مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۳/ شماره ۳/سال ۱۳۹۱/ص ۷۶-۶۳

عوامل مؤثر بر عملکرد یک سامانه الکترومکانیکی درجه‌بندی سیب و کیوی

ابراهیم بخشی‌زاده، امیرحسین افکاری‌سیاح*، یوسف عباسپور گیلانده 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

** به‌ترتیب: 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 درجه‌بندی 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 ٤ 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، ٤۰، و ۵۰ درجه) و زمان داده شده به حسگر بار (۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، و 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، مدت‌زمان حسگر است که اثر متقابل آن نیز بر عملکرد دستگاه معنی‌دار است، به طوری‌که می‌توان با تنظیم بهینه زمان‌سنج‌ها در داخل برنامه PLC زمان لازم برای جداشدن 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 ۸۷۲/٤۰ (عدد در ساعت) است.

واژه‌های کلیدی

حسگر بار، درجه‌بندی، سامانه الکترونیکی، سیب، کیوی، وزن

مقدمه

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. بسته‌بندی صحیح محصولات منوط به دسته‌بندی 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 طوری‌که 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

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 طویل 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 (Leemans & Destain, 2004). آل اوهالی (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 فروسرخ عبور کرده از محصول، سطح رسیدگی میوه هلو را مشخص کنند؛ در این تحقیق عملاً از هیچ نوع سیستم مکانیکی برای درجه‌بندی استفاده نشد.

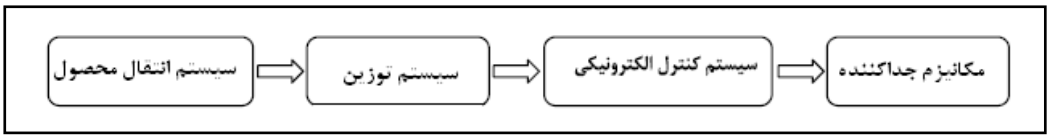
همین‌طور می‌توان به دو پژوهش گزیابو و همکاران (Xiaobo *et al*., 2007) و اونایا و همکاران (Unaya *et al*., 2011) برای جداسازی سیب بر مبنای ویژگی‌های ظاهری به کمک روش ماشین بینایی اشاره کرد. در این دو پژوهش نیز صرفا بررسی سامانه جداسازی کیفی، به ویژه از لحاظ دقت، مد نظر محققان بوده است. از دیگر پژوهش‌ها درباره روش‌های جداسازی کیفی محصولات می‌توان به تحقیقات طباطبایی‌کلور و هاشمی (Tabatabaie-Kolur & Hashemi, 2008)؛ لرستانی 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 صرفا می‌توان از تحقیقات اولیه هوسام و همکاران (Husome *et al*., 1978)، چامبرلین و ایروینگ (Irving & Chamberlin, 1978) و تحقیق هوور و کودینگ (Hoover & Codding, 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 تاثیر 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،

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 جریانی 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 می‌غلتد. 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 آن‌را تغذیه کند. از این‌رو در نمونه آزمایشگاهی ساخته شده تغذیه به صورت دستی انجام گرفت.

سامانه توزین

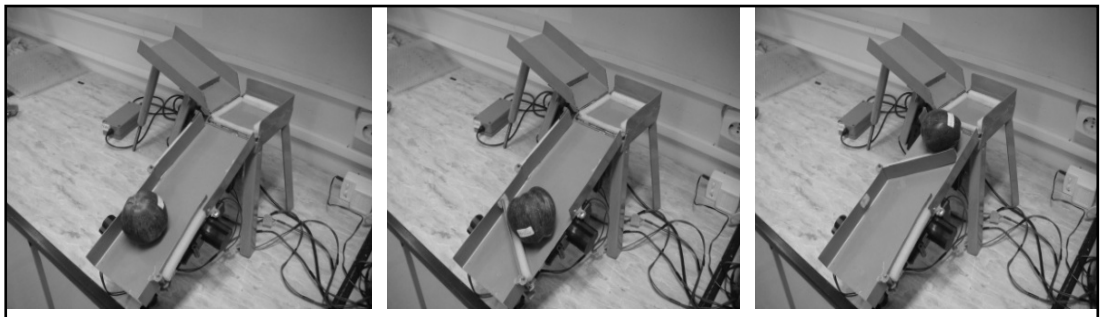
برای طراحی قسمت توزین ابتدا یک قاب فلزی با استفاده از نبشی فولادی ۲۰×۳۰ به طول ۱۳و عرض ۱۱ سانتی‌متر ساخته شد. لودسل وزنی ساخت شرکت BONGSHING با ظرفیت ۳۰ N در راستای طول این قاب به نحوی قرار گرفت که یک سر آن به کمک دو پیچ به نقطه وسط ضلع کوچک قاب ثابت شد. برای انتقال وزن میوه به روی سر دیگر لودسل از دو صفحه استفاده شد که این دو صفحه با ابعاد ۱۰/۵×۱۲/۵ 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

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 بدین‌ترتیب دسته سوم محصولات به‌طور مستقیم از ناودانی خارج می‌شوند.

برای منحرف کردن میوه‌ها از مسیر مستقیم در ناودانی از صفحه‌ای به ابعاد۴×۱۳ سانتی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر استفاده شد که با یک موتور خطی تحت یک مکانیسم لولایی عمل می‌کند (شکل ۲).



(الف) (ب) (ج)

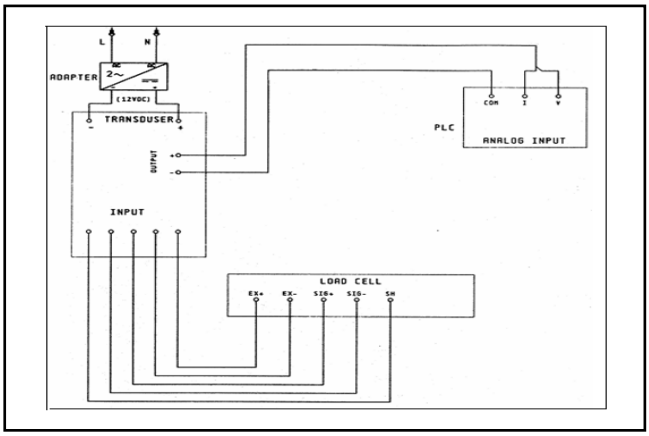
شکل ۲- مکانیسم جداکننده (الف) ورود میوه به مخزن اول، (ب) ورود میوه به مخزن دوم، (ج)ورود میوه به مخزن سوم.

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، سینگال خروجی از حسگر بار در یک ترانسمیتر[1] 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 مراحلی 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 عبارت‌اند 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 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 این‌که 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 می‌غلتد 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 مراحلی که قبلا اشاره شد به سیگنال

1 -Transmitter

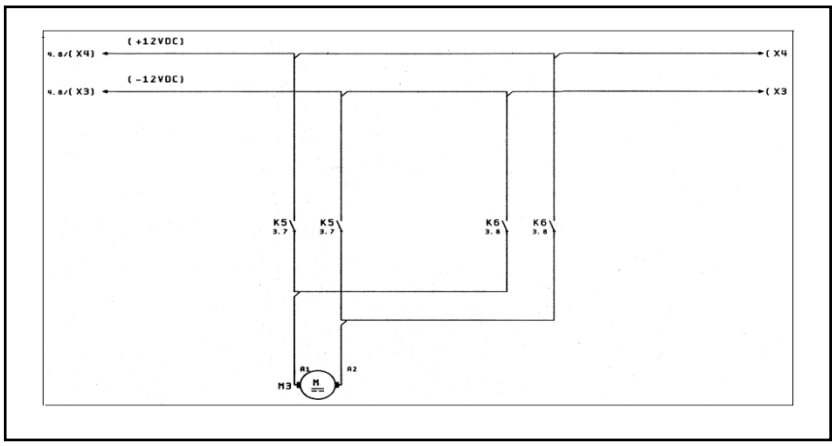
دیجیتال تبدیل و وارد هر سه بلوک مقایسه‌گر می‌شود. در صورتی‌که سیگنال خروجی در هر یک از بازه‌ها قرار گیرد خروجی آن یک سیگنال دیجیتال جریان مستقیم را به رله مخصوص دریچه ارسال می‌کند.



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

رله، منبع تغذیه جریان مستقیم را با بستن کلیدهایی که در حالت عادی باز هستند به موتور مربوط وصل می‌کند و دریچه باز می‌شود. این جریان تا پایان زمانی که برای تایمر آن دریچه تعریف شده برقرار است و دریچه باز خواهد بود. با اتمام این زمان، با اختلاف زمانی ۵۰۰ میلی‌ثانیه، رله دومی که برای هر موتور در نظر گرفته شده فعال می‌شود و منبع تغذیه به نحوی که جهت جریان آن مخالف حالت قبلی است به موتور خطی وصل و دریچه بسته می‌شود (شکل ۴).

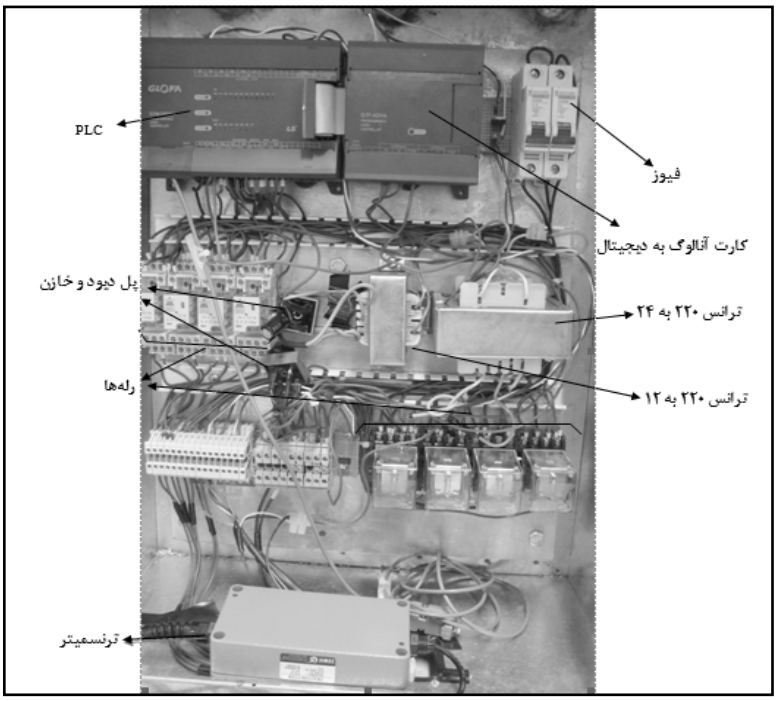
در این مدار با توجه به ۴ عدد موتور خطی که باید در دستگاه کنترل شوند از ۸ رله الکتریکی استفاده می‌شود.



شکل ٤- مدار الکتریکی موتور خطی.

همچنین از دو مبدل ولتاژ ۲۲۰ به ۲۴ و ۲۲۰ بـه ۱۲ ولت به ترتیب برای تغذیه رله‌های الکتریکـی و موتورهـای خطی و از یـک مبـدل ولتـاژ ۲۲۰ بـه ۱۲ ولـت بـا شـدت جریان ۵۰۰ میلی‌آمپـر بـرای تغذیـه حسـگر بـار اسـتفاده می‌شود.

بـا توجـه بـه ایـن‌کـه خروجـی مبـدل‌هـای ولتـاژ، جریان الکتریکی متناوب است و برای راه‌اندازی موتورهـای خطی و رله‌هـا بـه جریـان مسـتقیم نیـاز اسـت در مسـیر خروجی هر دو مبدل ولتاژ از پل دیود برای تبـدیل جریـان و از خازن برای گرفتن نوسانات جریان اسـتفاده مـی‌شـود. شکل ۵ نمایی از مدار کنترل به همراه اجـزای آن را نشـان می‌دهد.



شکل ۵- مدار کنترل و اجزای آن.

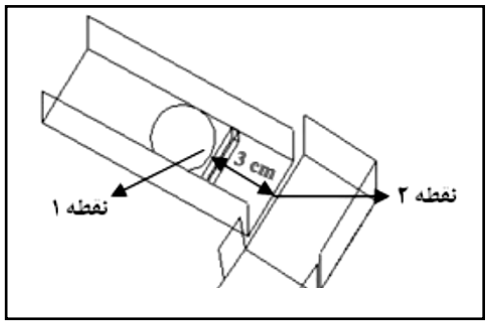
ملاحظاتی در بخش مکانیکی

ملاحظات طراحی مکانیکی دستگاه از جنبه‌هـای زیـر حائز اهمیت است:

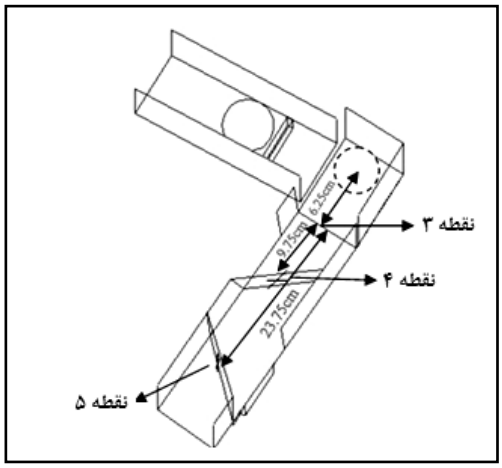
الف- ابعاد دستگاه تا حد امکان کوچک و دسـتگاه تـا حـد امکان فشرده در نظر گرفته شد تا ضمن اشـغال کـم‌تـرین فضا توسط دستگاه، جداسازی نیز در کم‌ترین زمان ممکـن انجام گیرد. بـرای ایـن منظـور ابعـاد اصـلی نـاودانی‌هـای ورودی و خروجی شامل طول و عـرض نـاودانی بـر اسـاس میانگین ابعاد اصلی دو نوع میوه مورد بررسی، انتخاب شد. بر این اساس، طول و عرض نـاودانی در قسـمت ورودی بـه ترتیـب ۲۰ و ۱۱ و در قسـمت خروجـی معـادل ۳۰ و ۱۱ سانتی‌متر انتخاب شد.

ب- برای دستیابی به بیشینه عملکرد باید سـرعت حرکـت میوه در بخش‌های ورودی و خروجی و به طورکلی در نقاط مختلف جابه‌جایی در دستگاه بیشینه باشد. ضمن ایـن‌کـه عملاً صدمه‌ای به میوه وارد نشود و نمونه‌هـا نیـز در حـین جابه‌جایی از مسیر اصلی خود خارج نشوند. بدین منظـور، سرعت با استفاده از روابط سـقوط آزاد (حرکـت بـا شـتاب ثابت) و شتاب حرکت میوه با استفاده از قـانون دوم نیـوتن در دو مرحله در ناودانی تغذیه و نیز در ناودانی خروجی بـه

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.



شکل٦- نحوه جابه جایی میوه از محل مانع (نقطه ۱) به اتصال ناودانی (نقطه ۲).



شکل۷- 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:

$$v_{IA} = \sqrt{0.589 \sin\theta_1 - 0.0977} \quad (۱)$$

$$v_{IK} = \sqrt{0.589 \sin\theta_1 - 0.0947} \quad (۲)$$

$$v_{OA} = \sqrt{(4.67 \sin\theta_2 - 0.782) + 0.271} \quad (۳)$$

$$v_{OK} = \sqrt{(4.67 \sin\theta_2 - 0.752) + 0.328} \quad (۴)$$

که در آن‌ها، 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 (شکل۷)؛ 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.

ارزیابی دستگاه

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، 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 بازه‌وزنی 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 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 زمان‌سنج با دقت ۰/۰۱ ثانیه ثبت شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی استفاده شد. از نرم‌افزار ام استات_سی[1] 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 درجداسازی 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.

1-MSTAT-C

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

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

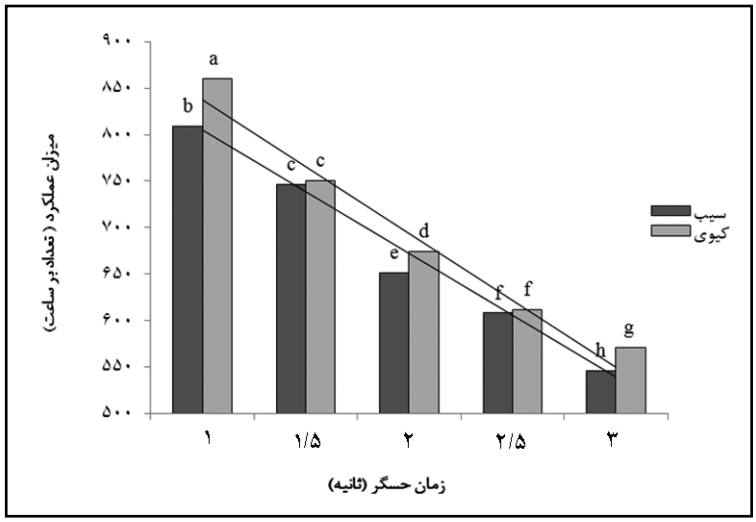
** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱،* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵و ns فاقد اثر معنی‌دار

از جدول ۱ استنباط می‌شود که اثر تمامی عوامل به استثنای اثر سه‌گانه 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 می‌شود. به نظر می‌رسد که اثر دوگانه نوع محصول × زمان تنظیم شده برای حسگر مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد هستند. به طوری‌که بر اساس شکل ۸ که میانگین عملکرد دستگاه را بر حسب زمان حسگر نشان می‌دهد، با افزایش زمان حسگر بار، عملکرد دستگاه به طور معنی‌داری برای هر دو میوه سیب و کیوی کاهش پیدا می‌کند؛ دلیل این موضوع افزایش زمان مورد نیاز برای درجه‌بندی هر میوه است که در نهایت منجر به کاهش عملکرد دستگاه می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که عملکرد دستگاه به طور معنی‌داری برای محصول کیوی بیش از سیب است که به دلیل استوانه‌ای بودن کیوی و غلتش بهتر آن و نیز پایین بودن مقاومت غلتشی آن است. بر این اساس به نظر می‌رسد که عملکرد دستگاه در وهله اول به زمان حسگر بار و سپس شکل میوه بستگی دارد.

جدول۲- تجزیه واریانس میانگین متغیرهای مستقل مؤثر بر عملکرد دستگاه (آزمون ۲)

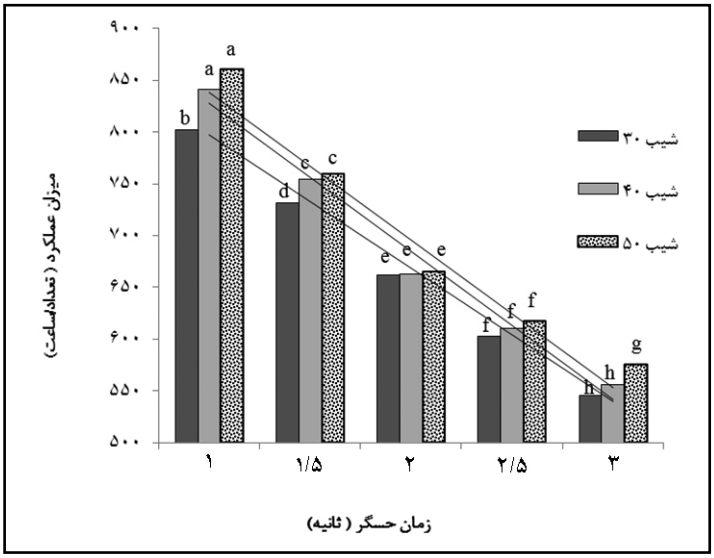
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
تکرار	۹	۶۱۹/۸۶۱^{ns}
نوع محصول	۱	۱۳۶۴/۵۸۲*
شیب خروجی	۲	۹۰۲۲/۵۹۹**
نوع محصول × شیب	۲	۹۲/۳۷۴^{ns}
خطا	۴۵	۳۸۹/۲۴۶
مجموع	۲۹۹	-

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



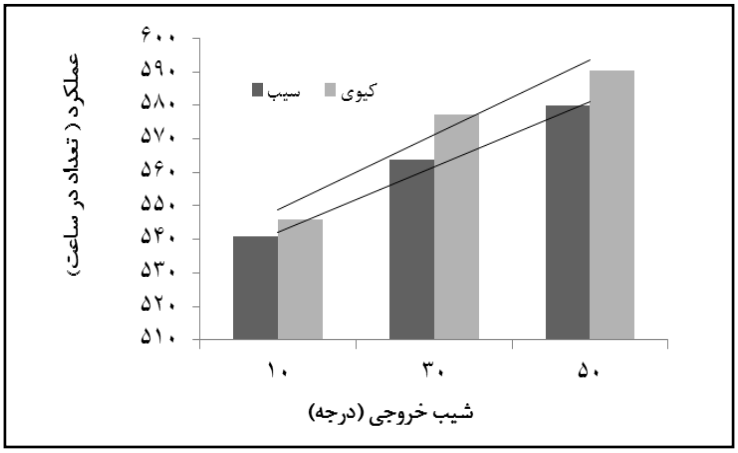
شکل ۸- نحوه تغییرات عملکرد دستگاه درجه‌بندی بر اساس نوع محصول در زمان‌های تنظیم شده برای حسگر بار.

در عین حال عامل شیب ورودی نیز تا حدی بر عملکرد مؤثر است به طوری‌که با افزایش شیب عملکرد دستگاه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند؛ دلیل این موضوع رابطهٔ مستقیم افزایش شیب با سرعت انتقال میوه از پشت مانع ورودی به قسمت توزین است که به کاهش زمان مورد نیاز برای درجه‌بندی هر میوه می‌انجامد. در این ارتباط، شیب ورودی در هر سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند و می‌توان 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.



شکل ۹- نحوه تغییرات عملکرد دستگاه درجه‌بندی بر اساس شیب ورودی در زمان‌های تنظیم شده برای حسگر بار.

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 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.



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

نتیجه‌گیری

در صورتی‌که 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 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 جداشدن 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 الکترونیکی میوه بر اساس

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 معنی‌داری 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 معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دارد و با افزایش شیب، عملکرد افزایش می‌یابد. شیب خروجی نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دستگاه معنی‌دار است و با افزایش این شیب میزان عملکرد افزایش می‌یابد که در بیشترین حالت افزایش عملکرد ۱۰ درصد است.

۵- تأثیر معنی‌دار نوع میوه بر میزان عملکرد به واسطه شکل میوه است، به طوری که کیوی در مقایسه با سیب به دلیل استوانه‌ای بودن و غلتش بهتر در مسیر جداسازی، عملکرد بالاتری داردکه این تفاوت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار 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 Distante, 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 Divisoin of Simon & Schuster International Group. New York..

Hoover, M. C. and Codding, 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 gradingbased 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.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.13/No.3/2012/P:63-76*

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.
Received13 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