طراحی و ساخت سیستم جداسازی سبزشدگی و خرابی ظاهری سیب‌زمینی با استفاده از ماشین بینایی

فرید بجائی[۱]، عبدالله گل‌محمدی[۲] و حسین بهفر[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد یار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی
۳- مربی گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

چکیده

با توجه به اهمیت درجه بندی کیفی در این تحقیق درجه بندی سیب زمینی با پردازش تصویر به عنوان یک پروژه ماشین بینایی مورد توجه قرار گرفت. در این تحقیق نه تنها سامانه کامل درجه بندی با توجه به شرایط واقعی و صنعتی طراحی، ساخت و ارزیابی شد بلکه از لحاظ پیش پردازش تصویر نیز عملیاتی روی تصاویر برخط صورت گرفت که باعث شد در شناسایی قسمت‌های سبزینه سیب زمینی بهبود حاصل شود. سیستم شامل سه بخش اصلی تغذیه، پردازش تصویر و عملگرها می‌باشد که با توجه به اهمیت هر بخش، طراحی و ساخت هر کدام جداگانه انجام گرفت. در طراحی سیستم تغذیه با توجه به زاویه استقرار انواع مختلف سیب زمینی‌ها، از یک تسمه نقاله‌ی شیب دار قابل تنظیم، استفاده شد. استفاده از دو آینه در محفظه تصویر برداری با زاویه ۷۸ درجه نسبت به افق باعث شد در تصاویر گرفته شده از سطح جانبی سیب زمینی ها تا حدود ۹۴ درصد تحت پوشش قرار گیرد. تصاویر توسط نرم افزار LABVIEW پردازش گردید. برای جداسازی سیب زمینی‌ها، از سامانه عملگر شیرهای کنترل نیوماتیکی و هوای تحت فشار استفاده شد. با توجه به برخط بودن سامانه، کلیه زمان‌های پردازش تصویر، انتقال محصول و عملکرد عملگرها، محاسبه و بر حسب سرعت تغذیه سیب زمینی‌ها به سیستم پردازش و جداسازی اعمال شدند. در نهایت برای ارزیابی اولیه سامانه، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم سیب زمینی در اختیار سیستم قرار گرفت که با سرعت چهار سیب زمینی در هر ثانیه و با دقت ۹۴/۲ برای سبزینه و ۹۵/۳ برای خرابی ظاهری جداسازی انجام شد.

واژگان کلیدی: برخط، ساخت سورتینگ، سیب زمینی، طراحی، ماشین بینایی

مقدمه

سیب‌زمینی به دلیل داشتن نشاسته و پروتئین‌های مختلف، بعد از گندم و برنج یکی از محصولات استراتژیک و با ارزش غذایی بالا و همچنین یکی از غذاهای مهم و اصلی مردم دنیا است. بر اساس اعلام وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت سیب زمینی در سال ۹۱ حدود ۱۷۳ هزار هکتار و میزان تولید سیب‌زمینی در حدود ۴/۵ میلیون تن بود. عدم وجود لایه ای از خاک مرطوب در اطراف غدد باعث می‌شود کلروفیل در بخشی از غده که در معرض نور قرار می‌گیرد تشکیل و سیب زمینی سبز رنگ بشود. در

این ناحیه ماده سمی سولانین نیز تجمع می‌یابد بنابراین بخش سبز رنگ شده سیب زمینی سمی است و نباید مصرف شود. وجود رنگ سبز روی غده از بازار پسندی آن نیز می‌کاهد. بخشی از سیب زمینی تولید شده وارد کارخانجات فرآوری مانند تولید چیپس، خلال، سیب‌زمینی نیم‌پز یخزده و غیره می‌شود ولی بخش عمده آن وارد بازار مصرف در منازل و رستوران‌ها برای تغذیه شهروندان مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر کدام از این نوع مصارف از لحاظ کیفی، شکل و اندازه، تیپ خاصی از سیب‌زمینی را می‌طلبد. روش جداسازی دستی علاوه بر سلیقه‌ای بودن به هزینه و زمان زیادی نیاز دارد و روش‌های مکانیکی نیز به دلیل احتمال آسیب رساندن به محصول، توجیه اقتصادی ندارند. به همین دلیل، روش جداسازی سیب‌زمینی با استفاده از ماشین بینایی به علت دقت زیاد و عدم آسیب رساندن به محصول، مورد توجه اکثر کشورهای پیشرفته قرار گرفته است. در اکثر کشورها با توجه به استراتژیک بودن و حجم تولید این محصول، کار درجه بندی و سایز بندی به صورت اتوماتیک انجام می‌شود. در ایران اکثر کارهای انجام گرفته در این زمینه به صورت از خط بوده است. در این تحقیق سامانه‌ی جداسازی سیب‌زمینی با استفاده از سیستم برخط ماشین بینایی طراحی، ساخت و مورد ارزیابی اولیه قرارگرفته است.

بارنز و همکاران[1] در سال ۲۰۰۹ روش‌های جدیدی برای تشخیص لکه‌ها در سیب‌زمینی با استفاده از ماشین بینایی معرفی کردند. پس از تفکیک سیب‌زمینی از پس زمینه از طبقه بندی پیکسلی آموزش دیده برای تشخیص عیوب با استفاده از ویژگی‌های استخراج شده از تصویر استفاده کردند. مجموعه ای از ویژگی‌های شاخص، بر اساس اطلاعات آماری مربوط به رنگ و بافت از منطقه اطراف یک پیکسل خاص، برای اولین بار استخراج و سپس یک الگوریتم تقویت تطبیقی[2] که به صورت خودکار بهترین ویژگی برای تمایز بین لکه‌دار و غیر لکه‌دار را دارا بود، مورد استفاده قرار دادند. با استفاده از این روش، ویژگی‌های متفاوتی برای انواع مختلف سیب زمینی انتخاب کردند. در این روش به ترتیب برای سیب زمینی سفید و سرخ به دقت ۸۹/۶٪ و ۸۹/۵٪ رسیدند.

هینمان و همکاران[3] در سال ۱۹۹۶ ایستگاه بازرسی استانداردهای وزارت کشاورزی ایالات متحده را برای درجه بندی سیب زمینی توسعه دادند. این ایستگاه شامل یک اتاق تصویربرداری، نوار نقاله، دوربین، واحد مرتب سازی، کامپیوترهای شخصی برای تصویربرداری، تجزیه و تحلیل و تجهیزات کنترل می‌باشد که توانستند با سرعت سه سیب‌زمینی بر دقیقه در حالت برخط به سه دسته با دقت ۸۰٪، ۷۷٪، و ۸۸٪ طبقه بندی کنند و در حالت از خط با دقت ۹۸٪، ۹۷٪ و ۹۷٪ طبقه بندی انجام شده است.

نوردام و همکاران[4] در سال ۲۰۰۰ یک سیستم با سرعت بالا به روش ماشین بینایی برای بازرسی کیفیت و درجه بندی سیب زمینی طراحی کردند. در این طرح سیب زمینی بر اساس اندازه، شکل و نقص‌های خارجی مانند سبز شدن، صدمات مکانیکی و ترک‌های رشد با استفاده از دوربین CCD تفکیک شد. برای به دست آوردن یک نمای ۳۶۰ درجه از سیب زمینی از آینه استفاده کردند.

[1] Barnes, Duckett & Cielniak
[2] AdaBoost
[3] Heinemann, Pathare & Morrow
[4] Noordam, Otten, Timmermans & Zwol

ریوس–کابررا و همکاران[5] در سال ۲۰۰۸ خواص سیب زمینی را با روش پردازش تصویر بدست آوردند. هدف تعیین کیفیت و ارزیابی خواص فیزیکی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) بود. این روش با توجه به پایداری، سرعت و همگرایی عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت. چندین الگوریتم برای تعیین نقص‌های سیب زمینی از جمله سبز شدن، زخم و ترک‌ها پیشنهاد شده است که می‌تواند به طور موثر برای درجه بندی کیفیت‌های مختلف سیب زمینی استفاده شود.

حسن‌خانی و نوید در سال ۲۰۱۲ در تحقیقی از ماشین بینایی به عنوان روشی سریع و مناسب، غیر مخرب و مدرن استفاده کردند. اساس کارکرد این سیستم تصویر برداری از نمونه‌ها، آنالیز تصویر و مقایسه‌ی آن‌ها با یک استاندارد پذیرفته شده برای نمونه‌ها می‌باشد. ۱۱۰ نمونه از یک نوع سیب‌زمینی تهیه کردند، این نمونه‌ها قبلاً از لحاظ کمی و کیفی و کلیه فاکتورها به صورت دستی دسته بندی شده بودند. جداسازی کمی و کیفی با این سیستم با افزایش کیفیت تصاویر و تهیه آستانه بهینه با دقت جداسازی ۹۶/۸ درصد انجام گرفته است.

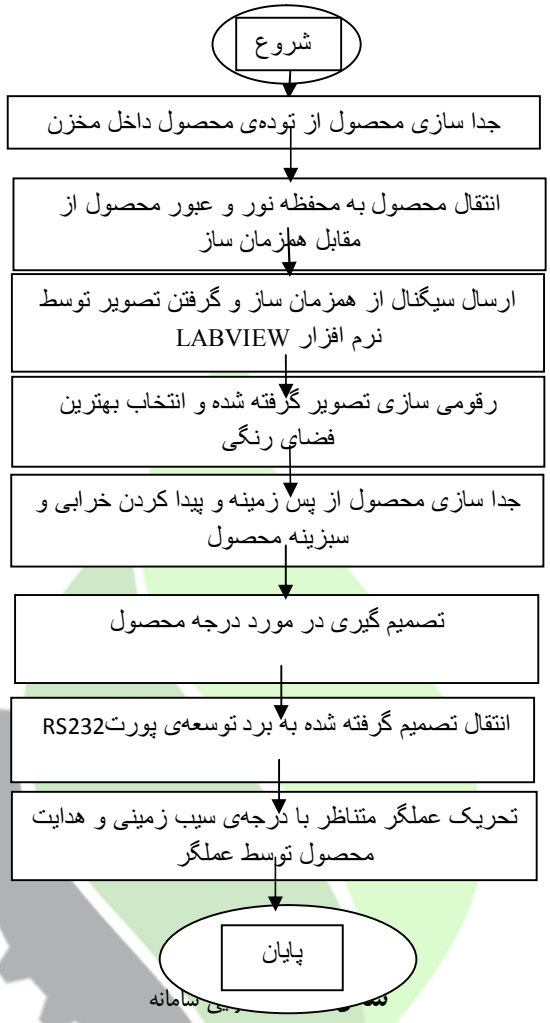
مواد و روش‌ها

سیستم درجه بندی برخط ساخته شده شامل اجزای زیر می‌باشد:

- مخزن، سامانه تغذیه و جداسازی سیب زمینی‌ها از توده‌ی محصول
- تسمه نقاله‌ی انتقال محصول و نیروی محرک الکتروموتور به همراه اینورتر
- محفظه نور
- همزمان ساز
- کامپیوتر و نرم افزار LABVIEW 6 و دوربین CMOS پاناسونیک
- کارت توسعه‌ی پورت RS232
- عملگرها و سامانه‌ی نیوماتیکی

مراحل مختلف عملکرد سیستم مطابق جدول زیر می باشد.

[5]Rios-Cabrera, Lopez-Juarez & Sheng-Jen



مخزن، سامانه تغذیه و جداسازی سیب زمینی‌ها از توده‌ی محصول

مخزن سیب زمینی‌ها با استفاده ورقه‌های فلزی با ابعاد ۵۰×۵۰×۳۰ سانتی متر ساخته شد که کف آن ۳۰ درصد شیب داشت. شیب مخزن از زاویه‌ی استقرار استاتیکی سیب زمینی کمی بیشتر بود که اجازه می‌داد سیب‌زمینی‌ها به راحتی از مخزن تخلیه شوند. برای سایزبندی بایستی سیب زمینی‌ها از یک دیگر جدا شده و به صورت تک دانه وارد مرحله پردازش و جداسازی بشوند. برای این منظور تسمه نقاله‌ی شیب داری به طول ۱۵۰ cm و عرض ۵۰ cm، طراحی و ساخته شد. برای انتقال سیب‌زمینی‌ها در روی این تسمه نقاله ۱۰ عدد زائده V شکل روی تسمه نقاله ایجاد گردید که با یک دور کامل چرخش تسمه نقاله ۱۰ عدد سیب زمینی با فواصل یکسان به تسمه نقاله‌ی دوم انتقال می‌یافت (شکل ۲).

شکل ۲: تصویر سمت راست، مخزن و سیستم تغذیه قابل تنظیم. تصویر سمت چپ، نقاله به همراه زایده های V شکل

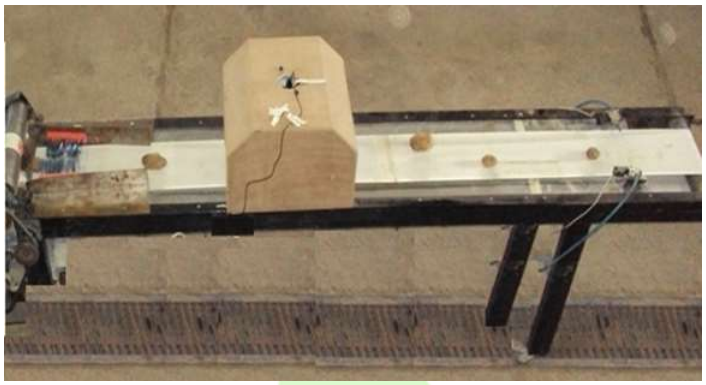
تسمه نقاله انتقال و نیروی محرک الکتروموتور به همراه اینورتر

علاوه بر سیستم تغذیه، برای انتقال محصول به محفظه نورپردازی و تهیه تصاویر و همچنین رساندن محصول به عملگرها و جداسازی آن‌ها، یک تسمه نقاله به طول ۳۰۰ cm و عرض ۵۰ cm طراحی و ساخته شد. با توجه به این که بزرگ‌ترین بعد سیب زمینی‌های مورد استفاده ۱۸ cm بود و برای اینکه در هر فریم ۵۰ الی ۶۰ درصد تصاویر دریافتی توسط محصول اشغال گردد، به فضای تصویر برداری حدود ۳۶ تا ۴۰cm نیاز بود. چون در کناره‌های محفظه نورپردازی نواری به عرض ۵ cm، ناحیه کم نور تشکیل می‌شد، بر این اساس اندازه‌ی عرض تسمه نقاله و محفظه‌ی نورپردازی ۵۰ cm در نظر گرفته شد. برای راه اندازی تسمه نقاله انتقال و سیستم تغذیه از یک الکتروموتور جریان متغیر سه فاز نیم کیلو وات استفاده شد. برای تنظیم سرعت الکتروموتور از اینورتر با کنترل دیجیتال ال‌جی (اس ۶) استفاده شد. با توجه به اینکه سرعت تغذیه و سرعت خطی تسمه نقاله‌ی انتقال، فاصله‌ی بین غده های سیب زمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، انتخاب سرعت الکتروموتور بستگی به زمان پردازش تصویر و زمان تحریک عملگرها دارد که در بحث مربوط به طراحی عملگرها به آن پرداخته خواهد شد.

محفظه نورپردازی

برای تهیه تصاویر صاف و بدون نویز، محصول بایستی از داخل محفظه نور مصنوعی عبور کند. برای این منظور محفظه ای با طول و عرض ۵۰ cm و ارتفاع ۳۰ cm طراحی و ساخته شد. چون پرتوهای موازی باعث ایجاد درخشندگی در تصاویر می‌شود که در عملیات پردازش تصویر اختلال ایجاد می‌کند و برای اینکه سامانه بتواند هم سیب زمینی‌های شسته شده و نشسته را مورد پردازش قرار دهد، بایستی از کاربرد نور با پرتوهای موازی خودداری گردد. برای این منظور جهت ایجاد نور پخشی، محفظه‌ی

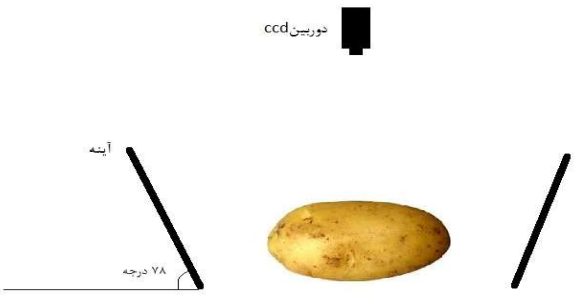
گنبدی شکل به قطر ۴۷ cm در داخل محفظه اصلی قرار گرفت. سه منبع نوری LED، لامپ فلورسنت و هالوژنی مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت لامپ فلورسنت ۶۴۰۰ k با فرکانس بالا انتخاب گردید (شکل ۳).



شکل ۳: محفظه نورپردازی و تسمه انتقال

آینه های مجاور

یکی از مشکلات عدیده درجه بندی ماشین بینایی عدم اشراف دید سامانه به کلیه نقاط سیب زمینی می‌باشد. شکل نامنتظم و نسبتاً استوانه ای سیب زمینی باعث می‌شود قسمت‌های کناری دیده نشود. روش‌های مختلفی برای حل این مشکل وجود دارد، استفاده از دو دوربین به طور همزمان و یا انجام فرایند درجه بندی در طی دو مرحله در تحقیقات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها باعث پیچیده شدن و بالا رفتن هزینه عملیات و زمان پردازش و پایین آمدن سرعت کلی سامانه می‌شود. در این پروژه برای حل این مشکل از آینه های جانبی استفاده شد. چون محفظه نور دارای نور پخشی می‌باشد مشکل درخشندگی برطرف می‌شود. زاویه های مختلف ۶۰، ۷۰ و ۸۰ مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با روش تجربی ۷۸ درجه نسبت به افق انتخاب گردید.



شکل ۴: نحوه قرارگیری دوربین و آینه‌ها

همزمان ساز

معمولاً در پروژه های تحقیقاتی سورتینگ بر اساس ماشین بینایی، هماهنگی بین زمان ورود محصول بـه محفظـه‌ی نـورپردازی و تهیه تصاویر وجود ندارد و فرض بر آن است که محصول با فواصل زمانی یکسان وارد محفظه می‌شود؛ لذا در صورت تغییر در توالی ورود محصول به محفظه یا توقف موقت کار، سامانه همچنان به عکس برداری و پردازش تصویر ادامه می‌دهد که عملکرد و دقـت سیستم را به شدت پایین می‌آورد. برای حل این مشکل سنسور فتوالکتریک Autonics مورد استفاده قرار گرفـت. در ایـن سنسـور فرستنده و گیرنده نور از نوع LED بوده و در یک مجموعه قرار گرفته است که در صورت عدم عبور محصول نـور تابیـده شـده از فرستنده توسط گیرنده‌ی سنسور دریافت نمی‌شود و در نتیجه سنسور سیگنالی را نمی‌فرستد ولی در صورت عبور محصـول جریـان نوری توسط محصول به سمت گیرنده باز تابانده شده و سیگنالی را به کارت توسـعه پـورت RS232 مـی‌فرسـتد و بـا انتقـال ایـن سیگنال توسط کارت توسعه به کامپیوتر، عمل تصویر برداری توسط نرم افزار LABVIEW فرمان داده می‌شود.

کامپیوتر و نرم افزار LABVIEW و دوربین CMOS

برای پردازش تصویر از کامپیوتر پنتیوم چهار، پنج هسته‌ای مجهز به پورت سریال RS232 و نرم افـزار LABVIEW 6 اسـتفاده شد. برای کاهش هزینه‌ها از دوربین مدار بسته‌ی آنالوگ PROLINE که مجهز به سنسور CMOS بود، استفاده شد. دوربین‌هـای CMOS نه تنها در ناحیه مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) عملکرد خوبی دارند و هر سه رنگ آبی سبز و قرمز را بـه طـور مسـاوی بـا وضوح متوسط اندازه می‌گیرند، بلکه امواج الکترومغناطیسی ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ نانومتر را می‌تواننـد انـدازه بگیرنـد. ایـن ویژگـی باعـث می‌شود خرابی‌های درون پوستی را نیز تا حدی تشخیص دهند. چون این دوربین‌ها کاربرد صنعتی دارنـد بـر عکـس دوربـین‌هـای خانگی هیچ تغییری در شرایط طبیعی رنگ‌ها ایجاد نمی‌کنند. این نوع دوربین‌ها به یک کارت تبدیل آنالوگ به دیجیتـال ویـدئویی سونی متصل می‌شود و این کارت توسط نرم افزار LABVIEW پشتیبانی می‌شود.

برای تهیه تصاویر، پردازش و کنترل عملگرها از نرم‌افزار LABVIEW، استفاده شد. الگوریتم منتظر دریافـت سـیگنال از سیسـتم همزمان ساز شده و به محض ورود محصول و ارسال سیگنال توسط همزمان ساز، تصویر محصول داخل محفظه‌ی نور گرفته شـد. تصویر گرفته شده در اختیار واحد پردازش تصویر قرار گرفت و نرم افزار اطلاعات تصویر را از RAM گرفته و به صـورت مـاتریس عددی در می‌آورد. این ماتریس اطلاعات رنگی مربوط به مشخصات تصـویر سـیب زمینـی و زمینـه‌ی آن (تسـمه نقالـه) را در بـر می‌گیرد، اکثر دستورات این نرم افزار متغیرهای یک بعدی را به عنوان ورودی قبول می‌کنند یعنی باید یک تصـویر تـک رنـگ در دسترس باشد. برای تمایز بهتر قسمت‌های خرابی به ویژه قسمت سبز سیب زمینی‌ها از فرمول شـماره ۱ اسـتفاده شـد. در صـورت عدم استفاده از فضای خاکستری که در روش‌های متداول پردازش تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد تمایز مناسبی بین ناحیه سبز و خود سیب زمینی ایجاد نمی‌شود

$$I = 2G - R - B \quad (۱)$$

که در آن R مقدار ارزش رنگ قرمز، G مقدار ارزش رنگ سبز و B ارزش رنگ آبی و I ارزش سبزینه می‌باشد. لازم به ذکر است این تبدیل فضای رنگی خللی در تشخیص خرابی‌های قهوه‌ای و سیاه ایجاد نکرد و الگوریتم اصلاح شده به خوبی می‌توانست خرابی‌های ذکر شده را تشخیص دهد.

در مرحله‌ی بعدی بایستی پیکسل‌های مربوط به محصول از پیکسل‌های زمینه و سپس پیکسل‌های قسمت خرابی از قسمت سالم سیب زمینی جدا می‌شد. برای این کار دو سطح آستانه به کار گرفته شد، سطح آستانه اول در واقع مرز تمایز بین سیب زمینی و زمینه می‌باشد یعنی ارزش‌های هر پیکسل با این سطح آستانه مقایسه می‌شود. ارزش‌های کوچک‌تر مربوط به سیب زمینی و ارزش‌های بزرگ‌تر از سطح آستانه نشان گر زمینه می‌باشد. این کار برای تمایز قسمت خرابی از سیب زمینی نیز صورت می‌گیرد. برای انتخاب سطح آستانه مطلوب به روش از خط تعدادی سیب زمینی در داخل محفظه تصویر برداری قرار گرفت و از آن تصویر گرفته شد تا سطح آستانه های مختلف را مورد آزمون قرار داده و در نهایت عدد ۱۸۰ برای آستانه انتخاب سیب زمینی از زمینه و عدد ۸۰ برای خرابی و سبز شدگی انتخاب گردید، اما برای اینکه این سیستم بتواند برای سیب زمینی‌های مختلف با شرایط رنگی مختلف کارایی داشته باشد در برنامه امکان تغییر و اصلاح این سطح آستانه نیز گنجاند شد. در الگوریتم برنامه به مقادیر بالاتر از این سطح آستانه عدد صفر و پایین‌تر از این سطح را یک منطقی اطلاق می‌شود. حال از رابطه‌ی زیر برای پیدا کردن سطح محصول و سطح خرابی که ارزش یک را دارا می‌باشد استفاده می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} X(i,j) \quad (۲)$$

که در رابطه‌ی بالای n، m به ترتیب تعداد ستون‌ها و سطرهای تصویر می‌باشد و $X(i,j)$ همان $I(i,j)$ می‌باشد با این فرق که عمل آستانه سازی بر روی $I(i,j)$ اعمال شده و مقادیر منطقی $X(i,j)$ حاصل می‌شود که ارزش آن عدد صفر یا عدد یک می‌باشد. حال الگوریتم تصمیم بر روی این عدد بدست آمده اجرا می‌شود. نسبت مساحت خرابی یا سبزینه به کل مساحت سیب زمینی اندازه گرفته شد. سیب زمینی‌های بدون خرابی درجه ۱ و سیب زمینی‌های با درصد خرابی کمتر از ۱۰ درصد درجه ۲ و بیش از آن به عنوان خراب یا درجه ۳ در نظر گرفته شد. تصمیم گرفته شده در مورد درجه سیب زمینی داخل محفظه بر مبنای درصد خرابی به برد توسعه خروجی پورت RS232 انتقال داده می‌شود اما چون سیستم عملگر جدا سازی در خارج از محفظه می‌باشد به همین علت باید تأخیر زمانی لازم برای گذر محصول از نقطه میانی به مقابل عملگر ایجاد شود. به همین علت توسط برنامه LABVIEW زمان لازم برای گرفتن تصویر و اتمام پردازش تصویر یعنی مرحله‌ی تصمیم گیری برای هر محصول اندازه گرفته می‌شود و اختلاف تأخیر زمانی لازم با زمان پردازش به صورت یک تأخیر، قبل از انتقال درجه کیفی به برد توسعه توسط برنامه اعمال می‌گردد که در بخش عملگرها مورد بررسی قرار خواهد گرفت (شکل ۵).

شکل ۵: تصویری گرفته شده توسط نرم افزار از سیب زمینی در حال عبور از محفظه نور

کارت توسعه‌ی پورت RS232

در سیستم عامل کامپیوترهای جدید تنها پورت‌های سریال توسط کامپیوترها شناخته می‌شوند. برای گرفتن داده های خروجی از کامپیوتر و برای به کنترل در آوردن رله‌ها و در صورت لزوم ایجاد تغییر در زمان اعمال آن‌ها از برد توسعه پورت RS232 بهره گرفته شد. از سوی دیگر برای حفظ ایمنی و جدا کردن بخش قدرت از بخش پردازش و جلوگیری از ایجاد خسارت به کامپیوتر، استفاده از این کارت ضروری است. برای کنترل کارت توسعه پورت RS232 از میکرو کنترولر Atmega8 استفاده شد که برنامه آن در محیط نرم افزار Code Vision نوشته و بر روی میکرو کنترولر بارگذاری شد. کارت توسعه داده های گرفته شده از سنسور همزمان ساز را به صورت سریال درآورده و به کامپیوتر انتقال می‌دهد و از سوی دیگر درجه کیفی تصمیم گرفته شده را با اعمال تغییراتی از لحاظ زمان باز ماندن عملگرها به رله‌ی کنترل کننده‌ی عملگرها می‌فرستد.

عملگرها و سامانه‌ی نیوماتیکی

در مرحله نهایی عملیات سایز بندی سیب زمینی بر اساس تصاویر تهیه شده از آن‌ها و شناسایی اندازه های مختلف از یک دیگر، توسط یک عملگر جداسازی انجام شد. برای این کار می‌توان از روش‌های مختلفی مانند موتور پله ای، جک نیوماتیکی و جریان سیال استفاده کرد. در این پروژه با توجه به نمودار پاسخ و همچنین راحتی نصب از روش جریان سیال برای بخش عملگر استفاده شد. برای این منظور یک کمپرسور ۱۰۰ لیتری جهت تأمین هوای فشرده برای جداسازی سیب‌زمینی‌ها استفاده شد. سپس برای کنترل هوای فشرده از دو عدد شیر نیوماتیکی که روبروی هم در انتهای تسمه نقاله نصب شدند، استفاده گردید (شکل ۶).

شکل ۶: شیر های نیوماتیکی و نازل‌ها

در ماشین بینایی آنلاین زمان بندی بین سرعت حرکت محصول و زمان عملکرد عملگرها و فاصله‌ی بین محفظه‌ی نور و عملگرها بسیار مهم می‌باشد. ۵ عامل سرعت حرکت، لحظه‌ی تصویر برداری، مدت زمان پردازش تصویر، مدت زمان تأخیر تا تحریک عملگرها و مدت زمان تحریک عملگرها نقش حیاتی در کارکرد صحیح سیستم را دارند. از همین رو در مرحله‌ی اول باید سرعت حرکت تسمه نقاله توسط اینورتر به گونه ای تنظیم شود که در مدت زمان تأخیر، محصول مسیر بین محفظه‌ی نور تا عملگرها را طی کند. اصل تعیین کننده‌ی بعدی تشخیص زمان ورود محصول به محفظه‌ی نور می‌باشد که بقیه زمان‌ها از این لحظه محاسبه می‌شوند. سپس با توجه به فاصله ای که محفظه‌ی نور تا عملگرها دارد مقداری تأخیر به زمان پردازش اضافه شده و بعد از زمان کلی بدست آمده عملگر باید تحریک شود. نکته‌ی آخر مدت زمان باز بودن شیر نیوماتیکی (مدت زمان تحریک عملگرها) است که با توجه به میزان هوای خروجی از نازل‌ها و شکل آیرودینامیکی سیب زمینی این زمان به صورت تجربی محاسبه و اعمال شد.

بحث و نتایج

برای ارزیابی سامانه درجه بندی بر خط سیب زمینی با استفاده از روش ماشین بینایی ۱۰۰ کیلوگرم سیب زمینی در اختیار یک کارشناس خبره در زمینه درجه بندی گذاشته شد و سیب زمینی‌ها به سه قسمت تقسیم و هر سه بخش جدا شده به صورت از خط مورد پردازش قرار گرفته و چهار فضای رنگی سبز، قرمز و آبی و ارزش سبزینه معادله ۱ مورد ارزیابی قرار گرفت، که در فضای رنگی معادله ۱ بهترین نتیجه شناسایی خرابی و سبزینه حاصل شد و بهترین سطوح آستانه برای تمایز خرابی، سیب زمینی و زمینه حاصل شد سپس سیب زمینی‌ها به صورت در هم در اختیار قسمت تغذیه سیستم قرار گرفت و به صورت بر خط عمل سایز بندی انجام شد. با مقایسه سیب زمینی‌های بدست آمده از سایز بندی به صورت دستی و این سیستم مشاهده شد که با دقت ۹۴/۴ برای سبزینه و ۹۵/۳ برای خرابی ظاهری جداسازی کرد. پس از آزمایش‌های متعدد در قسمت‌های مختلف سیستم، نتایج زیر برای

کارکرد بهینه سیستم بدست آمد. سرعت خطی قسمت تغذیه در حدود ۱/۴ متر بر ثانیه برای ورود دو سیب زمینی در هر ثانیه به مرحله پردازش و جداسازی بدست آمد. سرعت خطی تسمه نقاله انتقال دهنده سیب زمینی‌ها ۴ متر بر ثانیه تنظیم شد. پس از آزمایشات با نورهای مختلف بهترین نور مورد استفاده برای این سیستم لامپ فلورسنت 6400 k با تغذیه فرکانس بالا انتخاب گردید. سه زاویه ۶۰، ۷۰ و ۸۰ برای قرار گیری آینه های مجاور مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت زاویه ۷۸ درجه نسبت به افق که بهترین پوشش را برای رویت حداکثر سطح سیب زمینی‌ها را داشت انتخاب گردید. برای دادن ورودی به سیستم و گرفتن خروجی از آن با سرعت قابل قبول از پورت RS232 با برد توسعه پورت RS232 مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به سرعت بالای عملگر نیوماتیک و عدم نیاز این سیستم به بازگشت به شرایط اولیه جهت ادامه فرآیند جداسازی، سیستم هوای فشرده مورد استفاده قرار گرفت و در انتهای مسیر، دو شیر نیوماتیکی با زاویه ۶۰ درجه نسبت به مسیر حرکت تسمه نقاله نصب گردید. در نهایت با سرعت چهار سیب زمینی در هر ثانیه و با دقت ۹۴/۲ برای سبزینه و ۹۵/۳ برای خرابی ظاهری جداسازی کرد.

منابع

1. Barnes, M., T. Duckett, and G. Cielniak. 2009. Boosting Minimalist Classifiers for Blemish Detection in Potatoes, 24th International Conference Image and Vision Computing New Zealand.
2. Hassankhani, R. H. Navid. 2012. Potato Sorting Based on Size and Color in Machine Vision System, Journal of Agricultural Science.Vol. 4, No. 5: 235-244.
3. Heinemann, P.H., N.P. Pathare, and C.T. Morrow. 1996. An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes. Computer Science, Machine Vision and Applications 9(1): 14-19.
4. Narendra, V.G., and K.S. Hareesh. 2010. Quality Inspection and Grading of Agricultural and Food Products by Computer Vision- A Review. International Journal of Computer Applications 2: 43-65.

5. Noordam, J.C., G.W. Otten, A.J.M. Timmermans, and B.Y. Zwol. 2000. High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system. Machine vision applications in industrial inspection: VIII. Proceedings of SPIE 3966: 206-220.
6. Rios-Cabrera, R., I. Lopez-Juarez, and H. Sheng-Jen. 2008. ANN analysis in a vision approach for potato inspection.Journal of applied research and technology 6: 106-119.
7. Tao, Y., P.H. Heinemann, Z. Varghese, C.T. Morrow, and H.J. Sommer. 1995. Machine vision for color inspection of potatoes and apples. Transactions of the ASAE 38: 1555-1561.
8. Zhou, L., V. Chalana, and Y. Kim. 1998. PC-based machine vision for real-time computer-aided potato inspection, International Journal of Imaging Systems and Technology 9: 423-433.

Design and Development of an Online Potato Greening and Exterior Defects Sorting System Using Machine Vision

Farid bejaei[1], Abdollah Golmohammadi[2] and Hosein Behfar[3]

1- Msc Students, Dept. of Agricultural Machinery, MohagheghArdabili University of Ardabil.
Farid bejaei@yahoo.com

2- Assistant Prof., Dept. of Agricultural Machinery, MohagheghArdabili University of Ardabil.

3- Dept. of Agricultural Machinery, University of Tabriz, Tabriz, IRAN.

Abstract

Considering the importance of a grading based on quality, potato grading based on image processing as a machine vision project was considered in this research. Not only the complete system of grading was designed, built and assessed considering the real and industrial conditions, but also from the aspect of image pre processing some operations were performed which resulted in an improvement in the recognition of greening parts of the potatoes.

The system is consisted of three major sections which are the feeder, the image processing, and the accelerators, and the designing and building of each section was done separately considering the importance of each section. In the design of the feeder system, based on the stabilization angle of different potatoes, an adjustable inclined belt conveyor was used. Using two mirrors in the imaging box with an angle of 78 degrees from horizontal resulted in 94% coverage of the side area of the potatoes in the taken images. LABVIEW software was used to process the images. To separate the potatoes, the accelerator system of Pneumatic control valves and pressured air were used. As the system is online, all of timings related to image processing, product transferring and accelerators operation were calculated and applied based on the speed of the potatoes being fed to processing and sorting system. Finally, for the primary evaluation of the system, 100 kg of potatoes were fed to the system which sorted them out with an accuracy of 97.4% for greening and 95.3% for surface defects, and with the speed of four potatoes per second.

Keywords: Online, Sorting Construction, Potato, Designing, Machine Vision