بومی سازی ماشین سورتینگ سیب‌زمینی بر اساس نیاز کشاورزان غرب کشور

فرشید یاری[۱]، کاوه ملازاده[۲]، جلال خدائی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ farshidyarisgs@gmail.com
[۲]استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ k.mollazade@uok.ac.ir
[۳]استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ j.khodaei@uok.ac.ir

چکیده

سیب‌زمینی یکی از محصولات زراعی بسیار مهم در جهان و به‌خصوص در ایران است. قرارگیری این محصول در جایگاه پنجم تولیدات کشاورزی و پس از محصولاتی همچون گندم، شیر، نیشکر و گوجه‌فرنگی، اهمیت این محصول استراتژیک را بیان می‌کند. بر این اساس هدف از این پژوهش، طراحی، ساخت و بومی‌سازی دستگاه سورتینگ سیب‌زمینی مبتنی بر فناوری بینایی ماشین به‌منظور جداسازی محصول سیب‌زمینی در پنج کلاس مختلف شامل سیب‌زمینی غیرقابل‌مصرف، بذری، مصرفی بازار، قابل‌استفاده در صنایع فراوری و عروسکی شکل در منطقه غرب ایران می‌باشد. در این مقاله صرفاً به مباحث مربوط به طراحی بخش‌های مکانیکی و الکترونیکی دستگاه و نیز انجام محاسبات مربوط به تعیین سرعت کاری، توان راه‌اندازی و نیز ظرفیت کاری آن پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: بینایی ماشین، جداسازی، کنترل.

Localization of potato sorting machine based on the needs of Iran's west farmers

Farshid Yari[1], Kaveh Mollazade[2], Jalal Khodaei[3]

[1]M.Sc. student, Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, farshidyarisgs@gmail.com
[2]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, k.mollazade@uok.ac.ir
[1]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, j.khodaei@uok.ac.ir

ABSTRACT

Potato is one of the most important crops in the world and especially in Iran. The placement of potato on the fifth rank after wheat, milk, sugar cane, and tomato in terms of production shows the importance of this strategic product. Accordingly, the aim of this study was design, fabrication, and localization of a sorting machine to separate five classes of potato, namely non-consumable, seed, market, processing industry, and deformed-shape, according to the needs of Iran's west farmers. In this paper, only topics related to the design of mechanical and electrical parts of sorting machine as well as calculations of working speed, setting up power, and working capacity have been addressed.

Keywords: Machine vision, Separation, Control.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۱- فرشید یاری - سنندج، بلوار علامه حمدی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، گروه مهندسی بیوسیستم - ۰۹۱۸۶۵۵۶۵۲۳

۱- مقدمه

سیب‌زمینی یک ماده غذایی ارزشمند است که به شکل‌های متفاوتی همچون سیب‌زمینی پخته، سیب‌زمینی سرخ‌شده، نشاسته سیب‌زمینی، چیپس سیب‌زمینی، آرد سیب‌زمینی و قرص سیب‌زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Golmohammadi et al., 2013). حجم بالای تولید و مصرف سیب‌زمینی انجام عملیات فرآوری را ضروری می‌سازد؛ به همین دلیل فرآیند سورتینگ مهم‌ترین پیش‌نیاز عملیات فرآوری سیب‌زمینی است. نبود مرز مشخص ازل حاظ شکلی و ابعادی در محصول سیب‌زمینی باعث شده است که تعریف دقیق و مشخصی از گروه‌های مختلف سیب‌زمینی در جهان وجود نداشته باشد. در استاندارد اولیه تقسیم‌بندی سیب‌زمینی، سیب‌زمینی به سه دسته با شکل مناسب (سیب‌زمینی که دارای شکل و نوع ثابتی است)، سیب‌زمینی با شکل نسبتاً مناسب (سیب‌زمینی که تغییر شکل کمی پیدا کرده باشد یا دارای شکل دمبلی باشد) و سیب‌زمینی‌های نامناسب (تغییر شکل بیش‌ازحد یا دفرمه شده) تفکیک می‌گردد (Anonymous, 1997). طبق استاندارد USDA سیب‌زمینی به پنج دسته با محدوده ابعاد مشخص تقسیم‌بندی می‌شود (Heinemann et al., 1996). پارامترهای مهم جهت جداسازی و درجه‌بندی محصول سیب‌زمینی عبارتند از اندازه، شکل و نقایص خارجی که توسط یک سامانه بینایی مناسب قابل‌تشخیص و اندازه‌گیری می‌باشد. دستگاه‌های خودکار جداساز محصولات کشاورزی علی‌رغم اینکه از لحاظ عملکرد نسبت به دستگاه‌های جداساز سنتی بهبود پیداکرده‌اند، اما پیچیدگی فرآیندهای موجود در آن‌ها از نقاط ضعف این دستگاه‌ها است (Tao, et al., 1990; Heinemann et al., 1996; Pedreschi et al., 2016).

برای درجه‌بندی انجیر Baigvand et al. (2015) دستگاهی را طراحی کردند که با ظرفیت کاری ۹۰ کیلوگرم بر ساعت می‌توانست با صحت ۹۵/۲ درصد انجیرها را در پنج طبقه مجزا و بر اساس سه مشخصه اصلی رنگ، اندازه و اندازه شکاف دهنه انجیر جداسازی نماید. Blasco et al. (2009) یک دستگاه به‌منظور جداسازی محصول انار ارائه کردند که از سه واحد پیوسته تغذیه، بازرسی و واحد خروجی تشکیل شده بود. هرکدام از این سه بخش طراحی مربوط به خود را داشت. اما ازآنجایی‌که مشاهدات و تصمیم‌گیری‌ها در محفظه تصویربرداری انجام می‌شد، فرآیند جداسازی وابسته به طراحی صحیح این محفظه گزارش شد. دستگاه جداساز طراحی‌شده توسط Golmohammadi et al. (2013) از سه واحد تغذیه، پردازش و جدا کن تشکیل‌شده است. در این دستگاه محصول سیب‌زمینی با یک نرخ ثابت توسط نوار نقاله با قابلیت تنظیم زاویه بالابرندگی به واحد پردازش منتقل می‌شود. الگوریتم به‌کاربرده شده پس از تعیین اندازه محصول، بر اساس شاخص مساحت سطح اقدام به جداسازی توسط دمنده‌های بادی واقع در بخش جداکن می‌کرد. این پژوهشگران گزارش نمودند که مشکل عمده در فرآیند جداسازی سیب‌زمینی مشتمل بر وجود اشکال نامنظم، بی‌قاعده و سایر عیوب ظاهری در محصول است. ElMasry et al. (2012) یک دستگاه برخط را توسعه دادند که توانایی جداسازی سیب‌زمینی‌هایی بافرم بدشکل و بی‌قاعده را از محصول با شکل مناسب دارا بود. ویژگی‌های استخراج‌شده از تصاویر مشتمل بر مشخصه‌های هندسی (همانند محیط، مرکز ثقل، مساحت، عرض و طول) و مشخصه‌های شکل مبتنی بر تبدیل فوریه بود. Noordam et al. (2000) برای درجه‌بندی سیب‌زمینی دستگاهی با ظرفیت کاری ۱۲ تن در ساعت را ارائه کردند. این سامانه توانایی پردازش ۵۰ عدد سیب‌زمینی در ثانیه را داشت. واحد انتقال از دو ردیف نوار نقاله زاویه‌دار، که به‌صورت V شکل نسبت به هم قرارگرفته بودند، تشکیل‌شده بود که راهکار بسیار مناسبی جهت انتقال و تک کردن سیب‌زمینی بود.

هدف این پژوهش بومی‌سازی یک دستگاه سورتینگ سیب‌زمینی مبتنی بر فناوری بینایی ماشین و متناسب با نیاز بازار ایران و به‌خصوص استان‌های غربی کشور، با استفاده ازنظر اشخاص خبره برای تعریف مرزهای جداسازی سیب‌زمینی است. بر این اساس دستگاه سوتینگ می‌بایست توانایی جداسازی محصول سیب‌زمینی در پنج گروه مختلف شامل سیب‌زمینی غیرقابل‌مصرف، بذری، مصرفی بازار، بدشکل و استفاده در صنایع فرآوری را داشته باشد. در این مقاله صرفاً مباحث مربوط به طراحی و ساخت بخش‌های مکانیکی و الکترونیکی دستگاه سورتینگ مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش

دستگاه ارائه‌شده جهت سورتینگ محصول سیب‌زمینی یک مجموعه مکاترونیکی است که از بخش‌های سخت‌افزاری (مکانیکی و برقی) و نرم‌افزاری (برنامه‌نویسی رایانه‌ای و الکترونیکی) تشکیل‌شده است.

۲-۱- واحد سخت‌افزار دستگاه طراحی‌شده

بدنه اصلی دستگاه با استفاده از پروفیل آهن با سطح مقطع ۴×۴ ساخته شد (شکل ۱). ابعاد طولی و عرضی این شاسی به ترتیب ۲۰۰ و ۵۰ سانتی‌متر و نوع اتصالات به‌کاررفته در ساخت شاسی از نوع اتصال دائم جوشکاری شده و اتصالات موقت پیچ و مهره است. جهت دسترسی آسان و نیل به عملکرد بهینه اپراتورهای دستگاه، ارتفاع نهایی شاسی ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. چهار عدد چرخ به‌منظور جابجا کردن آسان‌تر در پایه‌ها نصب‌شد که دوپایه چرخ دارای حرکت گردشی به‌منظور فرمان‌پذیری و دوچرخ دیگر دارای حرکت خطی به‌منظور انتقال دستگاه می‌باشد. از

یک الکتروموتور سه فاز باقدرت یک اسب بخار و یک دستگاه جعبه‌دنده جهت تبدیل حرکت دورانی الکتروموتور به حرکت خطی، تغییر جهت مسیر انتقال قدرت از الکتروموتور به غلطک محرک، کاهش دور نهایی و انتقال قدرت از الکتروموتور به غلطک محرک استفاده شد. برای غلطک محرک و هرزگرد از یک پوسته استوانه‌ای با قطر نهایی ۸۹ میلی‌متر، ضخامت ۳ میلی‌متر و طول مؤثر ۴۵ سانتی‌متر استفاده شد. شفت دو سر غلطک محرک دارای قطر ۲۵ میلی‌متر بوده و یک سر شفت دارای طول بلندتر و سر ماشین‌کاری شده برای اتصال به جعبه‌دنده استفاده شد؛ اما هر دو سر غلطک هرزگرد دارای طول و قطر مساوی جهت قرارگیری در یاتاقان‌ها و حرکت هرزگرد طراحی شدند. رولیک‌ها در مسیر نوار نقاله برای جلوگیری از شکم زدن تسمه در فرآیند انتقال، ایجاد یک حرکت روان و کاهش لرزش، مورداستفاده قرار گرفتند. از نوار نقاله به‌منظور انجام فرآیند انتقال محصول سیب‌زمینی استفاده شد. در نمونه طراحی‌شده از نوار نقاله سه لایه PVC با ضخامت ۳ میلی‌متر، طول مؤثر ۲ متر و عرض ۴۰ سانتی‌متر و رنگ تسمه آبی، به دلیل ایجاد تمایز مناسب مابین سیب‌زمینی‌ها و پس‌زمینه و سهولت انجام عملیات قطعه‌بندی در فرآیند پردازش تصویر، استفاده گردید. برجستگی سطح تسمه استفاده‌شده به دو دلیل تأمین اصطکاک لازم برای انتقال سیب‌زمینی‌های موجود بر روی تسمه و تأمین اصطکاک لازم برای انتقال قدرت از الکتروموتور به نوار نقاله است. نحوه انجام عملیات تأمین و انتقال قدرت در شکل (۲) نشان داده شده است. برای تنظیم سرعت دورانی الکتروموتور، غلطک و سرعت خطی نوار نقاله از اینورتر مدل SV008ic5-1 ساخت شرکت LS استفاده شد. تعیین سرعت بهینه نوار نقاله وابسته به سرعت سامانه پردازش تصویر، سرعت دریافت تصویر توسط دوربین، سرعت عملگرها و سرعت تغذیه است.

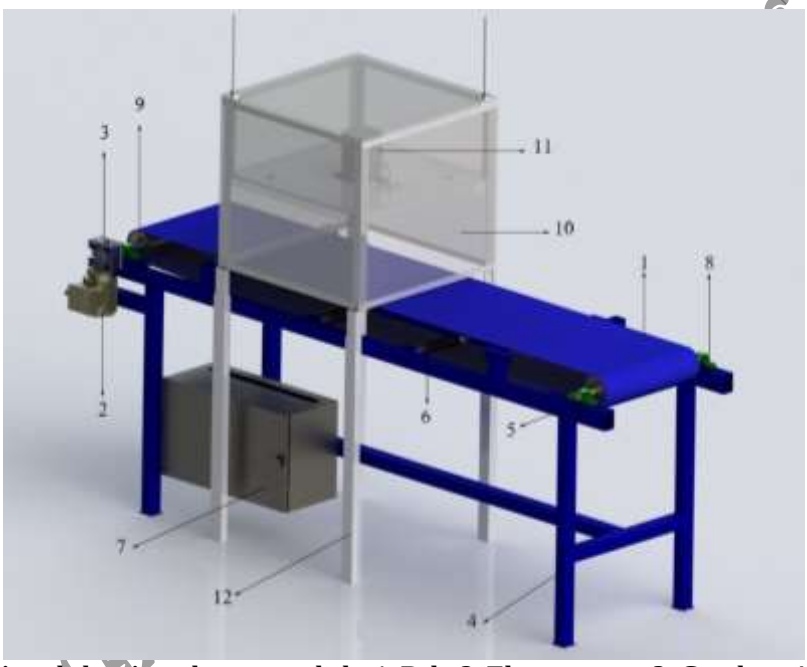

Figure 1. Designed chassis and conveyor belt: 1. Belt, 2. Electromotor, 3. Gearbox, 4. Chassis, 5. Driving roller, 6. Round roller, 7. Electronic and control chamber, 8. Bearing, 9. Drive roller, 10. Lighting and imaging box, 11. Camera, 12. Chassis of lighting and imaging chamber

شکل ۱- شاسی و نوار نقاله طراحی‌شده: ۱- تسمه، ۲- الکتروموتور، ۳- جعبه‌دنده، ۴- شاسی و پایه‌های دستگاه، ۵- غلطک هرز گرد، ۶- رولیک هرز گرد، ۷- جعبه برق‌رسانی و کنترل، ۸- یاتاقان و ۹- غلطک محرک ۱۰- محفظه نورپردازی و تصویرگیری، ۱۱- دوربین و ۱۲- شاسی و پایه‌های جعبه نورپردازی و تصویرگیری

Figure 2. Power transmission unit in the conveyor belt

شکل ۲- واحد انتقال قدرت در نوار نقاله

۲-۲- محفظه نورپردازی و تصویرگیری

برای تصویرگیری محفظه‌ای با مقطع مربعی و ابعاد ۵۶×۵۶ سانتی‌متر با پوشش چرم مصنوعی ساخته شد. ارتفاع دستگاه در حالت ثابت ۷۰ سانتی‌متر بوده و برای موارد آزمایشگاهی و انجام آزمون‌های برون‌خط مورداستفاده قرار گرفت. با افزودن چهار پایه با طول واحد هر پایه ۷۰ سانتی‌متر به پایه‌های محفظه تصویربرداری، ارتفاع محفظه از زمین زیاد شده و قابلیت نصب شدن بر روی نوار نقاله را پیدا کرد (شکل ۳). در طراحی این محفظه متناسب با کاربرد، بخش‌های متنوعی اضافه‌شده است که هرکدام مزایای مربوط به خود را دارند که عبارت‌اند از:

۱) استقلال از واحد نوار نقاله: ساختار این محفظه به‌گونه‌ای است که به‌طور مستقل از واحد نوار نقاله عمل می‌کند. مستقل بودن محفظه از نوار نقاله این امکان را به سامانه تصویرگیری می‌دهد تا در هنگام فعالیت واحد نوار نقاله هیچ‌گونه لرزشی ایجاد نشده و همچنین نویز تصاویر گرفته‌شده به‌شدت کاهش یابد.

۲) مکانیسم‌های کنترل ارتفاع دوربین و سامانه نورپردازی: مهم‌ترین ویژگی این محفظه نصب مکانیسم ریل و پیچ‌های تنظیم است. وجود ریل‌ها حرکت روان صفحه نورپردازی و تصویرگیری را در جهت بالا و پایین برای تنظیم ارتفاع میسر کرده و پیچ‌های تنظیم عمل ثابت نگه‌داشتن صفحه را بر عهده دارند. این مکانیسم قابلیت تغییر ارتفاع به میزان ۲۰ الی ۵۰ سانتی‌متری از نمونه را دارد.

۳) انعطاف و عملکرد پوشش محفظه: پوشش محفظه به‌گونه‌ای آماده شد که از ورود نور محیط اطراف به واحد تصویرگیری جلوگیری کند. نصب زیپ از چهارگوشه پوشش محفظه دسترسی، نگهداری و تعمیر مکانیسم‌های موجود در سامانه تصویربرداری را آسان می‌کند. هنگام قرارگیری محفظه تصویربرداری، وجود لایه‌های چسبی برش خورده در دو سمت ورودی و خروجی محصولات در مسیر نوار نقاله از عبور محصولات جلوگیری نکرده و خاصیت چسبی مانع حرکت محصولات با اندازه بزرگ‌تر نمی‌گردد.

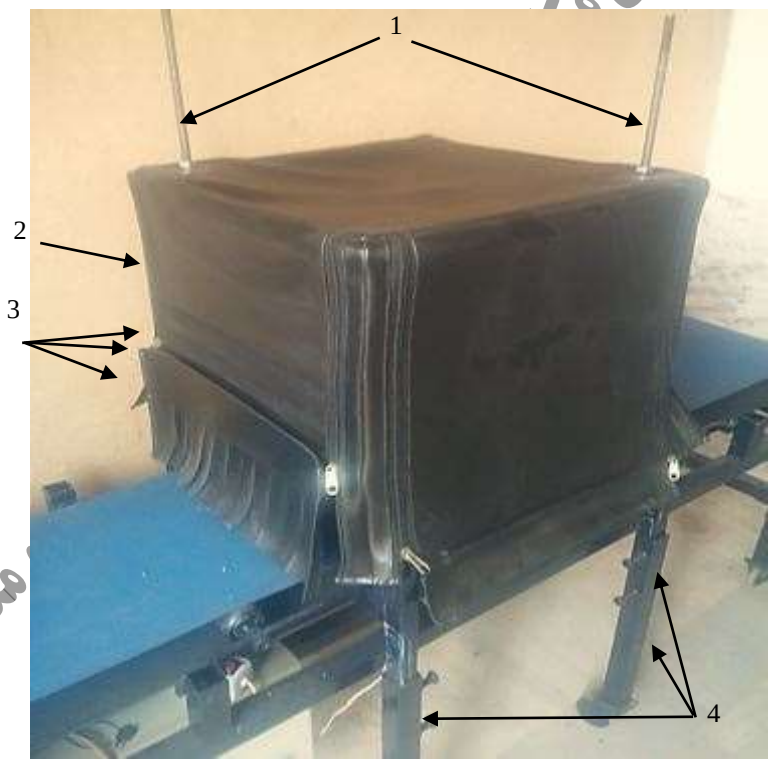

Figure 3. Lighting and imaging chamber: 1. Height adjustment screw, 2. Chamber cover, 3. Sticky layers, and 4. Additional height adjustment bases and screws

شکل ۳- محفظه نورپردازی و تصویرگیری: ۱- پیچ‌های تنظیم ارتفاع، ۲- پوشش محفظه، ۳- لایه‌های چسبی و برش خورده و ۴- پایه‌های افزاینده طول و پیچ‌های تنظیم ارتفاع

یک صفحه فلزی با ضخامت ۱ میلی‌متر و ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر جهت نصب دوربین و واحد نورپردازی در نظر گرفته شد. چهارگوشه این صفحه به ریل‌های کشویی تعبیه‌شده در محفظه نورپردازی متصل و تمام مکانیسم‌های نورپردازی و دوربین بر روی این صفحه سوار شدند. برای ایجاد واحد نورپردازی مستقل، از یک صفحه آلومینیومی با ابعاد ۳۵×۳۵ سانتی‌متر استفاده شد که با پیچ و مهره به صفحه اصلی متصل می‌شد. بر روی صفحه آلومینیومی لامپ‌های خطی LED با توان مصرفی ۱ وات و نورهای سفید و زرد نصب شد. منبع نور طراحی‌شده، که در اطراف دوربین نصب‌شد،

توانایی ایجاد نور متمرکز بر روی محصول را دارد. سامانه نورپردازی طراحی‌شده دارای مزیت‌هایی همچون روشنایی کافی و باز پراکنش و انعکاس کم نور از سطح نوار نقاله، انرژی مصرفی، قیمت نهایی کمتر در مقایسه با مدل‌های مشابه و نیز نصب و کنترل آسان می‌باشد.

۳-۲- واحد کنترل‌کننده دستگاه

برد آردوینو مدل Mega 2560، رابط برنامه طراحی‌شده با عملگرهای خروجی دستگاه است. با اجرا کردن برنامه سورتینگ سیب‌زمینی، دستور راه‌اندازی نوار نقاله از رایانه به برد آردوینو فرستاده می‌شود. این دستور باعث فعال شدن رله تحریک اینورتر شده و با این تحریک، الکتروموتور تغذیه و انتقال قدرت از موتور به جعبه‌دنده انجام گرفته و بالطبع نوارنقاله به حرکت می‌افتد. با عبور نمونه‌های سیب‌زمینی از مقابل حسگر فرستنده و گیرنده مادون قرمز، سیگنالی به برد آردوینو ارسال می‌شود که باعث توقف حرکت نوار نقاله و انجام عملیات تصویربرداری توسط دوربین می‌شود. پس از انجام پردازش‌های لازم بر روی تصویر گرفته‌شده، نوع گروه سیب‌زمینی در خروجی نمایش داده می‌شود و مجدداً سیکل راه‌اندازی نوار نقاله تا گروه‌بندی سیب‌زمینی بعدی انجام می‌شود (شکل ۴).

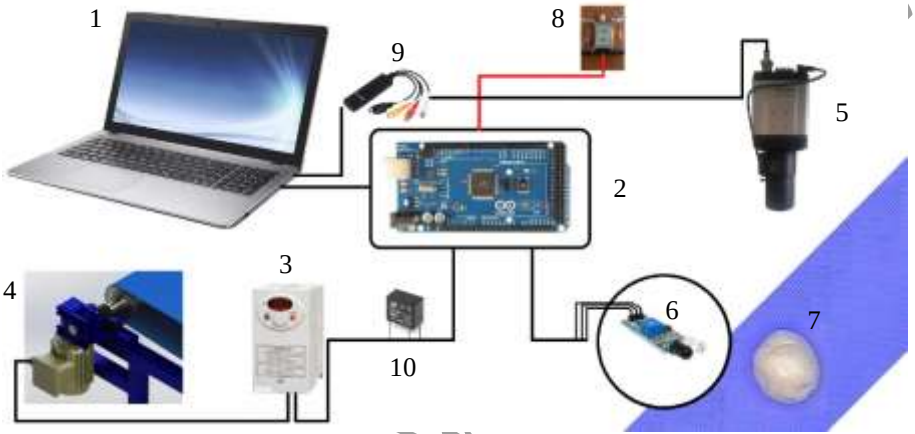

Figure 4. Display and control Unit: 1. Computer, 2. Arduino module, 3. Inverter, 4. Electromotor, 5. Camera, 6. Infrared sensor, 7. Potato sample, 8. 7-segment, 9. A/D converter, and 10. Relay

شکل ۴- واحد نمایش دهنده و کنترل کننده به کار رفته در دستگاه: ۱- رایانه همراه، ۲- برد آردوینو، ۳- اینورتر، ۴- موتور جعبه‌دنده، ۵- دوربین نصب‌شده، ۶- فرستنده گیرنده مادون قرمز، ۷- نمونه سیب‌زمینی، ۸- نمایشگر گروه سیب‌زمینی، ۹- کارت تصویرگیر و ۱۰- رله تحریک اینورتر

۳- نتایج و بحث

در این بخش متناسب با امکانات موجود و اهداف این پژوهش، محاسبات مربوط به حداقل سرعت موردنیاز جهت عملکرد دستگاه طراحی‌شده انجام گرفت. درنهایت متناسب با اطلاعات به‌دست‌آمده از بخش قبل، توان موردنیاز محور تواندهی نوار نقاله و ظرفیت کاری دستگاه محاسبه گردید.

۳-۱- سرعت سامانه پردازش تصویر

توانایی سامانه‌های مبتنی بر بینایی ماشین وابسته به الگوریتم‌های استفاده شده در آن‌ها است. هرچه الگوریتم‌های کمتری در کد نویسی استفاده شود، برنامه روان‌تر و با سرعت بیشتری اجرا می‌گردد. از لحظه اکتساب تصویر تا پردازش نهایی، مدت زمان مشخصی لازم است. اگر آرایه دریافت تصویر در دوربین دارای ابعاد $m \times n$ میلی‌متر باشد (m طول و n عرض آرایه است) و نیز اگر مدت‌زمانی که نیاز است تا تصویر پردازش شود برابر مقدار (t) باشد، در این صورت سرعت پردازش تصویر با پارامتر (Vip) تعریف‌شده و برابر است با:

$$V_{ip} = \frac{m}{t} \qquad (۱)$$

که در این رابطه (Vip) برحسب mm/s است. زمان مربوط به فرآیندهای کنترلی اگرچه بسیار کوتاه است؛ اما به دلیل اهمیت و دقت کار در محاسبات لحاظ می‌گردد. در رابطه (۱) مقدار عرض n اگرچه در محاسبات آورده نمی‌شود؛ اما یک پارامتر اثرگذار بر زمان نهایی پردازش است. اینورتر با تغییر فرکانس برق ورودی، سرعت الکتروموتور را تغییر می‌دهد. با داشتن دور نامی الکتروموتور، نسبت تغییر دور جعبه‌دنده و قطر خارجی غلطک محرک، به‌آسانی می‌توان محدوده سرعت خطی نوار نقاله را محاسبه کرد و متناسب با شرایط سامانه بهترین سرعت را پیشنهاد نمود.

$$\begin{cases} N = \dfrac{N_m}{T_r} \\ V = \dfrac{2\pi RN}{60} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} N = \dfrac{1440}{15} = 96\ rpm \\ V = \dfrac{2 \times 3.14 \times 44.5 \times 96}{60} \end{cases} \rightarrow V = 447.2\ \frac{mm}{s} \quad (۲)$$

که در آن N سرعت بیشینه خروجی جعبه‌دنده (rpm)، Nm سرعت دورانی الکتروموتور (rpm)، Tr نرخ تبدیل جعبه‌دنده، V سرعت خطی نوار نقاله (mm/s) و R شعاع غلطک محرک (mm) است. مطابق رابطه (۲) نوار نقاله با حداکثر سرعت ۴۴۷/۲ میلی‌متر بر ثانیه در شرایط ایده‌آل حرکت می‌کند. فرکانس برق ایران ۶۰ هرتز بوده که با یک تناسب ساده می‌توان به این نتیجه رسید که:

$$\frac{60\ Hz}{1\ Hz} = \frac{V_{l\,max}}{v_1} \rightarrow v_1 = \frac{447.2}{60} \rightarrow v_1 \approx 7.45\ \frac{mm}{s} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، v_1 سرعت نوار نقاله به ازای افزایش هر یک هرتز فرکانس اینورتر است. در آزمایش‌های تجربی صورت گرفته بهترین سرعت در فرکانس ۵/۴ هرتز یا به عبارتی در سرعت خطی ۴۰ میلی‌متر بر ثانیه به دست آمد؛ چراکه در این سرعت خطی، دوربین توانایی دریافت تصاویر مناسب بدون ایجاد وقفه را دارا بود. در سرعت‌های بالاتر خطی نوار نقاله نیاز است که فرکانس دور موتور نزدیک به بالاترین حد حالت خود یعنی ۶۰ هرتز قرار داده شود. در این حالت دوربین مورد استفاده به علت پاسخ فرکانسی پایین توانایی تصویربرداری در این سرعت را نداشته و از همین رو با توقف نوار نقاله هنگام عبور نمونه سیب‌زمینی از مقابل دوربین زمان لازم برای تصویر گیری فراهم شد.

۳-۲- محاسبه توان لازم برای نوار نقاله

اگر یک غده سیب‌زمینی دارای جرم متوسط ۳۰۰ گرم و قطر متوسط ۸ سانتی‌متر باشد و تمامی غده‌ها در یک ردیف قرار گرفته و به هم چسبیده باشند، در این صورت وزن موجود بر روی نوار نقاله، که دارای طول و عرض ۴۰×۲۰۰ سانتی‌متر می‌باشد، عبارت است از:

$$w = N * m * g = \left(\frac{200}{8}\right) * 0.3 * 9.81 \approx 74\ N \quad (۴)$$

که در این رابطه N تعداد سیب‌زمینی موجود روی نوار نقاله، m میانگین وزن هر غده برحسب (Kg) و g شتاب گرانش زمین برحسب (m/s^2) است. با فرض اینکه تمام نیروی حاصله به‌صورت عمودی و به شکل نیروی اصطکاک بر غلطک محرک (f) واردشده است، داریم:

$$f = \mu w = 74\ N \quad (۵)$$

که در آن μ ضریب اصطکاک بین غلطک و نوار نقاله است. به‌منظور محاسبه گشتاور τ حاصل از نیروی اصطکاک و قطر ۸۹ میلی‌متری غلطک داریم:

$$\tau = 74 * \frac{0.089}{2} = 3.29\ N.m \quad (۶)$$

با توجه به این‌که بهترین سرعت نوار نقاله متناسب با شرایط یادشده تعیین شد؛ حال می‌توان توان موردنیاز الکتروموتور (p) را بر اساس رابطه زیر محاسبه نمود:

$$P = \frac{\tau * N_m}{9.549} \rightarrow P = \frac{3.29 \times 1440}{9.549} = 496.14\ W \quad (۷)$$

در رابطه فوق پارامتر Nm حداکثر سرعت دورانی الکتروموتور است. توان به‌دست‌آمده از رابطه (۷) نزدیک به ۵۰۰ وات، معادل ۰/۶۷ اسب بخار، به دست آمد. بر همین اساس از یک الکتروموتور با توان یک اسب بخار برای ایجاد حرکت خطی در واحد نوار نقاله استفاده شد.

۳-۳- محاسبه ظرفیت کاری دستگاه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر دستگاه ظرفیت و میزان عملکرد آن در واحد زمان است. در صورت بالا بودن ظرفیت کاری دستگاه، کارایی و بازده عملیات جداسازی محصول بالا خواهد رفت. میزان محصولی که در واحد زمان توسط دستگاه سورتینگ تفکیک می‌گردد، ظرفیت آن است. ظرفیت کاری دستگاه مطابق رابطه زیر قابل‌محاسبه است:

$$C = 3600\frac{M}{t} \quad (۸)$$

که در این رابطه، C ظرفیت دستگاه سورتینگ (Kg/h)، M جرم متوسط هر غده سیب‌زمینی (Kg) و t زمان موردنیاز برای تصویرگیری و عملیات پردازش برحسب ثانیه (s) می‌باشد. در این پژوهش مراحل مربوط به بینایی ماشین و تصمیم‌گیری، شامل تحصیل تصاویر، پیش‌پردازش تصاویر، قطعه‌بندی، استخراج ویژگی‌های شکلی و بافتی، انتخاب بهترین ویژگی‌ها و نیز ایجاد مدل فازی مبتنی بر نظر اشخاص خبره و توابع چگالی احتمال

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

به منظور جداسازی محصول سیب‌زمینی به پنج کلاس مختلف شامل غیرقابل‌مصرف، بذری، مصرفی بازار، قابل‌استفاده در صنایع فرآوری و عروسکی شکل انجام گرفت. به دلیل گستردگی مطالب مربوط به بخش بینایی ماشین و تصمیم‌گیری، از ارائه آن در این مقاله خودداری شده است. نتایج بخش بینایی ماشین و تصمیم‌گیری حاکی از آن بود که میانگین مدت زمان لازم برای انجام عملیات پردازشی بر روی هر غده سیب‌زمینی برابر ۵۴۵ میلی‌ثانیه می‌باشد. بر همین مبنا و با در نظر گرفتن جرم متوسط هر غده سیب زمینی برابر ۳۰۰ گرم و نیز استفاده از رابطه ۸، ظرفیت کاری دستگاه حدود ۲ تن بر ساعت محاسبه گردید (رابطه ۹).

$$C = 3600\frac{0.3}{0.545} = 1981.7\ (\frac{kg}{h}) \quad (۹)$$

۴- نتیجه‌گیری

برای عملیات جداسازی خودکار محصول سیب‌زمینی دستگاهی نیاز است که همزمان با مرحله انتقال، عملیات مربوط به دریافت اطلاعات و تصمیم‌گیری را نیز انجام دهد. به همین دلیل توسعه یک نوار نقاله مناسب به همراه سامانه بینایی ماشین در اولویت قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تصویرگیری پیوسته و منقطع سرعت خطی نوار نقاله می‌بایست به ترتیب برابر ۴۰ میلی‌متر بر ثانیه و ۴۴۷ میلی‌متر بر ثانیه باشد. از یک الکتروموتور با توان یک اسب بخار جهت راه‌اندازی دستگاه می‌توان استفاده نمود. همچنین با توجه به مدت زمان برابر ۵۴۵ میلی‌ثانیه برای انجام عملیات بینایی ماشین و تصمیم‌گیری در مورد هر غده سیب‌زمینی و نیز در نظر گرفتن پارامترهای طراحی مربوط به بخش مکانیکی دستگاه سورتینگ، ظرفیت کاری دستگاه حدود ۲ تن بر ساعت برآورد گردید.

۵- تقدیر و تشکر

بخش‌هایی از این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان در قالب گرنت به شماره ۴/۱۳۵۱ به انجام رسیده است. نویسندگان از آقای مهندس فرهاد فاتحی، کارشناس و مسئول کارگاه گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان، به دلیل کمک‌های فنی و معنوی در مراحل ساخت دستگاه، کمال تشکر را دارند.

۶- مراجع

Anonymous. (1997). United States standards for grades of potatoes for chipping. *United States Department of Agriculture*. Agricultural Marketing Service, USA.

Baigvand, M., Banakar, A., Minaei, S., Khodaei, J. & Behroozi-Khazaei, N. (2015). Machine vision system for grading of dried figs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 158-165.

Blasco, J., Cubero, S., Gómez-Sanchís, J., Mira, P., & Moltó, E. (2009). Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (Punica granatum) arils based on computer vision. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 27-34.

ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., & Blasco, J. (2012). In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 112(1), 60-68.

Golmohammadi, A., Bejaei, F., & Behfar, H. (2013). Design, development, and evaluation of an online design potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(7): 396-402.

Heinemann, P. H., Pathare, N. P., & Morrow, C. T. (1996). An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes. *Machine Vision and Applications*, 9(1), 14-19.

Noordam, J. C., Otten, G. W., Timmermans, A. J. M., & van Zwol, B. H. (2000). High-speed potato grading and quality inspection based on a color vision system. In Tobin, K. W. (Ed.), *Machine vision applications in industrial inspection VIII*, Proceedings of SPIE (Vol. 3966, pp. 206–220).

Pedreschi, F., Mery, D., & Marique, T. (2016). Grading of Potatoes. In: Sun, D. W. (Ed.). *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation* (2nd edition, pp. 369-382): Academic Press.

Tao, Y., Morrow, C. T., Heinemann, P. H., & Sommer, J. H. (1990). Automated machine vision inspection of potatoes. *American Society of Agricultural Engineers*, No. 90-3531, pp. 23, ref. 27.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران