجهیزات مورد استفاده نمایش داده شده است.

آزمون‌های کارگاهی انجام شده

به‌منظور ارزیابی سامانه طراحی شده و به‌دست آوردن بهترین حالت عملکرد این سامانه، ۱۰۸ آزمون کارگاهی بر روی دستگاه برداشت سیب‌زمینی انجام گرفت. متغیرهای مستقل آزمون عبارتند از: سرعت پیشروی، زاویه سینی و حالات مختلف ضربه‌گیر. به‌منظور تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج کارگاهی از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن با سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد. به‌منظور بررسی بر هم کنش عوامل مختلف از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد.

واسنجی حسگر نیروسنج

به‌منظور واسنجی حسگرهای نیروسنج مورد استفاده در سامانه ساخته شده از ۵ عدد غده سیب‌زمینی در اندازه‌های مختلف در چهار حالت استفاده شد. به این صورت که غدد سیب زمینی شماره گذاری شد و وزن دقیق غدد توسط ترازوی دیجیتال قرائت و ثبت شد. آزمایش‌های مربوطه در چهار حالت مختلف: در حالت اول بدون ضربه‌گیر، حالت دوم همراه با ضربه‌گیر به ضخامت ۱۰ میلی‌متر، حالت سوم همراه با ضربه‌گیر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر و حالت چهارم همراه با ضربه‌گیر از جنس ورق پلی‌کربنات دوجداره انجام شد. در هر کدام از حالت‌های مربوطه هر یک از غدد سیب‌زمینی در حالت دینامیک و در ۵ تکرار بر روی سینی توزین سقوط کرد و وزن سیب زمینی‌ها توسط حسگرهای نیروسنج ثبت شد، و میانگین داده‌های به‌دست آمده محاسبه گردید. در محیط نرم‌افزار Excel از داده‌های مربوط به اندازه واقعی و اندازه قرائت شده توسط حسگرهای نیروسنج، ضریب واسنجی و نمودار مربوطه محاسبه و ترسیم شد و در هر حالت چهار ضریب واسنجی به دست آمد و در آزمون‌های مربوط به هر یک از مراحل مورد نظر این ضرایب اعمال گردید.

نتایج و بحث

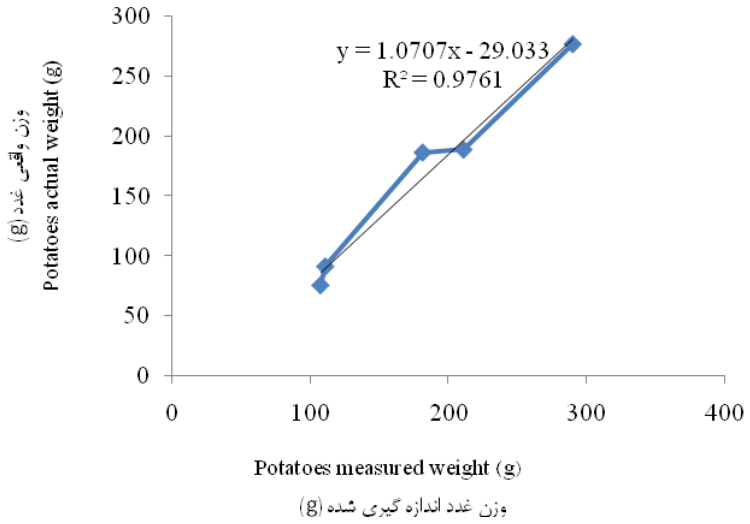
نتایج آزمون واسنجی سامانه توزین

در شکل ۳ نمودار حاصل از واسنجی سامانه توزین برای زمانی که از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر استفاده شده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با

استفاده از برازش داده‌های خروجی حسگر نیروسنج با یک خط، خطی با رابطه (۱) حاصل می‌شود که ضریب همبستگی آن R^2=0.97 می‌باشد.

$$Y=1.0707X-29.033 \quad (۱)$$

در نمودار ۳ به دلیل این‌که R^2 نزدیک به یک می‌باشد، پس نشان دهنده این است که سامانه توزین قادر است مقادیر وزن غدد را نسبت به دیگر حالت‌های ضربه‌گیر با دقت بالاتری نزدیک به واقعیت اندازه‌گیری نماید.



شکل۳- منحنی واسنجی حسگر نیروسنج همراه با ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر

Fig.3. Calibration diagram of load-cell with shock absorber made of foam with thickness plate 20 mm

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) داده‌های آزمون

Table2- Analyze of variance (ANOVA) for test data

سطح معنی‌داری Significant level	F	میانگین‌مربعات Mean square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Square sum	منبع تغییرات Variance resource
0.000	21.791	$9.659*10^7$	2	$1.932*10^8$	زاویه (Angle)
0.001	8.270	$3.666*10^7$	2	$7.332*10^7$	سرعت (Travel velocity)
0.577	0.665	2945570.763	3	8836712.289	ضربه‌گیر (Shock absorber)
0.388	0.959	4251878.498	2	8503756.995	تکرار (Repeat)
0.469	0.900	3987877.250	4	$1.595*10^7$	زاویه*سرعت (Angle* Travel velocity)
0.877	0.384	1703819.410	6	$1.022*10^7$	زاویه*ضربه گیر (Angle* Shock absorber)
0.145	1.657	7344991.370	6	$4.407*10^7$	سرعت*ضربه‌گیر (Travel velocity*Shock absorber)
0.013	2.361	$1.047*10^7$	12	$1.256*10^8$	زاویه*سرعت*ضربه‌گیر (Angle* Shock absorber*Travel velocity)
-	-	4432686.317	70	$3.103*10^8$	خطا (Error)
-	-		108	$5.908*10^9$	کل (Total)

تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نظر آزمون تجزیه واریانس

جدول ۲ نتایج تحلیل داده‌ها را به روش آزمون تجزیه واریانس با بررسی سطح اطمینان ۵ درصد نشان می‌دهد. در تحلیل داده‌ها عوامل زاویه، سرعت و نوع ضربه گیر جزء متغیرهای مستقل و عامل جرم غدد، متغیر وابسته می‌باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود در تیمار زاویه، اختلاف مشاهده شده معنی‌دار بوده به این معنی که با تغییر زاویه سینی (۳۰، ۳۷ و۴۵) نتایج داده‌های به‌دست آمده با هم تفاوت معنی‌داری داشت. برای تیمار سرعت نیز همانند تیمار زاویه اختلاف مشاهده شده معنی‌دار می‌باشد. در تیمار ضربه‌گیر سطح معنی‌داری ۰/۵۷ بوده و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در تکرار نیز سطح معنی‌داری ۰/۳۸ بوده و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

بررسی اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر بر داده جرم ثبت شده

جدول ۳ میانگین داده‌های جرم خوانده شده، حد پایین و حد بالای جرم را توسط حسگر نیروسنج با اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر نشان می‌دهد. در این تحلیل بهترین حالت در زاویه ۳۰ درجه، حرکت با سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت و استفاده از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر بود که میزان خطا در این قسمت برابر ۴/۸۵ درصد می‌باشد.

جدول ۳- اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر (متغیر وابسته: جرم)

Table3- Interaction between plate angle, speed and shock absorber

زاویه (درجه) Angle (degree)	سرعت Travel velocity km hr^{-1}	ضربه گیر Shock absorber	میانگین Mean	استاندارد خطا Standard error	ضریب اطمینان 95% Confidence		درصد خطا Error
					حد پایین Lower limit	حد بالا Upper limit	
30	4	بدون ضربه‌گیر (Without shock absorber)	947.5064	550.1215	609.2640	285.7489	
		ضربه‌گیر ۱۰ میلی‌متر (10 mm shock absorber)	6660.385	1215.550	4236.047	9084.723	
		ضربه‌گیر ۲۰ میلی‌متر (20 mm shock absorber)	9514.713	1215.550	7090.375	11939.051	4.85
		پلی‌کربنات دو جداره (Two layer polycarbonate)	5559.403	1215.550	3135.065	7983.742	
37	2	بدون ضربه گیر (Without shock absorber)	9718.522	1215.550	7294.184	12142.860	
		ضربه‌گیر ۱۰ میلی‌متر (10 mm shock absorber)	7375.126	1215.550	4950.787	9799.464	2.81
		ضربه‌گیر ۲۰ میلی‌متر (20 mm shock absorber)	11394.071	1215.550	8969.732	13818.409	
		پلی کربنات دو جداره (Two layer polycarbonate)	8370.050	1215.550	5945.712	10794.389	
45	2	بدون ضربه گیر (Without shock absorber)	5898.741	1215.550	3474.402	8323.079	
		ضربه‌گیر ۱۰ میلی‌متر (10 mm shock absorber)	6945.942	1215.550	4521.604	9370.280	16.34
		ضربه‌گیر ۲۰ میلی‌متر (20 mm shock absorber)	8365.639	1215.550	5941.300	10789.977	
		پلی‌کربنات دو جداره (Two layer polycarbonate)	5200.700	1215.550	2776.362	7625.038	

بهترین حالت در زاویه سینی ۳۷ درجه حرکت با سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت و بدون استفاده از ضربه‌گیر با میزان خطای ۲/۸۱ درصد می‌باشد. بهترین حالت در زاویه سینی ۴۵ درجه حرکت با سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت و استفاده از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر با خطای ۱۶/۳۴ درصد می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بهترین حالت در مجموع این سه تحلیل انجام شده حرکت با سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت، با زاویه سینی ۳۷ درجه و بدون استفاده از ضربه‌گیر که کمترین درصد خطا را نسبت به حالت‌های دیگر دارد، می‌باشد.

همان‌طور که در مقدمه در رابطه با پژوهش انجام شده با موضوع توسعه عملکرد حسگری برای وزن مخصوص پیاز توسط (Bassam *et al.*, 2006) اشاره شده بود، که زاویه سینی ۳۷ درجه را مناسب‌ترین زاویه برای توزین پیاز پیشنهاد شده بود در این پژوهش هم در بررسی اثر متقابل زاویه، سرعت و ضربه‌گیر بهترین عملکرد سامانه مربوط به حالتی است که زاویه سینی ۳۷ درجه و با سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و بدون استفاده از ضربه‌گیر و با درصد خطای۲/۸۱ درصد بود.

نتیجه‌گیری

در بخش واسنجی حسگر نیروسنج در حالت استفاده از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر به‌دلیل اینکه مقدار R^2=0.9761 و به مقدار یک نزدیک بود سامانه توزین در این حالت مقادیر وزن را نزدیک به مقادیر واقعی اندازه‌گیری کرده است. در آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین به روش دانکن، با تغییر زاویه‌ها و سرعت‌ها اختلاف معنی دار بوده ولی در حالت‌های مختلف ضربه‌گیر و تکرار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

منابع

1. Bassam, Q., K. Shoji, and T. Kawamura. 2006. Development yield sensor for measuring individual weights of onion bulbs. Graduate paper School of Agriculture, Kobe University
2. Caryn, E. 2002. SUGAR Cane Yield Monitoring system. The society for engineering in agricultural, food and biological system. Paper No.027765
3. Durrence, J. S., T. K. Hamrita, and G. Vellidis. 1999. A load cell based yield monitoring for peanut. Feasibility study. Precision Agriculture 1: 301-317.
4. Goginen, S. 2002. The design and implementation of a yield monitor for sweetpotatoes. Thesis (M. Sc) Mississippi State University. Department of Electrical and Computer Engineering.
5. Moore, M. 1997. Investigation in to the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management.Ph.D Thesis. Cranfield University. Silsoe college
6. Lee, W. S., T. F. Burks, and J. K. Schueller. 2002. Silage yield monitoring system. Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida