

عوامل مؤثر بر عملکرد یک سامانه الکترومکانیکی درجه بندی سیب و کیوی

ابراهیم بخشی زاده، امیرحسین افکاری سیاح*، یوسف عباسپورگیلانده و منصور راسخ**

* نگارنده مسئول، نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، صندوق پستی ۱۷۹، تلفن: ۰۹۱۴۴۵۲۹۸۱۳، پیام نگار: ahafkari@gmail.com

** به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه ماشین‌های کشاورزی؛ استادیار و دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۴

چکیده

طی پژوهشی، مدل اولیه سامانه خودکار الکترونیکی برای درجه بندی سیب و کیوی طراحی و ساخته و عملکرد آن بررسی شد. دستگاه شامل دو قسمت الکترونیکی و مکانیکی است که طی آن میوه‌ها را بر اساس وزن و به کمک یک حسگر بار ۳۰ نیوتنی و مدار کنترلی که اختصاصاً بدین منظور طراحی و ساخته شد، توسط عملگرهای مکانیکی در سه دسته جدا می‌کند. در این تحقیق طی دو طرح آزمایشی اثر ۴ متغیر مستقل بر میزان عملکرد دستگاه بررسی شد. متغیرهای مستقل در طرح آزمایش اول عبارت‌اند از: نوع محصول (سیب و کیوی)، شیب سیستم انتقال میوه (۳۰°، ۴۰°، و ۵۰° درجه) و زمان داده شده به حسگر بار (۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ ثانیه) و در طرح آزمایش دوم: نوع محصول (سیب و کیوی) و شیب مکانیسم جداکننده (۱۰°، ۳۰°، و ۵۰° درجه). طی یک بررسی آماری (آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی) این نتایج به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که هر چهار عامل به طور معنی‌دار بر عملکرد دستگاه (بر حسب تعداد میوه در واحد زمان) مؤثرند ($p < 0.01$). اما مؤثرترین عامل، مدت زمان حسگر است که اثر متقابل آن نیز بر عملکرد دستگاه معنی‌دار است، به طوری که می‌توان با تنظیم بهینه زمان سنج‌ها در داخل برنامه PLC زمان لازم برای جداسدن هر میوه را از طریق محاسبه دقیق زمان عبور میوه از مانع و از دریچه‌ها کاهش و در نتیجه عملکرد دستگاه را افزایش داد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بیشینه عملکرد دستگاه برای میوه کیوی و در شیب ورودی ۵۰° درجه و مدت زمان یک ثانیه برابر با ۸۷۲/۴۰ (عدد در ساعت) است.

واژه‌های کلیدی

حسگر بار، درجه بندی، سامانه الکترونیکی، سیب، کیوی، وزن

مقدمه

به دسته بندی محصول بر اساس اندازه است که یکی از روش‌های آن جداسازی بر اساس وزن است. ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان میوه و سبزی در خاورمیانه است به طوری که با تولید حدود ۴/۴ میلیون تن مرکبات در سال ۱۳۸۵ مقام هشتم جهان را به خود اختصاص داده است (Anon, 2006). با توجه به این میزان تولید، مدیریت پس از برداشت این محصولات ارزشمند به ویژه جداسازی آن‌ها بر اساس ویژگی‌های کیفی بسیار ضروری

با افزایش تولید محصولات کشاورزی در کشور، جداسازی کیفی محصولات و به ویژه میوه‌ها بر اساس شاخص‌های کیفی نظیر اندازه، وزن و رنگ اهمیتی ویژه می‌یابد. امروزه این عمل، بین مرحله برداشت تا فروش محصول به مصرف‌کننده، عموماً با دست انجام می‌پذیرد. هزینه قابل توجه این مرحله استفاده از سامانه‌های مکانیزه را موجه ساخته است. بسته بندی صحیح محصولات منوط

همین طور می‌توان به دو پژوهش گزیابو و همکاران (Unaya *et al.*, 2007) و اونایا و همکاران (Xiaobo *et al.*, 2007) (2011) برای جداسازی سیب بر مبنای ویژگی‌های ظاهری به کمک روش ماشین بینایی اشاره کرد. در این دو پژوهش نیز صرفاً بررسی سامانه جداسازی کیفی، به ویژه از لحاظ دقت، مد نظر محققان بوده است. از دیگر پژوهش‌ها درباره روش‌های جداسازی کیفی محصولات می‌توان به تحقیقات طباطبایی کلور و هاشمی (Tabatabaie-Kolur & Hashemi, 2008); لریستانی و همکاران (Lorestani *et al.*, 2006)، جاریموپس و همکاران (Jarimopas *et al.*, 2007) و ریادی و همکاران (Riyadi *et al.*, 2007) اشاره کرد. اما در زمینه مکانیسم‌های مورد استفاده در دستگاه‌های جداساز صرفاً می‌توان از تحقیقات اولیه هوسام و همکاران (Husome *et al.*, 1978) چامبرلین و ایروینگ (Irving & Chamberlin, 1978) و تحقیق هوور و کودینگ (Hoover & Coddling, 1976) نام برد که در آن‌ها مستقیماً به بررسی عملکرد سامانه مکانیکی درجه‌بندی میوه اشاره شده است. هدف از این تحقیق، بررسی نحوه تأثیر برخی از پارامترهای میوه و ماشین بر عملکرد سامانه الکترومکانیکی درجه‌بندی سیب و کیوی است تا از این طریق نحوه تأثیر این عوامل بر عملکرد دستگاه مشخص شود.

مواد و روش‌ها

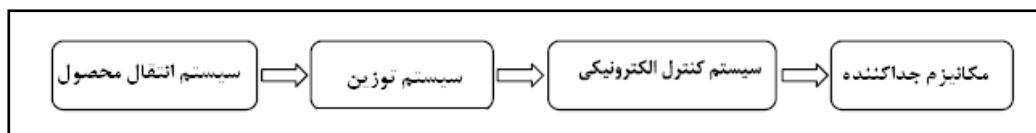
طراحی و ساخت دستگاه

مبنای جداسازی در دستگاه الکترونیکی جداکننده میوه، وزن میوه است که در آن از یک حسگر بار با ظرفیت ۳۰ N استفاده می‌شود. طراحی و ساخت دستگاه جداساز بر اساس وزن شامل طراحی و ساخت اجزای اصلی آن است. شکل ۱، نمودار جریان‌ی مراحل تغذیه، انتقال،

است زیرا اغلب محصولات به طور طبیعی از لحاظ اندازه و عوامل مربوط به رسیدگی، مانند رنگ و سفتی، متفاوت هستند. ضمن این‌که برداشت میوه‌ها خصوصاً برداشت مکانیکی، ناخالصی و غیریکنواختی در خواص فیزیکی محصول را افزایش می‌دهد (Fellows, 1990).

دستگاه‌های درجه‌بندی موجود در کشور از نوع مکانیکی و عمدتاً از نوع غلتکی شیاردار هستند که فاصله شیارها به تدریج برای درجات مختلف افزایش می‌یابد و میوه‌ها را بر اساس اندازه آن‌ها درجه‌بندی می‌کند. اغلب دیده می‌شود که در این سامانه‌ها، میوه‌ها در بین غلتک‌ها له می‌شوند، در حالی‌که چندین کارگر بر آن‌ها نظارت دارند. تعداد زیاد غلتک‌ها در این دستگاه‌ها علاوه بر طول کردن دستگاه، هزینه اولیه و نگهداری آن را نیز افزایش می‌دهند (Tabatabaie-Kolur & Hashemi, 2008). با توجه به نیاز موجود به دستگاه‌های جداساز با مبنای الکترونیک، که در آن بسیاری از معایب روش‌های مکانیکی حذف می‌شود، به نظر می‌رسد که تحقیق در این زمینه، به ویژه در داخل کشور، ضروری است. در حال حاضر آخرین پژوهش‌ها در زمینه سامانه‌های درجه‌بندی کیفی محصولات کشاورزی عمدتاً بر توسعه حسگرهای غیرمخرب متمرکز است. در این ارتباط می‌توان به جداسازی کیفی سیب بر اساس خرابی سطحی از طریق سیستم ماشین بینایی به صورت برخط اشاره کرد (Al-Ohali, Leemans & Destain, 2004). آل اوهای (Al-Ohali, 2011) در پژوهشی، با طراحی و ساخت نوعی پروتوتایپ جداساز میوه خرما، از مولفه‌های ظاهری میوه برای جداسازی کیفی آن‌ها استفاده کرد. کارلوماگنو و همکاران (Carlomagno *et al.*, 2004) نیز توانستند با اندازه‌گیری امواج نزدیک فرسرخ عبور کرده از محصول، سطح رسیدگی میوه هلو را مشخص کنند؛ در این تحقیق عملاً از هیچ نوع سیستم مکانیکی برای درجه‌بندی استفاده نشد.

اندازه‌گیری و جداسازی را نشان می‌دهد. اجزای اصلی دستگاه عبارت‌اند: از سیستم انتقال محصول، سیستم توزین، سیستم کنترل الکترونیکی و مکانیسم جداکننده محصول.



شکل ۱- نمودار جریان کار دستگاه از مرحله تغذیه تا جداسازی.

سامانه انتقال محصول

سامانه انتقال محصول به صورت سطحی شیب‌دار با لبه‌هایی در طرفین آن به شکل ناودان طراحی شد. با بررسی میانگین ابعاد سیب و پرتقال در ارقام متداول (Shafieie, 2007; Esmaelie-Jokandan, 2009)، عرض و ارتفاع لبه ناودانی به ترتیب ۱۱ و ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اما برای در نظر گرفتن ویژگی‌های شکل میوه، از کیوی به جای پرتقال در آزمایش‌های نهایی استفاده شد. برای اینکه میوه‌ها به صورت تک‌دانه و در زمانی مشخص، که سامانه کنترل آن را تعیین می‌کند، وارد قسمت توزین شوند یک شیار با عرض ۹ سانتی‌متر در فاصله ۳ سانتی‌متری تا نقطه انتهای سطح شیب‌دار در نظر گرفته شد و در آن مانعی با ابعاد ۵×۹ سانتی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر نصب شد که با موتور خطی بالا و پایین می‌رفت. بیشینه ارتفاع لبه بالایی این مانع از کف ناودانی با توجه به کورس رفت و برگشتی موتور ۲ سانتی‌متر است که در زمان لازم از طریق سامانه کنترل به سمت پایین حرکت می‌کند و میوه روی سطح شیب‌دار به قسمت توزین می‌گلتد. در زیر ناودانی از یک پایه که در انتهای آن یک پیچ و مهره قرار گرفته است، استفاده شد تا امکان تنظیم شیب ورودی فراهم شود. طراحی این دستگاه به نحوی است که باید یک سیستم تغذیه به صورت تک‌دانه آن را تغذیه کند. از این‌رو در نمونه آزمایشگاهی ساخته شده تغذیه به صورت دستی انجام گرفت.

سامانه توزین

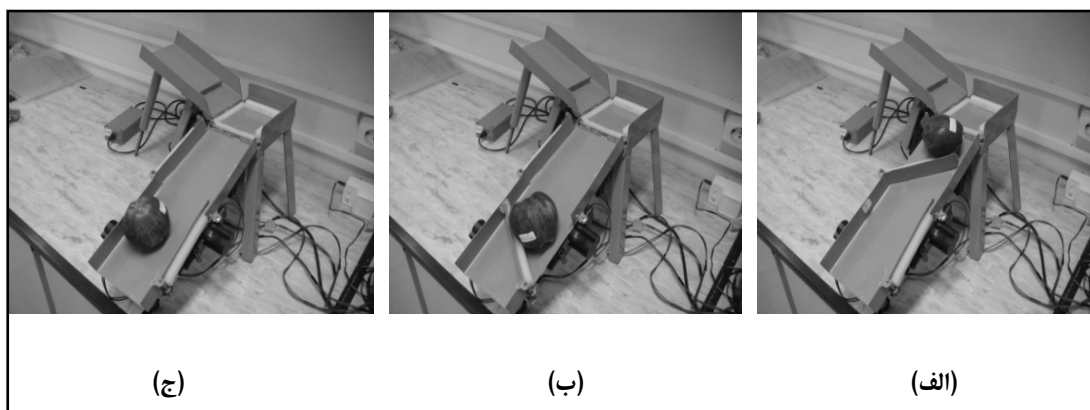
برای طراحی قسمت توزین ابتدا یک قاب فلزی با استفاده از نبشی فولادی ۲۰×۳۰ به طول ۱۳ و عرض ۱۱ سانتی‌متر ساخته شد. لودسل وزنی ساخت شرکت BONGSHING با ظرفیت ۳۰ N در راستای طول این قاب به نحوی قرار گرفت که یک سر آن به کمک دو پیچ به نقطه وسط ضلع کوچک قاب ثابت شد. برای انتقال وزن میوه به روی سر دیگر لودسل از دو صفحه استفاده شد که این دو صفحه با ابعاد ۵×۱۰×۱۲ سانتی‌متر روی هم قرار گرفتند و در امتداد ضلع کوچک‌تر به یکدیگر لولا شدند. صفحه زیرین به سر دیگر حسگر متصل شد و صفحه رویی به طور آزاد می‌تواند با نیرویی که از طرف موتور خطی به آن وارد می‌شود به سمت سطح شیب‌دار خروجی و مکانیسم جداکننده شیب پیدا کند و میوه را به آن قسمت هدایت کند. موتور به نحوی در زیر صفحه قرار گرفت که محور آن در فاصله ۲ سانتی‌متری نسبت به نقطه‌ای که دو صفحه به هم لولا شده‌اند، به صفحه رویی نیرو وارد می‌کند و با توجه به کورس ۲ سانتی‌متری موتور صفحه می‌تواند در حالت بیشینه ۴۵ درجه شیب پیدا کند.

مکانیسم جداکننده

برای طراحی مکانیسم جداکننده نیز از یک ناودانی به طول ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد که عرض و ارتفاع لبه آن معادل عرض و ارتفاع لبه ناودانی ورودی است. این ناودانی

مستقیم از ناودانی خارج می‌شوند. برای منحرف کردن میوه‌ها از مسیر مستقیم در ناودانی از صفحه‌ای به ابعاد ۱۳×۴ سانتی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر استفاده شد که با یک موتور خطی تحت یک مکانیسم لولایی عمل می‌کند (شکل ۲).

به قاب قسمت توزین لولا شده و به کمک پایه‌ای با طول متغیر می‌توان شیب آن را تغییر داد. برای رسیدن به هدف که درجه‌بندی میوه در سه گروه وزنی است دو دریچه در امتداد یکدیگر و با فاصله ۳ سانتی‌متر روی دو لبه ناودانی برای خروج دو دسته از محصولات در نظر گرفته شد و بدین ترتیب دسته سوم محصولات به‌طور



شکل ۲- مکانیسم جداکننده (الف) ورود میوه به مخزن اول، (ب) ورود میوه به مخزن دوم، (ج) ورود میوه به مخزن سوم.

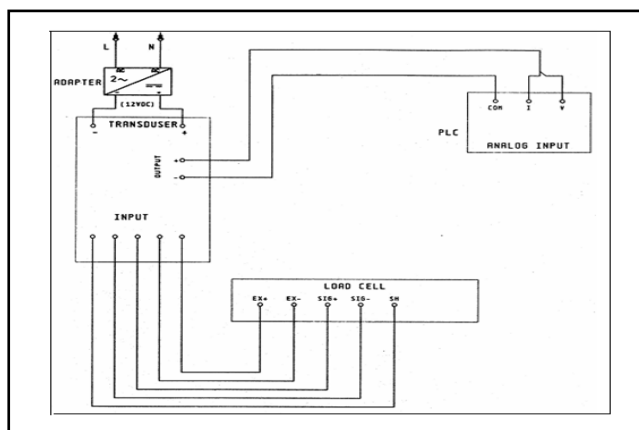
کند، و تنظیم مدت زمانی که میوه باید روی حسگر بار بماند تا از تلاطم بایستد و وزن واقعی آن خوانده شود. با توجه به این که هدف جداسازی میوه در سه گروه وزنی است، لذا در برنامه از سه بلوک مقایسه‌گر استفاده شد که با توجه به شرایط وزنی هر نوع میوه در هر بلوک یک بازه وزنی در برنامه تعریف می‌شود. بازه‌های وزنی برای هر نوع میوه بر اساس فروانی وزنی نمونه‌های انتخاب شده تعیین گردید؛ به نحوی که میوه‌ها به طور تقریباً برابر در سه بازه وزنی قرار گیرند. با شروع برنامه که با کلید فشاری آغاز می‌شود مانع در سطح شیب‌دار انتقال پایین می‌رود و میوه روی صفحه حسگر می‌غلطد و در همان حال مانع به جای اولیه باز می‌گردد. بعد از گذشت زمان تعریف شده در تایمر حسگر بار وزن میوه را تعیین می‌کند. خروجی حسگر بار طی مراحل که قبلاً اشاره شد به سیگنال

سامانه کنترل الکترونیکی

در سامانه کنترل دستگاه، از پی. ال. سی مدل GLOFA ساخت شرکت LG استفاده شد که دارای ۴ ورودی و ۸ خروجی است. در این سامانه، سیگنال خروجی از حسگر بار در یک ترانس‌میترا^۱ به سیگنال استاندارد ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر تبدیل می‌شود (شکل ۳). این سیگنال استاندارد در کارت آنالوگ به دیجیتال، به سیگنال دیجیتال تبدیل و در نهایت توسط پی. ال. سی دریافت می‌شود. با توجه به مراحل که میوه باید طی کند تا از دریچه‌های خروجی مکانیسم جداکننده بگذرد، برنامه‌ای در نرم افزار GMWIN4 برای پی. ال. سی نوشته شد. وظایف این برنامه عبارتند از: تنظیم مدت زمان بین بالا و پایین رفتن مانع روی سطح شیب‌دار انتقال میوه، تنظیم مدت زمانی که دریچه‌ها باید باز بمانند تا میوه از آن عبور

عوامل مؤثر بر عملکرد یک سامانه الکترومکانیکی...

دیجیتال تبدیل و وارد هر سه بلوک مقایسه‌گر می‌شود. گیرد خروجی آن یک سیگنال دیجیتال جریان مستقیم را در صورتی که سیگنال خروجی در هر یک از بازه‌ها قرار به رله مخصوص درجه ارسال می‌کند.

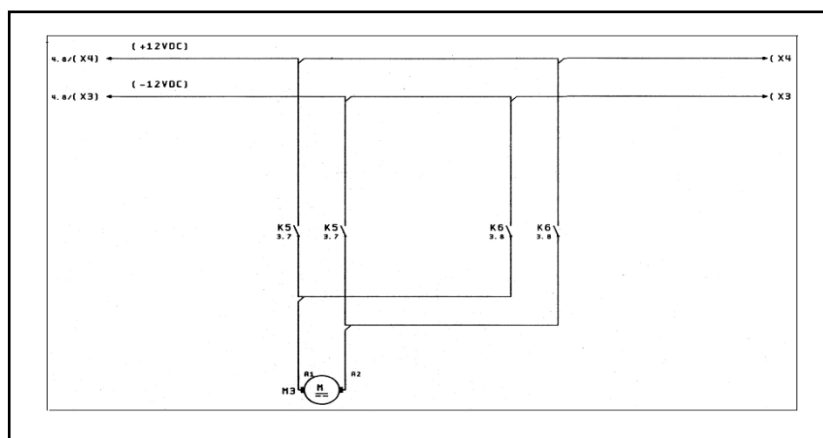


شکل ۳- مدار اتصال حسگر به ترنسمیتر و کارت آنالوگ به دیجیتال.

شده فعال می‌شود و منبع تغذیه به نحوی که جهت جریان آن مخالف حالت قبلی است به موتور خطی وصل و درجه بسته می‌شود (شکل ۴).

در این مدار با توجه به ۴ عدد موتور خطی که باید در دستگاه کنترل شوند از ۸ رله الکتریکی استفاده می‌شود.

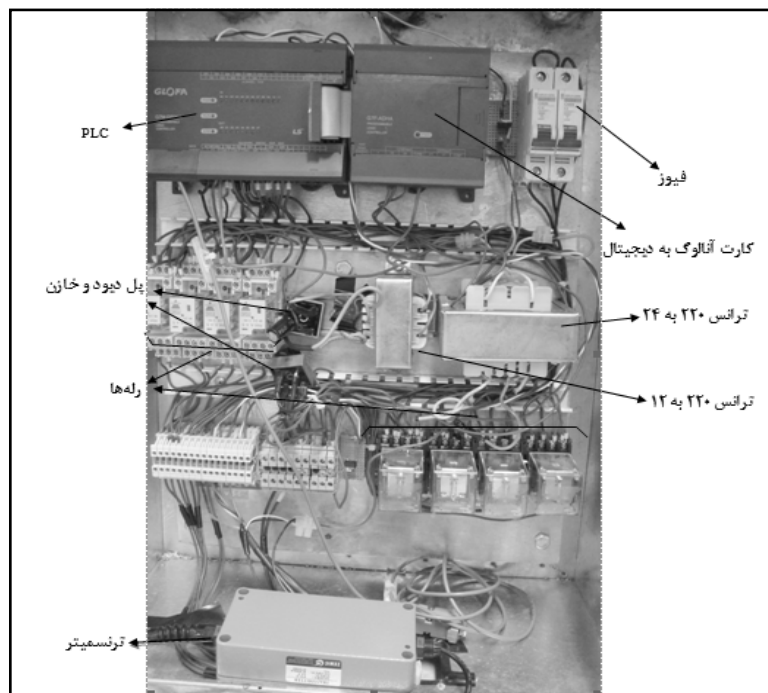
رله، منبع تغذیه جریان مستقیم را با بستن کلیدهایی که در حالت عادی باز هستند به موتور مربوط وصل می‌کند و درجه باز می‌شود. این جریان تا پایان زمانی که برای تایمر آن درجه تعریف شده برقرار است و درجه باز خواهد بود. با اتمام این زمان، با اختلاف زمانی ۵۰۰ میلی‌ثانیه، رله دومی که برای هر موتور در نظر گرفته



شکل ۴- مدار الکتریکی موتور خطی.

جریان الکتریکی متناوب است و برای راه اندازی موتورهای خطی و رله‌ها به جریان مستقیم نیاز است در مسیر خروجی هر دو مبدل ولتاژ از پل دیود برای تبدیل جریان و از خازن برای گرفتن نوسانات جریان استفاده می‌شود. شکل ۵ نمایی از مدار کنترل به همراه اجزای آن را نشان می‌دهد.

همچنین از دو مبدل ولتاژ ۲۲۰ به ۲۴ و ۲۲۰ به ۱۲ ولت به ترتیب برای تغذیه رله‌های الکتریکی و موتورهای خطی و از یک مبدل ولتاژ ۲۲۰ به ۱۲ ولت با شدت جریان ۵۰۰ میلی‌آمپر برای تغذیه حسگر بار استفاده می‌شود. با توجه به این‌که خروجی مبدل‌های ولتاژ،



شکل ۵- مدار کنترل و اجزای آن.

ملاحظات در بخش مکانیکی

ملاحظات طراحی مکانیکی دستگاه از جنبه‌های زیر حائز اهمیت است:

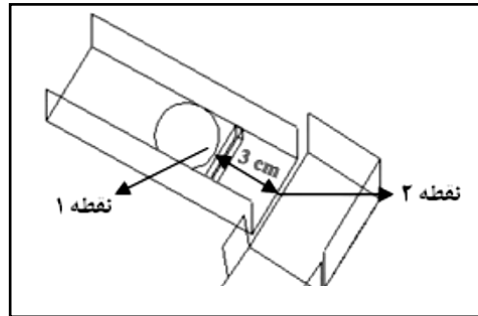
الف- ابعاد دستگاه تا حد امکان کوچک و دستگاه تا حد امکان فشرده در نظر گرفته شد تا ضمن اشغال کم‌ترین فضا توسط دستگاه، جداسازی نیز در کم‌ترین زمان ممکن انجام گیرد. برای این منظور ابعاد اصلی ناودانی‌های ورودی و خروجی شامل طول و عرض ناودانی بر اساس میانگین ابعاد اصلی دو نوع میوه مورد بررسی، انتخاب شد. بر این اساس، طول و عرض ناودانی در قسمت ورودی به

ترتیب ۲۰ و ۱۱ و در قسمت خروجی معادل ۳۰ و ۱۱ سانتی‌متر انتخاب شد.

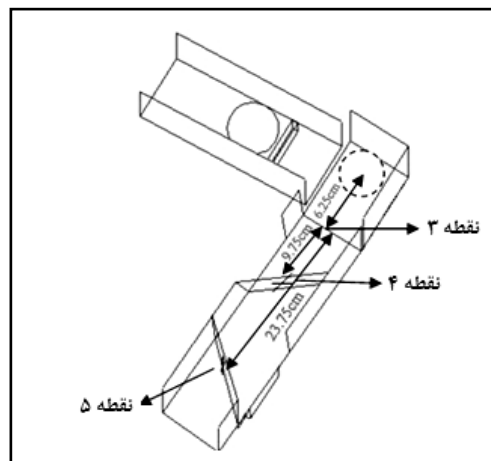
ب- برای دستیابی به بیشینه عملکرد باید سرعت حرکت میوه در بخش‌های ورودی و خروجی و به طور کلی در نقاط مختلف جابه‌جایی در دستگاه بیشینه باشد. ضمن این‌که عملاً صدمه‌ای به میوه وارد نشود و نمونه‌ها نیز در حین جابه‌جایی از مسیر اصلی خود خارج نشوند. بدین منظور، سرعت با استفاده از روابط سقوط آزاد (حرکت با شتاب ثابت) و شتاب حرکت میوه با استفاده از قانون دوم نیوتن در دو مرحله در ناودانی تغذیه و نیز در ناودانی خروجی به

عوامل مؤثر بر عملکرد یک سامانه الکترومکانیکی...

صورت تابعی از زاویه ناودانی‌ها محاسبه شد. حد پایین θ_1 و θ_2 کمترین زاویه‌ای که میوه در روی سطح شیب دار شروع به حرکت می‌کند، در نظر گرفته شد. معادلات ۱ تا ۴ محاسبه سرعت دو نوع میوه سیب و کیوی را در ناودانی‌های ورودی و خروجی و بر اساس شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهند.



شکل ۶- نحوه جابه‌جایی میوه از محل مانع (نقطه ۱) به اتصال ناودانی (نقطه ۲).



شکل ۷- نحوه جابه‌جایی میوه از نقطه وسط صفحه روی حسگر تا محل دریچه‌ها.

روابط ۱ تا ۴ نحوه محاسبه سرعت در روی ناودانی‌های ورودی و خروجی را نشان می‌دهند:

$$v_{IA} = \sqrt{0.589 \sin \theta_1 - 0.0977} \quad (1)$$

$$v_{IK} = \sqrt{0.589 \sin \theta_1 - 0.0947} \quad (2)$$

$$v_{OA} = \sqrt{(4.67 \sin \theta_2 - 0.782) + 0.271} \quad (3)$$

$$v_{OK} = \sqrt{(4.67 \sin \theta_2 - 0.752) + 0.328} \quad (4)$$

v_{IA} = سرعت سیب و v_{IK} = سرعت کیوی روی ناودانی ورودی نقطه ۲ (شکل ۶)؛ v_{OA} = سرعت سیب و v_{OK} = سرعت کیوی روی ناودانی خروجی نقطه ۵ (شکل ۷)؛ و θ_1 = شیب ناودانی ورودی و θ_2 = شیب ناودانی خروجی می‌باشند. روابط ۳ و ۴ بر اساس بیشینه سرعت رسیدن میوه به دریچه دوم جداسازی با فاصله ۲۳/۷۵ سانتی‌متر از ابتدای ناودانی خروجی به دست آمده‌اند.

که در آن‌ها،

ارزیابی دستگاه

تقسیم شدند که در هر دسته توزیع فراوانی وزنی مناسب وجود داشته باشد. سرانجام برای تعیین عملکرد دستگاه بر حسب تعداد در ساعت، زمان صرف شده برای هر میوه از نقطه شروع (پایین آمدن مانع روی سیستم انتقال محصول) تا لحظه خروج میوه از دریچه‌ها با استفاده از زمان سنج با دقت ۰/۰۱ ثانیه ثبت شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی استفاده شد. از نرم‌افزار ام استات_سی^۱ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر میانگین عملکرد دستگاه نشان می‌دهد که ظرفیت کاری این دستگاه از کمینه ۵۲۳/۰۲ میوه بر ساعت تا بیشینه ۸۷۲/۴۰ میوه بر ساعت متغیر است. همچنین با در نظر گرفتن ۸ ساعت کار روزانه برای یک واحد جداساز می‌توان بیشینه ظرفیتی معادل ۱/۳۴ (تن در روز) را برای این دستگاه (یک واحد جداساز) در نظر گرفت. این میزان عملکرد تا حدی پایین‌تر از عملکرد دستگاه‌های مکانیکی موجود است، اما مزایایی مانند دقت بیشتر در جداسازی و بی‌نیاز بودن آن به نیروی انسانی می‌تواند قابل ملاحظه باشد. روشن است که با افزایش تعداد واحدها می‌توان عملکرد مناسب برای یک واحد تجاری جداسازی میوه را فراهم کرد.

در یک بررسی کامل می‌توان عملکرد دستگاه را در کل ناشی از سه عامل طراحی واحد مکانیکی، طراحی واحد الکترونیکی، و پراکندگی در ویژگی‌های فیزیکی محصولات دانست. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مربوط به آزمون اول دستگاه در جدول شماره ۱ و نتایج تجزیه واریانس مربوط به آزمون دوم دستگاه در جدول ۲ آورده شده‌اند.

در ابتدا، زمان لازم برای رسیدن میوه به دریچه‌های خروجی و زمان لازم برای عبور میوه از مانع ورودی، با استفاده از معادلات سقوط آزاد اجسام محاسبه شد و بر اساس آن تایمرهای مربوط به مانع ورودی و دریچه‌ها در داخل برنامه پی. ال. سی تنظیم شدند. با توجه به غلتیدن میوه روی سطوح ورودی و خروجی، نیروی مقاومت غلتشی محاسبه و به عنوان یک نیروی مؤثر در معادلات در نظر گرفته شد. بر اساس عملکرد دستگاه و بر حسب تعداد میوه‌های جدا شده در واحد زمان و با بررسی تأثیر عوامل نوع محصول در دو سطح (سیب و کیوی)، زمان داده شده به حسگر بار در پنج سطح (۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳ ثانیه) و شیب سیستم انتقال محصول در سه سطح (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه) دستگاه ارزیابی شد. همچنین برای بررسی تأثیر شیب مکانیسم جداکننده (شیب خروجی) بر عملکرد دستگاه با دو متغیر شیب مکانیسم جداکننده در سه سطح (۱۰، ۳۰ و ۵۰ درجه) و نوع محصول در دو سطح (سیب و کیوی) آزمایش‌های جداگانه‌ای در نظر گرفته شد. در آزمایش دوم، شیب سیستم انتقال محصول ۳۰ درجه و زمان داده شده به حسگر ۳ ثانیه به طور ثابت در نظر گرفته شد. از هر یک از نمونه‌های سیب و کیوی ۱۵۰ عدد برای آزمایش اول و ۳۰ عدد برای آزمایش دوم به صورت تصادفی انتخاب شدند. نمونه‌ها ابتدا با ترازو توزین شدند و پس از آن نمودار فراوانی وزنی برای هر یک از دو نوع محصول رسم شد. بر اساس این دو نمودار سه بازه وزنی برای هر یک از دو نوع میوه انتخاب شد. بازه‌های وزنی به نحوی انتخاب شدند که تعداد میوه‌های قرار گرفته در هر سه بازه وزنی با هم برابر باشد. در ادامه، نمونه‌های مربوط به هر نوع میوه به دسته‌های ۱۰ تایی به نحوی

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین متغیرهای مستقل مؤثر بر عملکرد دستگاه (آزمون ۱)

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۹۳۲/۱۱۵ ^{ns}	۹	تکرار
۲۸۹۷۳/۲۳۲**	۱	نوع محصول
۱۸۱۱۸/۶۷۳**	۲	شیب ورودی
۷۲۵۸۳۲/۳۸۴**	۴	زمان حسگر
۱۳۰۴/۶۴۹ ^{ns}	۲	نوع محصول × شیب ورودی
۷۰۱۴/۳۶۱**	۴	نوع محصول × زمان حسگر
۲۵۹۲/۵۰۱*	۸	شیب ورودی × زمان حسگر
۱۶۲۶/۹۸۸ ^{ns}	۸	اثر سه گانه
۱۰۲۹/۲۷۳	۲۶۱	خطا
-	۲۹۹	مجموع

** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns فاقد اثر معنی دار

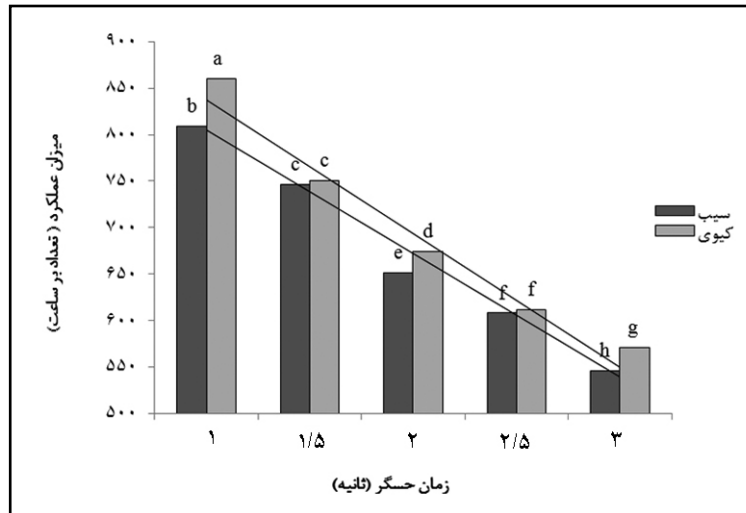
معنی داری برای هر دو میوه سیب و کیوی کاهش پیدا می کند؛ دلیل این موضوع افزایش زمان مورد نیاز برای درجه بندی هر میوه است که در نهایت منجر به کاهش عملکرد دستگاه می شود. همچنین مشاهده می شود که عملکرد دستگاه به طور معنی داری برای محصول کیوی بیش از سیب است که به دلیل استوانه ای بودن کیوی و غلتش بهتر آن و نیز پایین بودن مقاومت غلتشی آن است. بر این اساس به نظر می رسد که عملکرد دستگاه در وهله اول به زمان حسگر بار و سپس شکل میوه بستگی دارد.

از جدول ۱ استنباط می شود که اثر تمامی عوامل به استثنای اثر سه گانه و اثر متقابل دوگانه نوع محصول × شیب ورودی بر میزان عملکرد مؤثر بوده است. با توجه به مبانی بررسی آماری، بررسی ابتدا از اثر دوگانه آغاز می شود. به نظر می رسد که اثر دوگانه نوع محصول × زمان تنظیم شده برای حسگر مهم ترین عوامل مؤثر بر عملکرد هستند. به طوری که بر اساس شکل ۸ که میانگین عملکرد دستگاه را بر حسب زمان حسگر نشان می دهد، با افزایش زمان حسگر بار، عملکرد دستگاه به طور

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین متغیرهای مستقل مؤثر بر عملکرد دستگاه (آزمون ۲)

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۶۱۹/۸۶۱ ^{ns}	۹	تکرار
۱۳۶۴/۵۸۲*	۱	نوع محصول
۹۰۲۲/۵۹۹**	۲	شیب خروجی
۹۲/۳۷۴ ^{ns}	۲	نوع محصول × شیب
۳۸۹/۲۴۶	۴۵	خطا
-	۲۹۹	مجموع

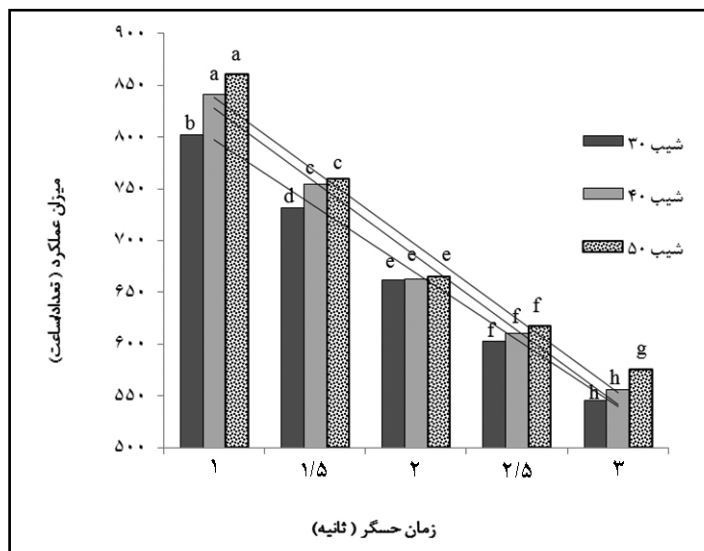
** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns فاقد اثر معنی دار



شکل ۸- نحوه تغییرات عملکرد دستگاه درجه بندی بر اساس نوع محصول در زمان های تنظیم شده برای حسگر بار.

این ارتباط، شیب ورودی در هر سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند و می توان تأثیر متقابل شیب ورودی و زمان حسگر بار را در شکل ۹ مشاهده کرد. با توجه به شکل ۹، بیشترین عملکرد در زمان ۱ ثانیه و شیب ورودی ۵۰ درجه به دست آمده است.

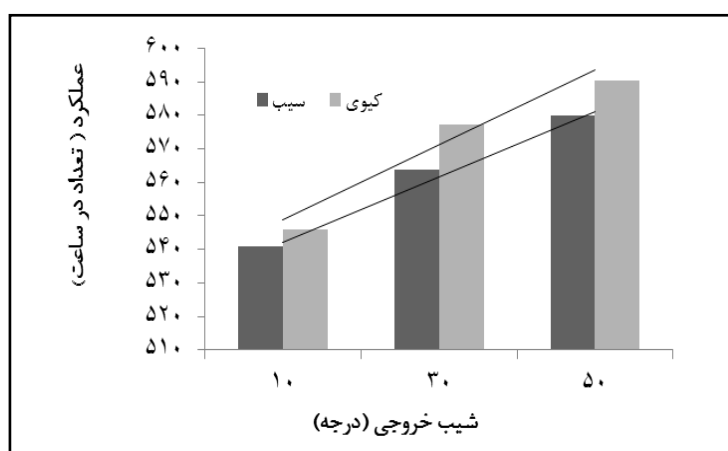
در عین حال عامل شیب ورودی نیز تا حدی بر عملکرد مؤثر است به طوری که با افزایش شیب عملکرد دستگاه به طور معنی داری افزایش پیدا می کند؛ دلیل این موضوع رابطه مستقیم افزایش شیب با سرعت انتقال میوه از پشت مانع ورودی به قسمت توزین است که به کاهش زمان مورد نیاز برای درجه بندی هر میوه می انجامد. در



شکل ۹- نحوه تغییرات عملکرد دستگاه درجه بندی بر اساس شیب ورودی در زمان های تنظیم شده برای حسگر بار.

احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند که این هم می‌تواند به دلیل ارتباط مستقیم شیب مکانیسم جداکننده با سرعت میوه در زمان خروج از دستگاه باشد؛ ضمن اینکه عامل نوع میوه هم بر عملکرد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داده است. شکل ۱۰ تغییرات عملکرد دستگاه را بر اساس نوع محصول در سه سطح شیب خروجی نشان می‌دهد.

بر اساس شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود که بسته به مدت زمان تعیین شده برای حسگر، میزان شیب و نوع محصول، میزان عملکرد از ۵۴۵ تا ۸۶۰ عدد در ساعت تغییر می‌کند که خود بیانگر تغییراتی در محدوده ۱۲ تا ۱۸ درصد از کل عملکرد دستگاه است. بر اساس جدول شماره ۲، مشاهده می‌شود که شیب خروجی در هر سه سطح ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درجه، از لحاظ عملکرد در سطح



شکل ۱۰- نحوه تغییرات عملکرد دستگاه درجه بندی بر اساس نوع محصول در سه سطح شیب خروجی.

در بین کنترل‌کننده‌های موجود در بازار سرعت و دقت بالاتری دارد.

۲- یکی دیگر از عوامل مؤثر بر عملکرد دستگاه تنظیم بهینه زمان‌سنج‌ها در داخل برنامه پی. ال. سی است که باید با محاسبه دقیق زمان عبور میوه از روی مانع و همچنین زمان لازم برای عبور میوه از دریچه‌ها تا حد امکان کاهش یابد. این شرایط منجر به کاهش زمان لازم برای جدا شدن هر میوه و در نتیجه افزایش عملکرد دستگاه می‌شود.

۳- طراحی مناسب قسمت مکانیکی در کنار استفاده از یک سیستم کنترل با سرعت و دقت بالا می‌تواند دقت و عملکرد بالایی در جداسازی به دست دهد. نتایج آزمایش و ارزیابی دستگاه درجه‌بندی الکترومکانیکی میوه بر اساس

نتیجه‌گیری

در صورتی که عامل زمان مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر عملکرد دستگاه جداکننده الکترونیکی در نظر گرفته شود، در بررسی عملکرد آن می‌توان به طور خلاصه به موارد زیر اشاره کرد:

۱- در ساخت قسمت مکانیکی دستگاه این موضوع مدنظر قرار گرفت که دستگاه به گونه‌ای طراحی شود که میوه کمترین توقف را در کل زمان سیکل جداکنندگی داشته باشد و برای جابه‌جایی میوه بین قسمت‌های مختلف از نیروی ثقل بیشترین استفاده برده شود. در مورد سامانه کنترل نیز، با توجه به این‌که سرعت عمل و دقت آن می‌تواند بر میزان عملکرد و دقت جداسازی دستگاه تأثیر داشته باشد، از پی. ال. سی استفاده شد که در حال حاضر

وزن نشان داد که چهار متغیر مستقل: نوع محصول، شیب بخش ورودی انتقال میوه، زمان داده شده به حسگر بار، و شیب خروجی (شیب مکانیسم جداکننده) بر عملکرد دستگاه تأثیر معنی داری دارند. در این ارتباط بیشینه عملکرد برای کیوی در شیب ورودی ۵۰ درجه و در زمان ۱ ثانیه معادل ۸۷۲/۴۰ (عدد در ساعت) به دست آمد.

۴- شیب ورودی تأثیر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دارد و با افزایش شیب، عملکرد افزایش می یابد. شیب خروجی نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دستگاه معنی دار است و با افزایش این شیب میزان عملکرد افزایش می یابد که در بیشترین حالت افزایش عملکرد ۱۰ درصد است.

۵- تأثیر معنی دار نوع میوه بر میزان عملکرد به واسطه شکل میوه است، به طوری که کیوی در مقایسه با سیب به دلیل استوانه ای بودن و غلتش بهتر در مسیر جداسازی، عملکرد بالاتری دارد که این تفاوت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است.

مراجع

- Al-Ohali, Y. 2011. Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. J. King Saud University (Comput. Info. Sci.). 23, 29–36.
- Anon. 2006. Iran Agricultural statistical Data. Ministry of Jihad-e-Agriculture Pub. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Carlomagno, G., Capozzo, L., Attolico, G. and Distanto, A. 2004. Non-destructive grading of peaches by near-infrared spectrometry. Infrared Phys. Technol. 46(1-2): 23–29.
- Chamberlin, D. W. and Irving, D. W. 1978. Apparatus for Mechanically Sorting Fruit. U. S. Patent. No. 4081362. Available at: <http://www.uspto.gov/>, <http://www.freepatentsonline.com>
- Esmaelie-Jokandan, M. 2009. Determination of Physical and Mechanical Properties of Orang in two common varieties of North Region. M. Sc. Thesis. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. Iran. (in Farsi)
- Fellows, P. J. 1990. Food Processing Technology, Principles and Practices. Ellis-Horwood Limited. A Division of Simon & Schuster International Group. New York..
- Hoover, M. C. and Coddling, E. M. 1976. Color Sorting Apparatus. U. S. Patent. No. 3980181. Available at: <http://www.uspto.gov/>, <http://www.freepatentsonline.com>
- Husome, R. G., Fleming, R. J. and Swanson, R. E. 1978. Color Sorting System. U. S. Patent. No. 4131540. Available at: <http://www.uspto.gov/>, <http://www.freepatentsonline.com>
- Jarimopas, B., Toomsaengtong, S. and Inprasit, C. 2007. Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine. J. Food Eng. 79(3): 745- 751.
- Leemans, V. and Destain, M. F. 2004. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. J. Food Eng. 61, 83–89.
- Lorestani, A., Omid, M., Baghery-Shuraki, S., Borgheie, A. M. and Tabatabaiefar, A. 2006. Design and verification of a fuzzy system on golden delicious apple grading based on color and size. Proceedings of the 4th National Congress on Agricultural Machinery and Mechanization. Aug. 29-30. Tabriz, Iran. (in Farsi)

- Riyadi, S., Marzuki Mustafa, M., Hussain, A. and Hamzah, A. 2007. Papaya fruit grading based on size using image analysis. Proceeding of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics. June. 17-19. Institute Teknologi Bandung. Indonesia.
- Shafieie, S. 2007. Determination of Mechanical Properties of Apple and Analysing of Bruises due to Impact. M.Sc. Thesis. University of Eurumia. Eurumia. Iran. (in Farsi)
- Tabatabaie-Kolur, R. and Hashemi, J. 2008. Grading of citrus fruits by using centrifugal force. Proceedings of the 5th National Congress on Agricultural Machinery and Mechanization. Aug. 27-28. Mashhad. Iran. (in Farsi)
- Unaya, D., Gosselinb, B., Kleynenc, O., Leemansc, V., Destainc, M. F. and Debeird, O. 2011. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Comput. Electron. Agric.* 75, 204–212.
- Xiaobo, Z., Jiewen, Z. and Yanxiao, L. 2007. Apple color grading based on organization feature parameters. *Pattern Recogn. Lett.* 28(15): 2046–2053.



Factors Affecting the Performance of an Apple and Kiwi-Fruit Electronic Grading System

E. Bakhshizadeh, A. H. Afkari-Sayyah*, Y. Abbaspour-Gilandeh and M. Rasekh

* Corresponding Author: Assistant Professor, Dept. of Farm Machinery, University of Mohaghegh Ardabili, P.O.Box 179, Ardabil, Iran, E-mail: ahafkari@gmail.com.

Received 13 September 2010, Accepted: 14 July 2012

An electronically automated system for grading fruits was designed and its performance was evaluated. The machine comprised of two electronic and mechanical sections; the fruit passed through them and was graded by weight using a 30 N load cell and a supported control. Then The effect of four independent variables on machine performance was investigated. The independent variables in the first test were fruit type (two types), input slope (30°, 40°, 50°), and sensing time (1, 1.5, 2, 2.5, 3 sec). In the second test, the independent factors were fruit shape (apple, kiwi,-fruit) and output slope (10°, 30°, 50°). Three main factors were statistically significant for machine performance (fruits/sec). It was found that the most important factor was the timing of the load cell. Optimum correction of the timers by calculating the timing of fruit passing the sections and gates increased the performance of the machine. Results showed that maximum capacity was achieved for kiwi fruit with an input slope of 50° and 1 sec of time for the load cell, totaling 872.4 fruits/hr.

Keywords: Apple, Electronic system, Grading, Kiwi fruit, Weight