

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

داود محمدزمانی<sup>۱\*</sup> - علی تقوی<sup>۲</sup> - محمد غلامی پرشکوهی<sup>۳</sup> - جعفر مساح<sup>۴</sup>

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 سیب‌زمینی 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 کشتی نصب شد. در این پژوهش PLC به‌عنوان یک کنترلگر در ارتباط با یک رایانه 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 قرانت و ثبت داده‌های جرم (عملکرد محصول) داشت.

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

### مقدمه

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 تولیدکنندگان 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

کشاورزی دقیق (PA<sup>۵</sup>) 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

۱-۳ و ۲- 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 (Email: dr.dmzamani@gmail.com نویسنده مسئول:)

5- Precision Agriculture

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 می‌باشد.

### 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.

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 کمپاین Cameco CH نصب کرد. سامانه آشکارسازی عملکرد شامل داده‌های جرمی به‌دست آمده از سامانه و یک سامانه مکان‌یابی جهانی (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

### جدول ۱- مشخصات ابعادی ماشین برداشت سیب‌زمینی

Table1- Dimension data of potato harvester

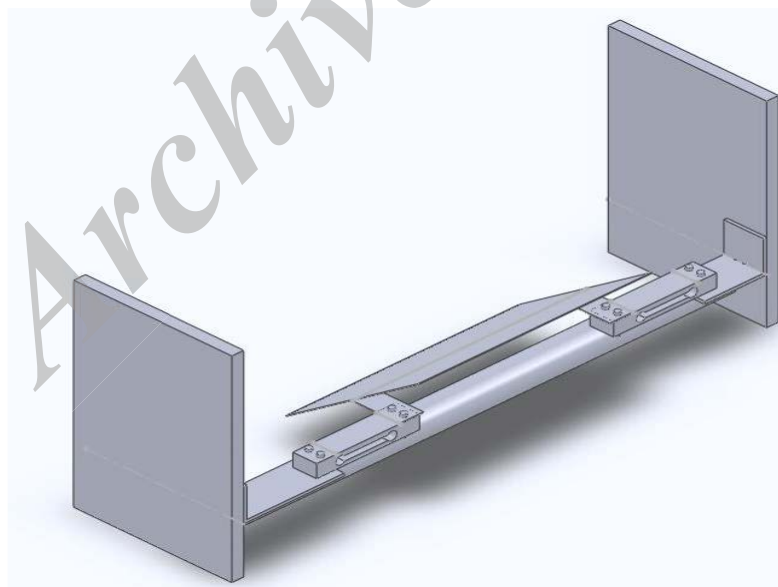
واحد Unit	دو ردیفه Two of rows	یک ردیفه One of row	مشخصات فنی Technical properties
سانتیمتر (cm)	253×183×117	234×140×120	ابعاد (Dimension)
متر (m)	1.4	0.7	عرض کار (Width)
کیلوگرم (kg)	690	410	وزن دستگاه (Weight)
اسب بخار (hp)	60	45	توان مورد نیاز (Power)
-	اتصال سه نقطه (سوار) (Three point hatchment)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

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 ضربه گیر 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 به منظور توزین غدد سبب زمینی از دو حسگر نیروسنج مدل AB120 با خطای کمتر از ۰/۰۳ درصد ساخت کشور کره که در انتهای سینی توزین و به صورت 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 به منظور استاندارد سازی خروجی آنالوگ نیروسنج و تبدیل آن به سیگنال مناسب برای اتصال به ورودی‌های آنالوگ ماژول PLC می‌باشد. به منظور 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- ولت ساخت شرکت SEWHA محصول کشور کره جنوبی استفاده شد.

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

به منظور پایش عملکرد محصول سبب‌زمینی، 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 سبب‌زمینی بر روی سینی توزین و نیز در یک مسیر قرار دادن غدد سبب‌زمینی و تا حد امکان به منظور 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 زاویه‌های ۳۰، ۳۷ و ۴۵ درجه نسبت به خط افق در انتهای دستگاه نصب شد. در شکل ۱ طرحواره



شکل ۱- طرحواره سینی توزین

Fig.1. Schematic of weighting plate



شکل ۲- ماشین برداشت سیب‌زمینی زنجیر نقاله‌ای به همراه تجهیزات مورد استفاده

Fig.2. Chain type Potato harvester and used instruments

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 غده 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 پلی کربنات 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

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 ۲۰۰ kHz و بسامد ۱۲ ورودی دیگر ۲۰ kHz می‌باشد. در شکل ۲ ماشین برداشت سیب زمینی به همراه تجهیزات مورد استفاده نمایش داده شده است.

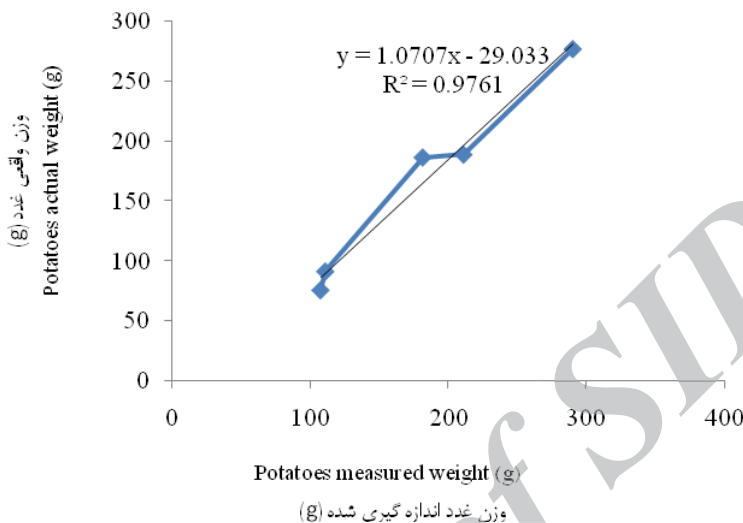
### آزمون‌های کارگاهی انجام شده

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

در نمودار ۳ به دلیل این که  $R^2$  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.

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.  
(۱)  $Y=1.0707X-29.033$



شکل ۳- 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	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Square sum	منبع تغییرات Variance resource
0.000	21.791	$9.659 \times 10^7$	2	$1.932 \times 10^8$	زاویه (Angle)
0.001	8.270	$3.666 \times 10^7$	2	$7.332 \times 10^7$	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	$1.595 \times 10^7$	زاویه*سرعت (Angle* Travel velocity)
0.877	0.384	1703819.410	6	$1.022 \times 10^7$	زاویه*ضربه‌گیر (Angle* Shock absorber)
0.145	1.657	7344991.370	6	$4.407 \times 10^7$	سرعت*ضربه‌گیر (Travel velocity*Shock absorber)
0.013	2.361	$1.047 \times 10^7$	12	$1.256 \times 10^8$	زاویه*سرعت*ضربه‌گیر (Angle* Shock absorber*Travel velocity)
-	-	4432686.317	70	$3.103 \times 10^8$	خطا (Error)
-	-	-	108	$5.908 \times 10^9$	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 و ۴۵) 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

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

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 خطای ۲/۸۱ درصد بود.

### نتیجه‌گیری

در بخش واسنجی حسگر نیروسنج در حالت استفاده از ضربه‌گیر از جنس ابر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر به دلیل 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.

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

### 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. Gogineni, 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