

امکان سنجی درجه بندی کیفی سیب با استفاده از پردازش تصویر

راضیه پوردربانی^۱، حمیدرضا قاسم زاده^{۲*}، علی آقا گل زاده^۳ و حسین بهفر^۲

تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۱۳

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- گروه مهندسی مخابرات، دانشکده برق، دانشگاه تبریز

E-mail: Gasemzadeh@tabrizu.ac.ir

*مسئول مکاتبه

چکیده

سیستم‌های ماشین بینایی و پردازش تصویر روش‌های نوینی هستند که در بخش کشاورزی کاربردهای مختلفی دارند. از سیستم ماشین بینایی برای درجه بندی محصولات مختلف استفاده می‌شود. هدف این تحقیق بررسی امکان استفاده از پردازش تصویر برای درجه بندی سیب بر اساس صدمات سطحی بود. بدین منظور یک سیستم کامل ماشین بینایی شامل محفظه نوردهی، دوربین و کامپیوتر فراهم شد. نرم افزار Matlab برای پردازش تصاویر به کار گرفته شد. تعداد ۱۰۵ عدد سیب گرانی اسمیت به طور تصادفی انتخاب شدند و از هر سیب در شرایط نوردهی، تصویر گرفته شد. سپس به کمک روش سعی و خطا مقدار آستانه به عنوان معیاری برای تصمیم‌گیری معیوب یا سالم بودن سیب به دست آمد. از جمله مشکلات در ارتباط با درجه بندی سیب وجود دمگل بود که در تصویر باینری با نواحی معیوب اشتباه گرفته می‌شد بنابراین نسبت طول به ضخامت برای حذف دمگل انتخاب شد. سپس سیب‌ها به چهار درجه عالی، درجه یک، درجه دو و درجه سه درجه بندی شدند. به منظور ارزیابی سیستم، نتایج درجه بندی دید انسانی با نتایج درجه بندی ماشین بینایی با هم مقایسه شدند. دقت حذف دمگل ۹۹/۰۴٪ و دقت کلی درجه بندی ۹۵/۲۳٪ به دست آمد.

واژه های کلیدی: پردازش تصویر، درجه بندی سیب، ماشین بینایی

Feasibility Study of Apple Quality Grading Using Image Processing

R Pordarbani¹, HR Gasemzadeh^{2*}, AA Golzadeh³ and H Behfar²

¹Former MSc Student, Dept. of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Dept. of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Dept. of Telecommunication, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: E-mail: Gasemzadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Machine vision based system and image processing are new techniques that have different applications in agricultural industry. They are applied for grading of different products. The aim of this study was the consideration of image processing application for apple sorting based on their

external quality. A machine vision based system consisted of a lighting chamber, a camera and a personal computer were applied. The images were processed with Matlab software. A number of 105 Grany Smith apples were randomly selected. The images of apples were captured under developed illumination condition. The threshold level as a criterion of being defective or wholesome was achieved by trail and error. One of the problems in relation to the sorting was the stem that was considered as defects in a binary image. Length to thickness ratio index was used for removing the stem. Then the apples were sorted into four classes namely, Extra Fancy, Fancy, Utility and Cull. In order to evaluate the system, the result of human vision and machine vision were compared. Total accuracy of stem removing and sorting was 99.04% and 95.23%, respectively.

Keywords: Apple sorting, Image processing, Machine vision

مقدمه

تواند در حل معضل کمک نماید. ولی در دنیای امروزی و در بازارهای پر رقابت خارجی، بدون رعایت دقیق ضوابط درجه بندی و اندازه بندی و به دست آوردن شهرت، نمی توان وارد شد. بنابراین برای افزایش صادرات محصولات باغی، لزوم مکانیزه کردن صنایع بسته بندی میوه در کشور و کنترل کیفی میوه ها قبل از بسته بندی احساس می شود. کینگ زونگ و همکاران (۲۰۰۲) سیستم آزمایشی را برای شناسایی عیوب سطحی پیشنهاد کردند که شامل یک نقاله تغذیه، واحد فاصله انداز یکنواخت، سیستم ماشین بینایی و یک نقاله درجه بند بود. نقاله تغذیه سیب ها را به سمت واحد فاصله انداز هدایت کرد، سپس سیب ها به واحد ماشین بینایی تغذیه شدند تا از نظر عیوب بازرسی شوند. در پایان واحد درجه بند عمل درجه بندی سیب ها را انجام داد.

آنها بر اساس تصویر مرجع از یک سیب، روشی را برای انجام عمل بخشبندی صدمات موجود در یک تصویر سیب بد شکل گسترش دادند. زمینه های تصویر شامل آیینه و تسمه نقاله است که به دلیل متفاوت بودن این دو از هم، بخشبندی تصویر با یک

سیب از زمره اولین میوه هایی است که بشر از دوران ماقبل تاریخ و شروع دوران کشت و زرع شناخته و مورد استفاده قرار داده است. سیب از خانواده روزاسه^۱، جنس مالوس^۲ بوده و دارای ارقام مختلفی می باشد (منیعی ۱۳۷۰).

سطح زیر کشت محصولات باغی (بارور) کشور در سال ۱۳۸۰، ۱۶۵۷۰۰۰ هکتار بوده که از این میزان، سهم سیب درختی ۱۴۹۰۰۰ هکتار و میزان تولید سیب ۲۳۵۳۰۰۰ تن بوده، که عملکرد آن ۱۵/۸ تن بر هکتار بوده است (بی نام ۱۳۸۰).

عرضه میوه تولید شده، به صورت بازار پسند و باب طبع مصرف کننده از اهم مطالبی است که هر تولید کننده امروزی مد نظر دارد. بسیاری از باغداران کشور از این شاکی هستند که قادر نمی باشند محصول خود را به نحو شایسته به بازار رسانیده و به فروش برسانند. در نتیجه متحمل خسارت زیادی می شوند و از باغداری، به خصوص تولید سیب دلسرد هستند.

اقدام اخیر دولت در باز کردن راه خروج مازاد میوه به بازارهای خارجی و تشویق صنایع مربوط به سیب می

^۱Rosaceae

^۲Malus

چندین تصویر توسط دوربین گرفته می شد. سیب ها روی تسمه نقاله گذرا از یک تونل با سیستم نوردهی تعبیه شده، در جلوی دوربین به آرامی واژگون می شدند تا محور دمگل در موقعیت عمود نسبت به لنز دوربین قرار گیرد و به غلتک های پلاستیکی تکیه داده و چرخش داده می شدند. دوربین (با وضوح ۱۰۲۴×۱۰۲۴ پیکسل و ۲۵۶ سطح خاکستری) در چرخش ۳۶۰ درجه، شش تصویر را می گرفت. دوربین شامل فیلترهای نوری بود. نواحی تیره ای که در طول چرخش، نسبت به سیب در موقعیت ثابت قرار داشتند بیانگر دمگل بودند در حالی که دیگر نواحی تیره که شکل و یا موقعیت آنها از فریمی به فریم دیگر تغییر کردند جزو صدمات محسوب شدند. اگرچه شناسایی نسبتا موفق بود (۹۰٪)، اما تعدادی از سیب های سالم به عنوان معیوب درجه بندی شدند. آنها اظهار داشتند که هنوز هم مشکل شناسایی دمگل از نواحی صدمه دیده واقعی به طور کامل حل نشده است و در این راستا، استفاده از دوربین های اضافی هماهنگ با بازرسی نواحی دمگل مورد نیاز است. آنها از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار Matlab برای تحلیل داده ها استفاده کردند.

از جمله مسائلی که در ارتباط با درجه بندی خودکار سیب باید مورد توجه قرار گیرد، وجود دمگل است که گاهی با نواحی معیوب و لکه ها اشتباه گرفته می شود. روش های مکانیکی شناسایی دمگل که سیستم چرخش دهنده ساده بوده، قابل اعتماد نیستند چرا که تنظیم و حفظ جهت دهی^۱ به صورتی که شامل تمام سطوح سیب باشد مشکل است. روش های مبتنی بر ماشین بینایی محدوده وسیعی از تکنولوژی ها و مواد را پوشش می دهند.

از مسایل دیگر، گرفتن تصویر با کیفیت بالا می باشد. تصویر با کیفیت بالا می تواند به کاهش پیچیدگی و زمان مورد نیاز برای پردازش های بعدی

عمل آستانه سازی ساده میسر نیست. بنابراین از روش تفریق برای این امر استفاده شد. بدین صورت که ابتدا یک تصویر مرجع از میوه بوجود آمد و سپس بانرمال کردن تصویر میوه اصلی مورد بازرسی، تصویر میوه مرجع نرمال شده^۱ به دست آمد. در مرحله دوم، با کم کردن تصویر میوه اصلی نرمال شده از تصویر میوه مرجع نرمال شده (NRFI) تصویر دیگری به دست آمد. سر انجام آستانه سازی ساده برای به دست آوردن صدمات به کار برده شد. اما از آنجایی که استفاده از هر الگوریتم جداسازی بر اساس آستانه سازی کلی^۲، به منظور نمایان سازی صدمات سیب مشکل است، بنابراین آنها روش های آستانه سازی تطبیق پذیر محلی^۳ را برای به دست آوردن صدمات توسعه دادند و به دقت ۹۳٪ دست یافتند.

کاودیر و گویر (۲۰۰۳) روی درجه بندی سیب ها با استفاده از منطق فازی به صورت off-line کار کردند. آنها سیب را بر حسب شاخص هایی مثل رنگ، نقص های خارجی، شکل، وزن و اندازه درجه بندی نمودند. رنگ با استفاده از رنگ سنج مینولتا مدل CR-200 در محدوده L, a و b اندازه گیری شد که در آن L فاکتور درخشانی، a و b به ترتیب مقدار قرمز یا سبز و مقدار زرد می باشند. نقایص سطحی بر روی سیب ها با استفاده از یک شابلون اندازه گیری شدند که از یک سری سوراخ های با قطرهای متفاوت تشکیل شده بود. نقایص اندازه (باریک و بلند شدن) با اندازه گرفتن بزرگترین و کوچکترین ارتفاع های سیب بوسیله یک پرگار الکترونیکی تعیین شدند. برنامه نویسی توابع تعلق فازی^۴ برای فازی سازی و غیر فازی سازی بوسیله نرم افزار Matlab انجام شد. سیب ها به سه درجه خوب، بد و متوسط درجه بندی شدند.

بندسن و همکاران (۲۰۰۵) سیستم آزمایشی را برای شناسایی صدمات سطحی سیب ارزیابی کردند که مبتنی بر چرخش سیب در مقابل دوربین بود که در حین چرخش،

¹Normalized Reference Fruit Image (NRFI)

²thresholding Global

³Local adaptive thresholding

⁴Membership Function

هر ولتاژ خاص تعیین شد. برای تعیین بهترین ولتاژی که در آن، تغییرات مقادیر RGB دارای کمترین تغییرات هستند، از روش دانکن و طرح آزمایش CRD استفاده شد. بعد از دست یابی به بهترین ولتاژ، به منظور بررسی یکنواختی میدان دید، مقادیر RGB در فواصل مساوی از مرکز به طرف لبه‌ها در هر دو جهت افقی و عمودی محاسبه شدند. با توجه به این تحلیل‌های آماری (جدول ۲ و ۳) و مزایایی از قبیل مستقیم بودن جریان (DC)، عمر کارکرد بالا (تقریباً ۱۰۰۰۰۰ ساعت که معادل ۱۱ سال کار بدون توقف می‌باشد)، پایداری مکانیکی به دلیل وجود پوشش‌های محافظ شفاف، اتلاف گرمایی کم، بازده بالا در تبدیل انرژی الکتریکی به نور (۸۰-۶۰ لومن به ازای هر وات)، منبع LED به عنوان بهترین منبع انتخاب شد. لازم به ذکر است که سیستم نورپردازی گنبدی با منبع نوری LED برای اولین بار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. به کمک این نوع محفظه نوردهی، از تشکیل سایه‌ها در تصویر ممانعت به عمل آمد و توسط منبع نوری انتخاب شده، نوردهی یکنواختی بر موضوع اعمال شد. برای گرفتن تصویر، یک دوربین Sony (NO.DSC-P100) با وضوح ۵/۱ مگا پیکسل در قسمت بالای محفظه نصب شد. به منظور پردازش تصاویر گرفته شده توسط دوربین، از یک کامپیوتر Pentium 4 با حافظه RAM ۵۴۰ مگا بایت استفاده شد. پردازش و تحلیل تصاویر با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار Matlab ۷/۰۴ انجام گرفت.

الگوریتم درجه بندی

تعداد ۱۰۵ عدد سیب گرانی اسمیت به طور تصادفی انتخاب شدند. سپس در شرایط نوردهی انتخاب شده، از تک تک سیب‌ها از یک وجه تصویر با رزولوشن ۱۹۴۴ × ۲۵۹۲ پیکسل گرفته شد. سیب‌ها به گونه‌ای جهت دهی شدند که محور دمگل -

کمک کند، که این عمل باعث کاهش هزینه‌های سیستم پردازش تصویری شود. کاربردهای مختلف ممکن است نیازمند روش‌های مختلف نورپردازی باشد (خلیلی ۱۳۸۰). درجه بندی سیب به منظور بالا بردن بازار پسندی و رقابت با بازارهای جهانی حایز اهمیت است. برای افزایش صادرات محصولات باغی، لزوم مکانیزه کردن صنایع بسته بندی میوه در کشور و کنترل کیفی میوه‌ها قبل از بسته بندی احساس می‌شود.

سیب از جمله محصولات است که در کشور ما به صورت انبوه تولید می‌شود. امروزه جداسازی سیب بر اساس رنگ و اندازه در کشورهای مختلف به طور خودکار انجام می‌شود. اما تشخیص خرابی و درجه بندی آنها به کمک نیروی انسانی متخصص انجام می‌شود که مستلزم وقت و هزینه زیادی است.

هدف این تحقیق امکان سنجی درجه بندی کیفی سیب با استفاده از پردازش تصویر توسط کامپیوتر بود.

مواد و روش‌ها

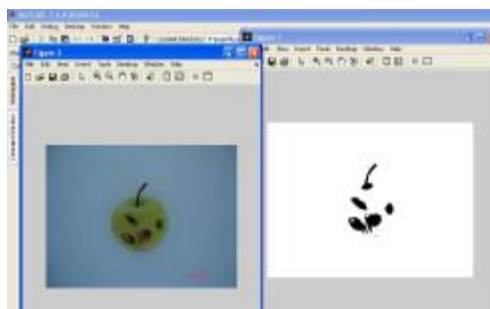
در این تحقیق سعی بر آن شد که با انجام کار عملی بر روی انواع تصاویر گرفته شده، ضمن پیدا کردن بهترین وضعیت استقرار سامانه نورپردازی و موضوع نسبت به همدیگر در هر یک از انواع منابع نورپردازی، بهترین منبع نوردهی انتخاب شود. روش کار به این صورت بود که منابع نور تابان، هالوژن، فلورسنت و LED از نظر دو فاکتور حساسیت به تغییرات ولتاژ و یکنواختی میدان دید (FOV^۱) مورد بررسی قرار گرفتند. نمودارهای هر دو فاکتور در مقابل شدت مقادیر RGB توسط نرم افزار اکسل رسم شد و مقادیر RGB توسط نرم افزار Matlab تعیین شد. در منبع نور LED، تصویر میوه در ولتاژهای ۵، ۶، و ۱۸ ولت، با دو تکرار و در منبع نوری فلورسنت، تصویر میوه در ولتاژهای ۱۳۰، ۱۴۰، و ۲۲۰ ولت با سه تکرار گرفته شد برای رسم نمودار حساسیت به تغییرات ولتاژ، مقادیر RGB برای قسمت مرکزی میوه در

^۲Field of View

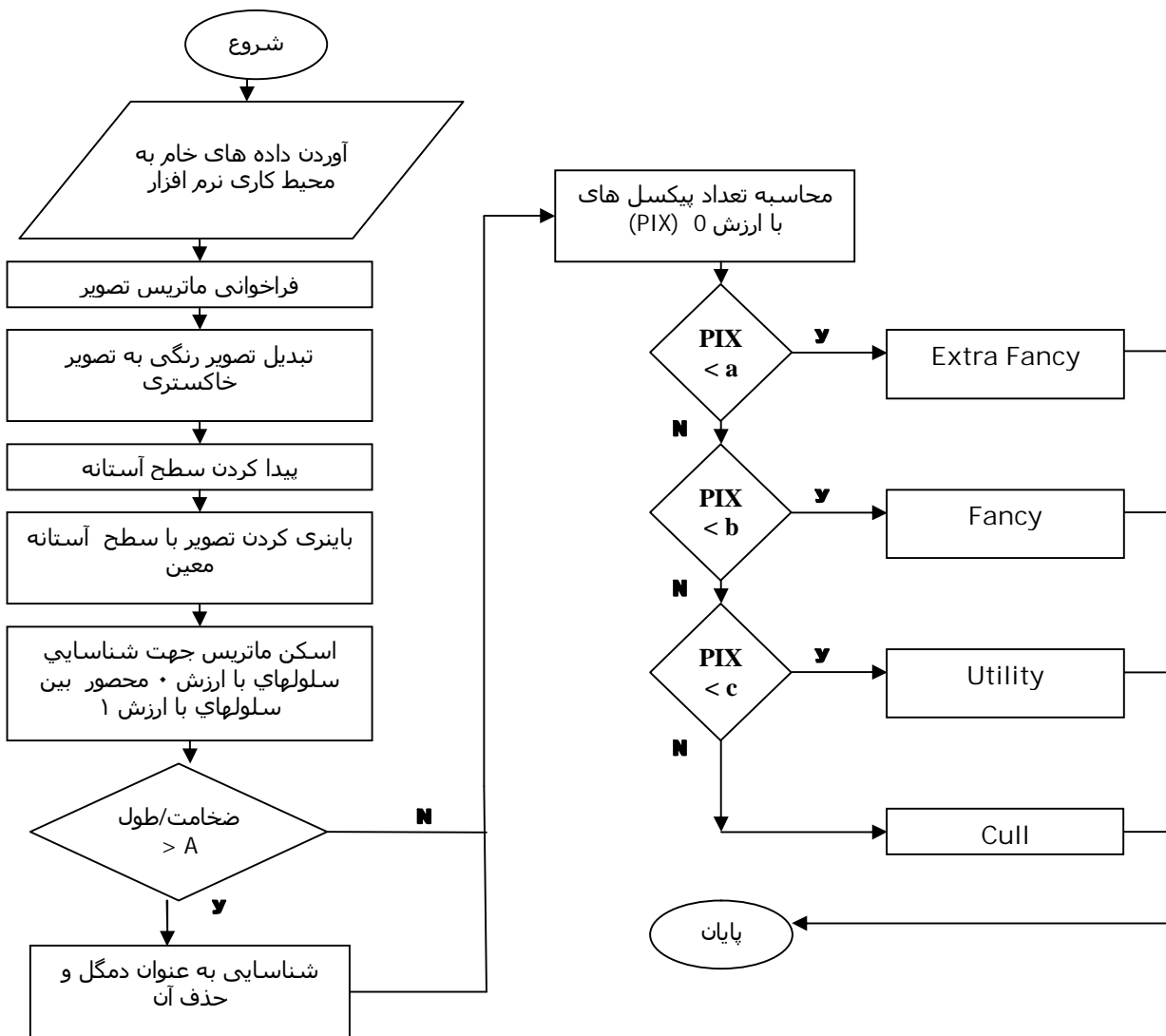
در ماتریس تصویر باینری شده، نواحی مربوط به دمگل و معیوب با عدد صفر و دیگر نواحی با عدد یک کد گذاری شده اند. از آنجایی که دمگل به دلیل داشتن شکل و ضخامت خاص، با حالت کشیدگی و ضخامت خیلی کمی نسبت به نواحی گرد و پهن معیوب میوه، منفک از نواحی معیوب می باشد، بنابراین از این ویژگی به عنوان معیاری برای حذف دمگل استفاده شد. الگوریتم به گونه ای پیاده سازی شد که ماتریس تصویر باینری شده به ترتیب از ردیف اول و ستون اول (از بالا) اسکن شد. در واقع هدف جستجوی صفرهای ماتریس بود. زمانی که نسبت طول به ضخامت محدوده دارای مقادیر با ارزش پیکسلی صفر از مقدار معین تجربی ۱ بیشتر شد، الگوریتم ارزش پیکسل یک را جایگزین صفر کرد و به این طریق دمگل از تصویر باینری شده حذف شد (شکل ۲ و ۳).

دستور ویژه Matlab برای شمارش پیکسل ها، فقط قادر است که تعداد پیکسل های بالای حد آستانه - پیکسل های سفید - را شمارش کند. به منظور شمارش تعداد پیکسل های با ارزش صفر که در واقع همان نواحی معیوب می باشند تصویر زمینه گرفته شد و تعداد پیکسل های زمینه که همگی دارای ارزش یک بودند، از تعداد پیکسل های هر تصویر کاسته شد و به این ترتیب تعداد پیکسل های نواحی معیوب محاسبه شد. در صورتی که تصویر شامل ناحیه معیوب نباشد، تعداد پیکسل های با ارزش یک بعد از حذف دمگل و اعمال تفریق از پیکسل های زمینه، صفر خواهد بود.

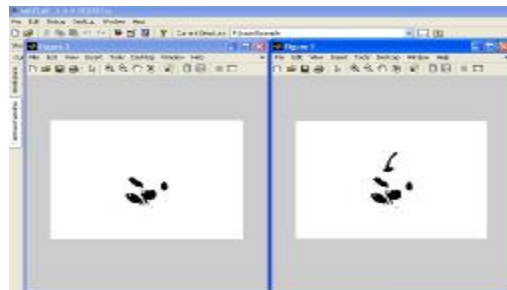
کاسبرگ عمود بر محور لنز دوربین بود. به این ترتیب کاسبرگ در تصویر نشان داده نمی شود و فقط دمگل قابل دید می باشد. این نوع جهت دهی به این خاطر قابل اهمیت است که در تصویر باینری شده، امکان تفکیک کاسبرگ از لکه ها وجود ندارد و بنابراین، این شیوه جهت دهی، قادر بر فایق آمدن بر این مشکل هست. روش کار به این صورت است که ابتدا تمام تصاویر گرفته شده به محیط کاری نرم افزار Matlab آورده شدند، سپس در ماتریس تصویر باینری شده، نواحی مربوط به دمگل و معیوب با عدد صفر و دیگر نواحی با عدد یک کد گذاری شده اند. با توجه به الگوریتم، برنامه مربوطه به زبان برنامه نویسی Matlab نوشته شد. رنگ لکه های سیب متفاوت از رنگ بافت سالم سیب است و همین امر باعث می شود که در تصویر باینری شده این نواحی از بافت سالم تفکیک شوند. بنابراین اولین قدم آن است که یک سطح آستانه معین به روش آستانه سازی تعیین شود که در واقع این سطح آستانه معیاری برای تصمیم گیری معیوب یا سالم بودن سیب می باشد. به منظور باینری کردن تصویر، تصویر رنگی اولیه به تصویر خاکستری با ارزش پیکسل های بین [۰ ۱] تبدیل شد سپس سطح آستانه ۰/۳ با استفاده از روش سعی و خطا بر روی ۲۰ نمونه بدست آمد و در این سطح آستانه، تصویر خاکستری به تصویر باینری با ارزش پیکسل های ۰ و ۱ تبدیل شد. اما همانگونه که از شکل ۱ پیداست، در تصویر باینری، دمگل همانند نواحی معیوب منظور می شد بنابراین لازم بود که پیش پردازشی روی تصاویر انجام گیرد تا به طریقی این مشکل مرتفع شود.



شکل ۱- عدم شناسایی دمگل از نواحی معیوب در تصویر باینری



شکل ۲- الگوریتم سیستم جداسازی



شکل ۳- حذف دمگل بعد از اعمال الگوریتم

ارزیابی سیستم

به منظور ارزیابی سیستم، نتایج درجه بندی بینایی انسان با نتایج درجه بندی ماشین بینایی بر اساس نظر محقق با هم مقایسه شدند. با استفاده از یک کاغذ میلیمتری مربعات کوچک یک میلیمتر مربعی روی یک تلو بی رنگ قابل انعطاف، چاپ شدند. مساحت نواحی معیوب تک تک سیب ها بر حسب میلیمتر مربع توسط اپراتور بدست آمد و طبق نظر محقق به درجات عالی، درجه یک، درجه دو و درجه سه درجه بندی شدند. سپس به منظور دست یابی به تعداد پیکسل ها در هر میلیمتر مربع، تصویر قطعه ای به مساحت یک سانتیمتر مربع گرفته شد و طبق همان الگوریتم و همان سطح آستانه باینری شد و تعداد پیکسل ها به ازای هر میلیمتر مربع محاسبه شد که عدد ۱۷۸ پیکسل به ازای هر میلیمتر مربع بود. از آنجایی که در درجه بندی ماشین بینایی، الگوریتم درجه بندی در نرم افزار Matlab پیاده سازی شد و همانگونه که در بالا ذکر شد، این نرم افزار به جای محاسبه مساحت نواحی معیوب، تعداد پیکسل ها را بدست می دهد بنابراین انجام چنین تبدیلی ضروری بود. درجات مشخص شده توسط محقق دارای مشخصات زیر بودند:

عالی: مساحت کلی ناحیه معیوب (با فرض دایروی بودن) بایستی کمتر از 285 mm^2 باشد که با تبدیل صورت گرفته تعداد کلی پیکسل ها معادل ۵۰۸۲۸ پیکسل بدست می آید.

درجه یک: مساحت کلی ناحیه معیوب بایستی کمتر از 506 mm^2 باشد که با تبدیل صورت گرفته تعداد کلی پیکسل ها معادل ۹۰۳۶۱ پیکسل بدست می آید.

درجه دو: مساحت کلی ناحیه معیوب بایستی کمتر از 791 mm^2 باشد که با تبدیل صورت گرفته تعداد کلی پیکسل ها معادل ۱۴۱۱۸۹ پیکسل بدست می آید.

درجه سه: مساحت کلی ناحیه معیوب بایستی از 791 mm^2 بیشتر باشد.

یکبار دیگر تک تک سیب ها توسط سیستم ماشین بینایی مبتنی بر همان معیارها درجه بندی شدند.

نتایج و بحث

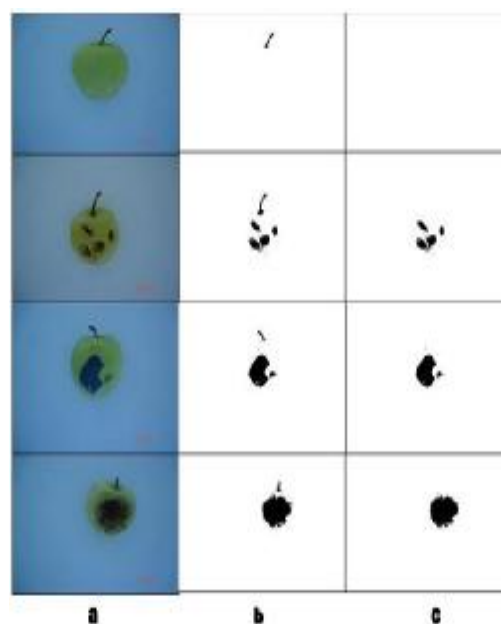
خطا های درجه بندی ناشی از عوامل زیرند:
در دو ردیف بالایی از شکل ۴، خطاها به دلیل عدم شناسایی کوفتگی های داخلی می باشند که به دلیل تباین پایین بین بافت سالم و بافت کوفته شده داخلی که معمولا کوفتگی های تازه هستند، در تصویر باینری قابل شناسایی نیستند و این امر باعث شده است تا تعداد پیکسل های شمارش شده توسط نرم افزار کمتر از تعداد پیکسل های شمارش شده توسط اپراتور باشد و خطا رخ دهد. در مورد سوم خطا به دلیل عدم منفک بودن ناحیه معیوب از دمگل می باشد که لکه ها در جریان حذف دمگل حذف شده اند. در مورد چهارم، خطا به این دلیل می باشد که ترک خوردگی تازه است و همه قسمت های ترک خورده نتوانسته اند در اثر واکنش های آنزیمی با محیط پیرامون تغییر رنگ دهند و تنها، نواحی ای که تغییر رنگ داده اند در تصویر باینری به صورت پیکسل های سیاه نشان داده شده اند و بنابراین تعداد پیکسل های شمارش شده به عنوان ناحیه معیوب کمتر از تعداد پیکسل های معیوب واقعی می باشد.

در شکل ۵ چهار نمونه از درجه بندی صحیح نشان داده شده است. تصاویر به ترتیب از بالا به پایین درجه های عالی، درجه یک، درجه دو و درجه سه را نشان می دهند.

از بین نمونه های انتخاب شده، فقط در یک مورد دمگل حذف نشد که دلیل آن کوچکی دمگل بود که در واقع معیار نسبت طول به ضخامت کمتر از مقدار تجربی معین ۱ بود و به عنوان ناحیه معیوب شناسایی شد. دقت کلی فرآیند حذف دمگل ۹۹/۰۴ بود.

نرخ بازشناسی

دقت درجه بندی مربوط به هر درجه و دقت درجه بندی کل در ماتریس سردرگمی ۱ نشان داده شده است. به دلیل نبود نمونه های کافی از هر درجه، داوری ساده نیست. برای مثال پایین بودن دقت درجه یک به دلیل کافی نبودن نمونه در این دسته می باشد. با این وجود هدف اصلی این تحقیق بررسی امکان درجه بندی کیفی با استفاده از پردازش تصویر بود که تا حدودی تحقق یافته است و البته جای کار و تحقیقات افزون دارد.

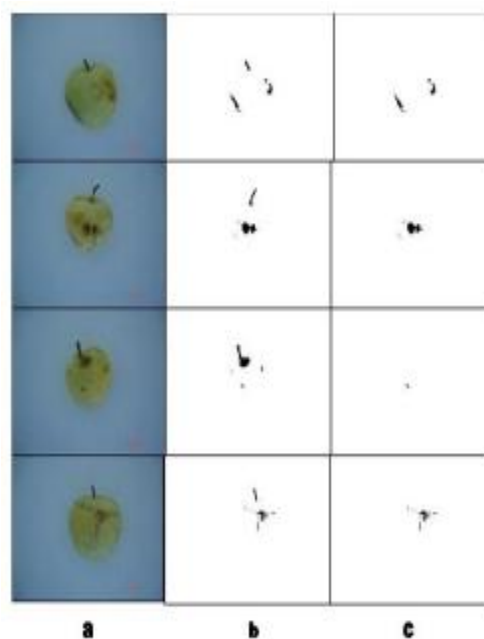


شکل 4- چهار نمونه از درجه بندی غیر صحیح (a) تصویر اصلی (b) تصویر باینری شده (c) تصویر باینری شده پس از حذف دمگل

همانطور که از داده های موجود در جدول ۱ پیداست از ۷۶ نمونه سیب عالی، همه آنها به درستی درجه بندی شدند و دقت ۱۰۰٪ حاصل شد. از بین ۸ نمونه سیب درجه یک، ۲ تا از آنها به عنوان درجه عالی شناخته شدند و دقت ۷۵٪ به دست آمد. از ۱۰ نمونه سیب درجه دو، ۱ نمونه به عنوان درجه سه و ۱ نمونه به عنوان عالی درجه بندی شدند و دقت درجه بندی ۸۰٪ به دست آمد. از ۱۱ نمونه سیب درجه سه، فقط یک نمونه به خطا به عنوان درجه عالی وجود داشت و دقت درجه بندی ۹۰/۹٪ به دست آمد. دقت کلی درجه بندی ۹۵/۲۳٪ به دست آمد.

جدول 1- ماتریس سردرگمی درجه بندی به چهاردسته

نرخ بازشناسی	درجه سه	درجه دو	درجه یک	عالی	نرخ
100%	0	0	0	76	عالی
75%	0	0	6	2	درجه یک
80%	1	8	0	1	درجه دو
90/9%	10	0	0	1	درجه سه
95/23%					



شکل 5- چهار نمونه از درجه بندی صحیح (a) تصویر اصلی

(b) تصویر باینری شده (c) تصویر باینری شده پس از حذف

دمگل

در تحقیق حاضر، با استفاده از منبع نور LED نوردهی یکنواختی بر روی موضوع اعمال شد. بنابراین تصویرری با کیفیت بالا بدون نیاز به دوربین های بسیار گران قیمت به دست آمد. پیچیدگی پردازش کاهش یافت به گونه ای که با یک عمل آستانه سازی کلی و نوشتن الگوریتمی با حجم کمتر، زمان پردازش و به تبع آن هزینه های ناشی از مدت زمان پردازش کاهش یافت، و نتایج به دست آمده در مقایسه با نتایج کارهای انجام گرفته قبلی، دارای دقت قابل قبولی بودند.

قابلیت بسط سیستم موجود برای درجه بندی on-line

اگرچه این تحقیق به صورت off-line انجام گرفت، اما این سیستم قابلیت اجرای on-line را دارد که با اندکی تغییرات در شکل محفظه نور دهی و بسط الگوریتم این امر به سادگی محقق می شود. به منظور انجام واقعی درجه بندی بلادرنگ که نیاز به انتقال محصول روی تسمه نقاله و عبور آن از داخل محفظه جهت روشن سازی و تصویر گیری می باشد، دو طرح پیشنهاد می شود:

الف) طرح پیشنهاد شده در شکل ۶، شباهت بیشتری به سیستم موجود دارد. با این تفاوت که قسمت مرکزی مورد حاوی منابع نور به شعاع کمی کمتر از شعاع نصب منابع نور بریده می شود تا نوری که از منابع نور ساطع شده و به گنبد برخورد می کنند به هنگام انعکاس و برگشت، بتوانند از طریق این قسمت بریده شده بر روی محصول بتابند. اما به نظر می رسد که نور رسیده از محیط باعث ایجاد اغتشاش در تصویر گرفته شده شود که البته می توان برای

رفع این نقص، از پارچه برزنتی با ضخامت کافی به همان گونه ای که در آشکارسازهای موجود در فرودگاهها به کار گرفته می شود، استفاده کرد. در واقع محصول روی تسمه نقاله از یک طرف وارد محدوده پارچه ای شده و پس از نوردهی و گرفتن تصویر همانطور که روی تسمه انتقال یافته و به بیرون هدایت شود.

جدول 2- تجزیه واریانس مربوط به ولتاژهای منبع LED برای

رنگ های B و G, R

میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	R	G
تیمار	13	4/43*	22/97*
خطا	14	0/61	0/39

* معنی دار در سطح احتمال 5%

جدول 3- تجزیه واریانس مربوط به ولتاژهای منبع فلورسنت

برای رنگ های B و G, R

میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	R	G
تیمار	9	501/ 70ns	592/ 01 ns
خطا	20	319/8	323/06

ns و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال 5%

از آن جایی که ۶۵% نتیجه کار پردازش تصویر به نوع و نحوه نوردهی سیستم بستگی دارد بنابراین هرچه نوردهی یکنواخت تری اعمال شود به همان اندازه پیچیدگی، هزینه و زمان پردازش کاهش می یابد. مدت زمان پردازش در سیستم ماشین بینایی از نقطه نظر سرعت بسیار حایز اهمیت می باشد. نتایج حاصل منطبق بر تحقیقات استیگرولد و همکاران (۲۰۰۲) بود که بیان کردند استفاده از نور LED در کاربردهای مربوط به تشخیص عیوب بوردهای الکترونیکی، نتایج بهتری را نسبت به منابع نوری دیگر نشان داد(۱۰۰%).

اگر کیفیت تصویر یکنواخت تر باشد به سادگی می توان با عمل آستانه سازی کلی، کار پردازش را انجام داد؛ در حالی که اگر نور دهی غیر یکنواخت باشد استفاده از آستانه سازی کلی میسر نخواهد بود و باید از آستانه سازی محلی که هم زمان بر و هم هزینه بر می باشد استفاده کرد (کینگ زون و همکاران ۲۰۰۲).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق درجه بندی کیفی سیب‌ها بر اساس عیوبات سطحی انجام گرفت. دقت شناسایی دمگل و حذف آن % ۹۹/۰۴ به دست آمد. دقت تشخیص الگوریتم % ۹۵/۲۳ به دست آمد که همخوانی خوبی را با نتایج حاصل از بینایی انسان داشت. به دلیل دقت بالای تشخیص الگوریتم ارایه شده و انطباق پذیری سیستم برای انجام درجه بندی به صورت on-line، اعمال درجه بندی اتوماسیون میوه‌ها امکانپذیر است.



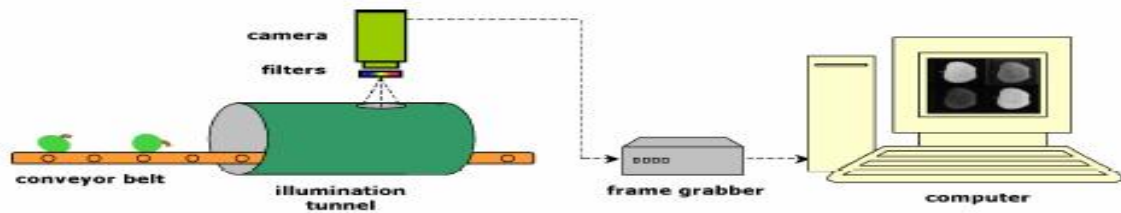
شکل 6- طرح پیشنهادی (الف) برای درجه‌بندی on-line

ب) در طرح پیشنهاد شده در شکل ۷، استوانه نیز می‌تواند حالت گنبدی شکل را ایجاد کند و در نتیجه دستیابی به نور دهی یکنواخت را ممکن سازد. در چنین سیستمی منابع نور می‌توانند در محدوده محل نصب دوربین در دو جانب آرایش یابند. تفاوتی که چنین سیستمی با سیستم موجود می‌تواند داشته باشد این است که در چنین سیستمی امکان آرایش منابع نور به طور شعاعی به دلیل عبور تسمه نقاله از داخل استوانه وجود ندارد. اما برای جبران این تعداد از منابع نور حذف شده، می‌توان آنها را به صورت ردیفی پشت سر هم استفاده کرد تا از کمبود شدت نور که در کیفیت تصویر تاثیر گذار است ممانعت شود. طول استوانه لازم نیست که زیاد طولانی باشد. فقط کافی است که استوانه تا اندازه‌ای از دو جانب امتداد داده شود تا نور محیط در تداخل با نور منابع ایجاد اغتشاش نکند.

در سیستم on-line به یک کارت گیرنده تصویر نیز نیاز هست که کار آن رقمی سازی و کدبرداری (تبدیل داده کد گذاری شده به حالت اصلی) سیگنال مرکب ویدیویی از دوربین به بافرهای تعریف شده توسط کاربر^۱، در فضای رنگی RGB می‌باشد.

برای انجام on-line عملیات، لازم است که سیب‌ها جهت دهی شوند. جهت دهی اولیه می‌تواند در آب صورت بگیرد. سیب‌ها در آب به گونه‌ای جهت دهی می‌شوند که دمگل به حالت عمود بر سطح افقی قرار می‌گیرد. سپس سیب‌ها می‌توانند در داخل پیاله‌های نقاله قرار بگیرند و از داخل محفظه نوردهی عبور کنند. سیب‌ها می‌توانند در حین عبور از جلوی دوربین واقع شده در محفظه نوردهی، دوران ۳۶۰ درجه داشته باشند تا اینکه تصویر تمام وجوه سیب گرفته شود؛ که انجام چنین دورانی از طریق تسمه نقاله دارای پیاله‌های قابل چرخش می‌تواند میسر شود (بندسن و همکاران ۲۰۰۵).

^۱User-defined buffers



شکل 7- طرح پیشنهادی (ب) برای درجه بندی on-line

منابع مورد استفاده

بی نام، ۱۳۸۰. سالنامه آماری کشور. مرکز آمار ایران. شماره مسلسل نشریات مرکز آمار ایران: ۳۵۸۹
 خلیلی خ، ۱۳۸۰. ماشین بینایی و اصول پردازش دیجیتالی تصویر. انتشارات جهان نو، چاپ اول
 منیعی ع، ۱۳۷۰. سیب و پرورش آن. شرکت انتشارات فنی ایران، چاپ اول

Bennedsen BS, Peterson DL and Tabb A, 2005. Identifying defects in images of rotating apples. *Computers and Electronics in Agriculture* 48: 92-102

Kavdir I and Guyer DE, 2003. Apple grading using fuzzy logic. *Turkish Journal of Agriculture* 27: 375-382

Qingzhong L, Moahua W and Werkang G, 2002. Computer vision based system for apple surface defect detection. *Computers and Electronics in Agriculture* 36(2 3): 215-223

Steigerwald DA, Bhat JC, Collins D, Fletcher RM, Holcomb MO, Ludowise MJ, Martin PS and Rudaz SL, 2002. Illumination with solid state lighting technology. *Selected Topics in Quantum Electronics. IEEE Trans* 8(2): 310 – 320