

تشخیص آسیب‌های سطحی ناشی از صدمات مکانیکی میوه انبه رقم کلک سرخ با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر رنگی

محمودرضا گلزاریان^{۱*}، منصوره شمیلی^۲، امید دوستی ایرانی^۳، پیمان آذرکیش^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

چکیده

سیستم بینایی ماشین یکی از ابزارهای قدرتمند به منظور خودکار کردن روش‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی است. در این تحقیق با استفاده از پردازش تصاویر رنگی تهیه‌شده از میوه انبه به تشخیص خرابی‌های ظاهری ناشی از صدمات مکانیکی پرداخته شده است. برای این منظور از میان ۸۰ عدد انبه با بازرسی چشمی تعداد ۶۰ نمونه انبه که بر روی آن‌ها لکه‌های سیاه‌رنگ ناشی از آسیب‌های مکانیکی در حین برداشت و جابجایی به وجود آمده بود، تشخیص داده شدند و از هر میوه در شرایط نوردهی یکسان تصویربرداری شد. با استخراج ویژگی‌های رنگی در سه مدل رنگی RGB، HSI و $L^*a^*b^*$ و مقایسه آماری داده‌ها مشخص شد که ویژگی‌های رنگی G و $0.16G/0.5R$ در محیط رنگی RGB به ترتیب با دقت ۹۰٪ و ۹۱٪ و ویژگی‌های رنگی a^* و $0.16L^*-a^*$ از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ به ترتیب با دقت ۹۳٪ و ۱۰۰٪ قادر به تشخیص بافت آسیب‌دیده می‌باشند. درصد مساحت استخراج‌شده از هر نمونه به‌عنوان معیاری برای درجه‌بندی میوه انبه مورداستفاده قرار گرفت. با استفاده از روش خوشه‌بندی K میانگین نمونه‌ها به دودسته تقسیم‌بندی شدند و نقطه برش بین این دودسته با استفاده از منحنی راک برابر با ۳/۱۱ بدست آمد. مساحت منحنی راک برابر با ۱ بدست آمد که نشان‌دهنده قدرت تفکیک بالای خوشه‌بندی است.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، آسیب‌های سطحی، صدمات مکانیکی، تصاویر رنگی، انبه.

مقدمه

برداشت و فنون مناسب حمل‌ونقل و نگهداری دارند (Barchi *et al.*, 2002). میوه‌ها در موقع برداشت (چه به‌صورت دستی یا مکانیزه) و یا در حمل‌ونقل و یا در زمان بسته‌بندی اولیه، دچار آسیب‌های مکانیکی می‌شوند. گاهی این آسیب‌ها باعث آسیب به بافت‌های داخلی میوه نیز می‌شود که ضمن تخریب بافت میوه، باعث خروج مواد داخل سلول و گسترش آسیب‌دیدگی نیز می‌شود که اکثراً ضمن از بین بردن خود میوه، میوه‌های اطراف را نیز تحت تأثیر اثرات منفی خود قرار می‌دهند (Wilson *et al.*, 1999). یک نمونه از این آسیب‌های مکانیکی سرمازدگی محصولات کشاورزی در حین برداشت یا پس از آن می‌باشد. یکی از محصولات کشاورزی که به تغییرات دمایی بسیار حساس است و ممکن است در طی آن آسیب ببیند میوه انبه می‌باشد (Xing & Baerdemaker, 2005). انبه با نام علمی (*Mangifera indica* L.) متعلق به خانواده آناکاردیاسه^۲ و یکی از مهم‌ترین میوه‌های گرمسیری دنیا می‌باشد (Bose *et al.*, 1990؛ hamili *et al.*, 2012). در حال حاضر کشت انبه در ۱۱۱ کشور از ۵ قاره دنیا در

ماشین بینایی که مبتنی بر پردازش تصویر است شاخه‌ای از هوش مصنوعی می‌باشد که در آن بینایی انسان شبیه‌سازی می‌شود. از این سامانه‌ها می‌توان برای کنترل کیفیت، جداسازی و درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده کرد (پوردربانی و همکاران، ۱۳۸۸). مواد کشاورزی برخلاف مواد مهندسی، بافت‌های زنده‌ای هستند که پس از برداشت از درخت یا بوته، همچنان به حیات خود ادامه می‌دهند؛ بنابراین فرایندهای پس از برداشت مانند حمل‌ونقل و بسته‌بندی باید به‌صورتی باشد که آسیب کمتری به آن‌ها وارد شود؛ بنابراین برای پایین آوردن هرچه بیشتر ضایعات نیاز به مدیریت صحیح پس از

۱ و ۳- استادیار و دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، فردوسی مشهد.
۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده، دانشگاه هرمزگان.
۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

* - نویسنده مسئول: (Email: m.golzarian@um.ac.ir)

نمونه‌ها و مساحت به‌دست‌آمده از نمای بالای به‌دست‌آمده از تصاویر نمونه‌ها بود.

پوردربانی و همکاران (۱۳۸۸) از سیستم بینایی ماشین برای درجه‌بندی سیب رقم *Granny Smith* بر اساس صدمات سطحی استفاده کردند. باژن و همکاران (۱۳۸۷) از روش پردازش تصویر برای تشخیص ضرب خوردگی و زنگ سیب رقم *Golden Delicious* استفاده کردند. در این درجه‌بندی سیب‌ها در شش کلاس سالم، دم، کاسبرگ، ضرب خوردگی، زنگ دمگاه و زنگ خارج از دمگاه تقسیم شدند. برای اصلاح نواحی طبقه‌بندی‌شده به کلاس ضرب خوردگی، از ویژگی‌های رنگ مایه^۱ و اشباعیت رنگ^۲ از فضای رنگی HSI استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دقت درجه‌بندی درست برای ۱۲۰ تصویر سیب، ۸۱/۶۶٪ است. Kang و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از سیستم ماشین بینایی به بررسی تغییرات رنگ در میوه انبه به هنگام رسیدگی پرداختند. در این پژوهش اثبات شد که مقادیر رنگ اندازه‌گیری شده برای کانال‌های *a* و *b* در سطوح انحنادار میوه انبه به ترتیب برابر با ۵۵٪ و ۶۹٪ هم‌پوشانی با مقادیر اندازه‌گیری شده برای سطوح بدون انحناء می‌باشند.

سراج‌الدین و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به طبقه‌بندی سیب بر اساس ویژگی‌های آماری و بافتی با استفاده از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^۳ پرداختند. برای طبقه‌بندی کیفی سیب ابتدا با استفاده از روش خوشه‌بندی کا- میانگین^۴ نواحی سالم و ناسالم (خرابی، کاسه گل و دمگاه) را از هم جدا کرده‌اند. سپس با استخراج ویژگی‌های آماری و بافتی نواحی ناسالم و استفاده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی انجام شده‌است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که ویژگی‌های بافتی نتایج بهتری نسبت به ویژگی‌های آماری موجود به دست می‌آورند به طوری که برای ویژگی‌های آماری به دقت طبقه‌بندی ۸۰٪ و برای ویژگی‌های بافتی دقت ۹۲٪ و در مجموع به دقت طبقه‌بندی ۸۶٪ رسیده‌اند.

Payne و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تخمین عملکرد محصول انبه با استفاده پردازش تصاویر دیجیتال پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که از این روش می‌توان به‌منظور تخمین عملکرد محصولات کشاورزی استفاده کرد. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از وجود همبستگی خطی بین شمارش دستی و نتایج حاصل از آنالیز تصاویر بود ($R^2 = 0.91$). Haff و همکاران (۲۰۱۳) به تشخیص آلودگی ناشی از وجود حشرات بر روی میوه انبه با استفاده از روش پردازش تصاویر ابر طیفی^۵ پرداختند. الگوریتم مورد استفاده شامل

مناطق گرمسیری تا مناطق نیمه گرمسیری در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی پراکنده می‌باشد (Victor, 1993). با تولید جهانی نزدیک به ۴۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۰، این محصول به یکی از پنج محصول مهم جهانی (بعد از موز، پرتقال، انگور و سیب) تبدیل شده است (FAO, 2012). در ایران کشت انبه با حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ سال قدمت در مناطقی از بلوچستان و هرمزگان متداول است. سطح زیر کشت انبه در سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ در کشور ۱۶۴۰ هکتار، درختان بارور با تولید ۱۲۹۲۸ تن و متوسط عملکرد ۷۸۸۲/۹۳ کیلوگرم در هکتار و ۶۱۸ هکتار نهال باغ‌های تازه احداث بوده است (آمارنامه کشاورزی، ۸۰-۱۳۷۹). سطح زیر کشت انبه در استان هرمزگان ۲۵۶۲ هکتار و عملکرد آن در هکتار ۱۱ تن می‌باشد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۰). سهم استان سیستان و بلوچستان ۳۴۴ هکتار درختان بارور با متوسط ۱۲۳۶۰ کیلوگرم در هکتار است که در شهرستان‌های چابهار، نیک شهر و ایرانشهر کشت شده‌اند (آمارنامه کشاورزی، ۸۰-۱۳۷۹). برداشت در مرحله رسیده (کاملاً زرد) به علت نرمی بافت میوه، سبب آسیب‌پذیر بودن میوه به صدمات فیزیکی در هنگام نگهداری و حمل‌ونقل و همچنین کاهش فرصت عرضه محصول به بازار، بخصوص بازارهای دوردست می‌شود (Prasanna et al., 2007). یکی از فاکتورهای تأثیرگذار به هنگام خرید محصولات کشاورزی از نظر مصرف‌کننده شکل ظاهری میوه می‌باشد. عوامل مختلفی ممکن است بر روی شکل ظاهری میوه‌ها تأثیرگذار باشد که در هر صورت سبب افت کیفیت و قیمت آن می‌شود؛ بنابراین درجه‌بندی میوه‌ها قبل از فروش از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

در این بین، استفاده از روش‌های پردازش تصویر برای اندازه‌گیری‌های ابعادی، درجه‌بندی و ارزیابی کیفی محصولات جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. Omid و همکاران (۲۰۱۰) به تعیین حجم و جرم مرکبات از جمله لیموترش، پرتقال و نارنگی با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر پرداختند. برای به دست آوردن حجم نمونه از تبدیل تصویر به المان‌های مخروطی ناقص و جمع حجم المان‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از این روش در مقایسه با روش جایجایی آب رضایت‌بخش بود به طوری که ضریب همبستگی برای لیموترش، لیموشیرین، پرتقال و نارنگی به ترتیب برابر با ۰/۹۶، ۰/۹۷، ۰/۹۸ و ۰/۹۵ به دست آمد.

Mata و همکاران (۲۰۱۲) از روش پردازش تصاویر دیجیتال به تخمین جرم انبه پرداختند. هدف از انجام این کار ارائه روشی بر مبنای جرم انبه جهت درجه‌بندی آن بوده است. برای این منظور تعداد صد عدد انبه تهیه و مورد استفاده قرار گرفت؛ و به دو گروه ۵۰ تایی تقسیم شدند. پس از وزن کردن نمونه‌ها از نمای بالای آن‌ها تصویربرداری شد و پس از تعیین مساحت نمونه‌ها از روی تصاویر، یک رابطه بین جرم و مساحت سطح آن‌ها به دست آمد. نتیجه ارزیابی این مدل روی ۵۰ نمونه دوم مستقل حاکی از ضریب همبستگی بالا بین جرم

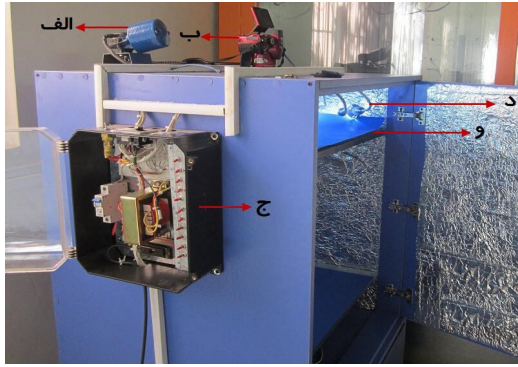
1 Hue

2 Saturation

3 Support Vector Machine

4 k-means

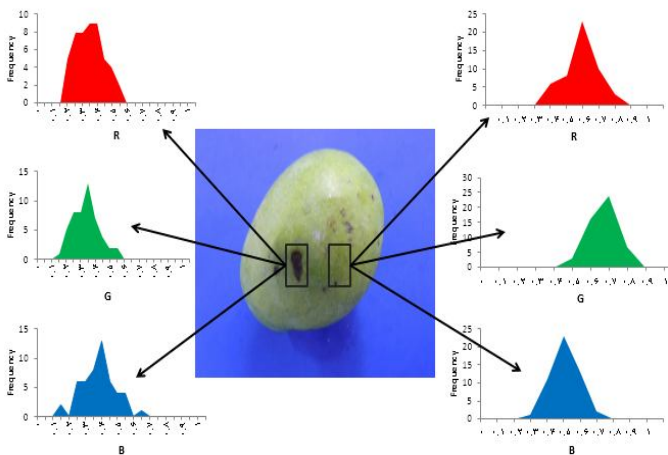
5 Hyperspectral



شکل ۱- اتاقک عکس برداری. الف) موتور، جهت تغییر ارتفاع صفحه‌ی پس‌زمینه. ب) دوربین که بر روی پایه‌ی اتاقک نصب شده است. ج) تابلوی کنترل روشنایی و لامپ‌های LED و راه‌اندازی موتور بالا برنده. د) لامپ LED به همراه پایه؛ و) صفحه‌ی پس‌زمینه

استخراج ویژگی

پس از تصویربرداری از نمونه‌ها تصاویر موردنظر در نرم‌افزار Matlab نسخه R2011a (Mathworks Inc, US) مورد پردازش قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود به‌منظور نمونه‌برداری از میوه انبه پس از فراخوانی تصاویر در نرم‌افزار، از هر انبه بافت آسیب‌دیده و قسمت‌هایی از بافت سالم آن انتخاب و پس از آن ویژگی‌های رنگی از نواحی موردنظر در دو محیط رنگی RGB و L^*a^*b استخراج شدند.



شکل ۲- استخراج ویژگی‌های رنگی دو بافت سالم و آسیب‌دیده انبه تبدیل مدل رنگی RGB به L^*a^*b

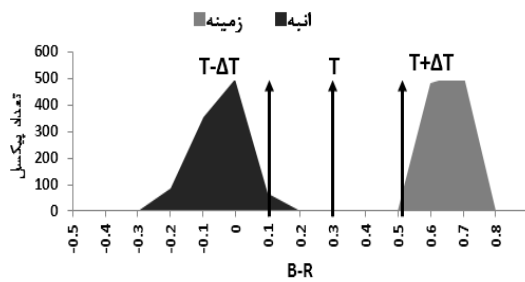
در این تحقیق از دو محیط رنگی RGB و L^*a^*b استفاده شد. مدل رنگ RGB که مدل رنگی پایه نامیده می‌شود، بر اساس این مدل هر رنگ از ترکیب مقادیری از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی تشکیل شده است. در فضای رنگی RGB مشکلی که وجود دارد این است که برای مشاهده‌گرهای مختلف نظیر انسان‌ها، سنسورها و...

حذف پیش‌زمینه، اعمال فیلتر گوسی، آستانه‌یابی و آنالیز نهایی به‌منظور تشخیص آلودگی بود. برداشت میوه انبه به علت ارتفاع زیاد درخت با مشکلاتی همراه است که سبب بروز مشکلاتی چون ایجاد صدمات سطحی بر روی آن می‌گردد؛ بنابراین این عامل سبب کاهش کیفیت میوه برای فروش داخلی و یا رقابت در بازارهای جهانی می‌گردد. آسیب‌های مکانیکی سبب بروز لکه‌های سیاه‌رنگی در سطح میوه انبه می‌گردد که علاوه بر کاهش کیفیت ظاهری ممکن است سبب تخریب بافت درونی و در درازمدت سبب تخریب کامل میوه گردد. امروزه هنوز تشخیص خرابی و درجه‌بندی محصولات در بسیاری از موارد به کمک نیروی انسانی متخصص انجام می‌شود که مستلزم وقت و هزینه زیادی است؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و تحقیقات انجام‌شده بر روی میوه انبه، شناسایی آسیب‌های سطحی و درجه‌بندی آن بر اساس معیار لکه‌های ناشی از آسیب‌های مکانیکی مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ که هدف از این تحقیق تشخیص و شناسایی آسیب‌های سطحی میوه انبه رقم کلک سرخ با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر دیجیتال می‌باشد. علت استفاده از روش ماشین بیانی در این پژوهش نیز، دقت و سرعت عمل بیشتر این تکنیک در مقایسه با روش‌های عمدتاً دستی است.

مواد و روش‌ها

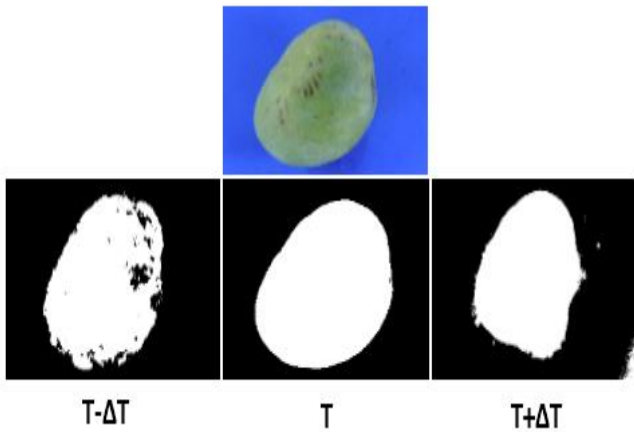
تهیه، آماده‌سازی و تصویربرداری

برای این منظور تعداد ۸۰ عدد انبه کلک سرخ در خردادماه ۱۳۹۳ از باغات میناب واقع در استان هرمزگان تهیه شد و به آزمایشگاه پردازش تصویر (دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۲٪) گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شدند. با بازرسی چشمی تعداد ۶۰ نمونه انبه که بر روی آن‌ها لکه‌های سیاه‌رنگ ناشی از آسیب‌های مکانیکی در حین برداشت و جابجایی به وجود آمده بود، تشخیص داده شد و مورد تصویربرداری قرار گرفتند. جهت تصویربرداری از اتاقک تصویربرداری شکل ۱ استفاده شد (گلزاریان و همکاران، ۱۳۹۲). تصاویر در طیف مرئی توسط یک دوربین Nikon Coolpix P510 Nikon Inc, Japan با قدرت تفکیک ۱۶/۱ مگا پیکسل تهیه شد. به‌منظور قرارگیری کامل نمونه‌ها در حوزه دید دوربین، با توجه به فاصله کانونی لنز در دوربین فاصله بین دوربین و نمونه‌ها ۲۰ cm در نظر گرفته شد. نورپردازی مناسب به هنگام تصویربرداری سبب سهولت در آنالیز تصاویر می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود نورپردازی به نحوی است که از تشکیل سایه و نقاط متمرکز نوری در تصویر جلوگیری شود. همچنین از یک پس‌زمینه به رنگ آبی برای تصویربرداری استفاده شد.



شکل ۳- هیستوگرام تعیین حد آستانه مناسب به منظور جدا کردن انبه از زمینه

طبیعی است که عدم انتخاب صحیح آستانه می‌تواند سبب جدا نکردن کامل میوه از پس‌زمینه یا تشخیص قسمت‌هایی از پس‌زمینه نیز به‌عنوان میوه شود که در هر دو حالت این خطاها در عدم صحت مقادیر فاکتورهای رنگی و شکلی جداشده از شکل تأثیرگذار است (شکل ۴).



شکل ۴- نمایش انتخاب صحیح حد آستانه به منظور جداسازی تصویر از زمینه

قطعه‌بندی تصویر

در این مرحله لازم است که نواحی مختلف بر روی انبه از لحاظ ویژگی‌های بافتی دسته‌بندی شوند. این نواحی شامل نواحی سالم و نواحی آسیب‌دیده می‌باشند. برای این منظور از مقایسه آماری بین مؤلفه‌های رنگی استفاده کرده و با استفاده از ترسیم هیستوگرام برای هر ویژگی بهترین کانال‌های رنگی برای این منظور به دست آمد (شکل ۵). نتایج نشان داد که ویژگی‌های رنگی G و $0.16G/0.5R$ در محیط رنگی RGB و ویژگی رنگی a^* و $0.16L^*-a^*$ در محیط $L^*a^*b^*$ از سایر ویژگی‌های رنگی به‌منظور تشخیص مناسب‌تر می‌باشند

به منظور تشخیص بافت آسیب‌دیده از سالم با استفاده از کانال رنگی G مقدار حد آستانه با استفاده از نمودارهای هیستوگرام (شکل

تعریف واحدی برای اطلاعات رنگی موجود نمی‌باشد. به عبارتی در فضای RGB مشخصات رنگی نیمه شهودی و وابسته به وسایل اندازه‌گیری می‌باشد. در فضای رنگی XYZ اجزای رنگ‌های پایه رنگ‌های واقعی نیستند. میزان درخشندگی رنگ در این فضا بر خلاف فضای RGB فقط به پارامتر (Y) وابسته است و بقیه پارامترها، ویژگی‌های رنگی را پوشش می‌دهند. برای تبدیل مدل RGB به مدل رنگی $L^*a^*b^*$ یکی از روش‌ها تبدیل مستقیم مقادیر RGB به $L^*a^*b^*$ می‌باشد (Leon et al., 2006). در این روش، ابتدا فضای رنگی RGB به فضای رنگی پایه XYZ تبدیل و با استفاده از رابطه ۱ مقدار L^* که بیانگر میزان درخشندگی در تصویر می‌باشد به دست می‌آید. در رابطه ۲ مقدار a^* قابل محاسبه می‌باشد که این مقدار بیانگر میزان تغییر رنگ از سبز به قرمز و در رابطه ۳ مقدار b^* به دست می‌آید که بیانگر میزان رنگ از آبی به زرد است.

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/8} - 16 & \text{if } \frac{Y}{Y_n} > 0,008856 \\ 903,3 \left(\frac{Y}{Y_n}\right) & \text{if } \frac{Y}{Y_n} \leq 0,00856 \end{cases} \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} \right] \quad (2)$$

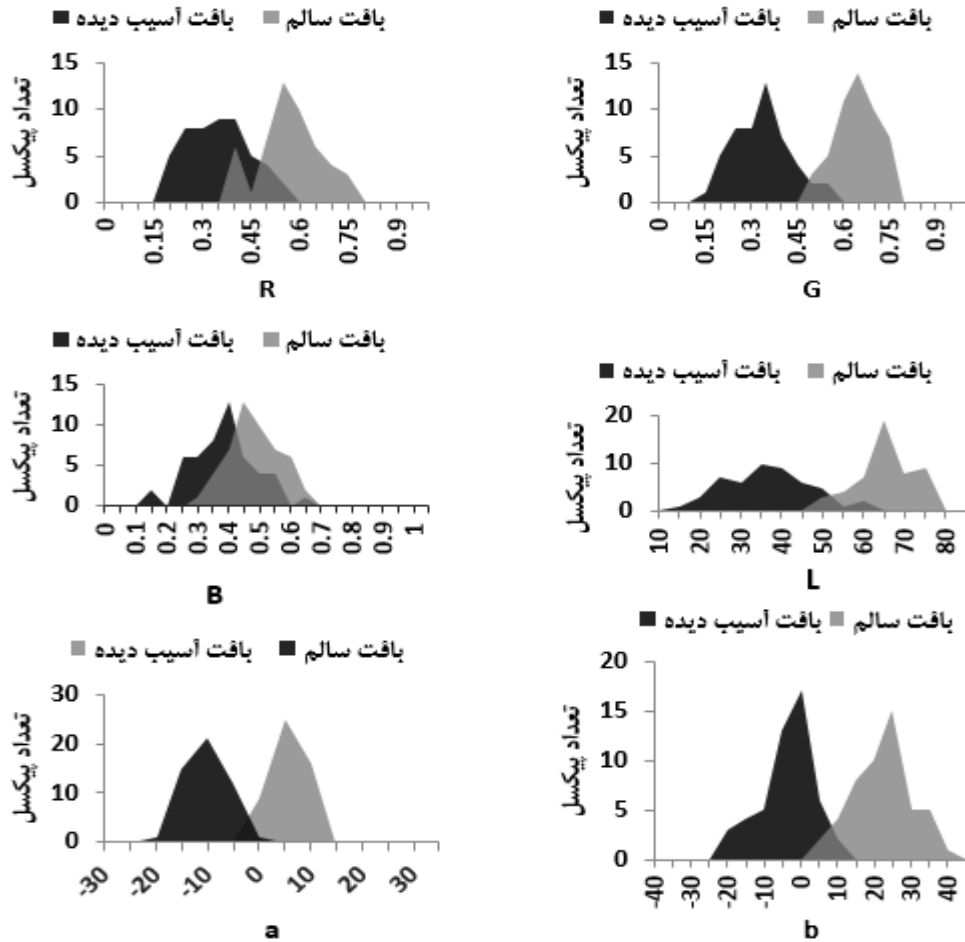
$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/8} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{1/8} \right] \quad (3)$$

جداسازی انبه از پس‌زمینه و نمایش باینری تصویر

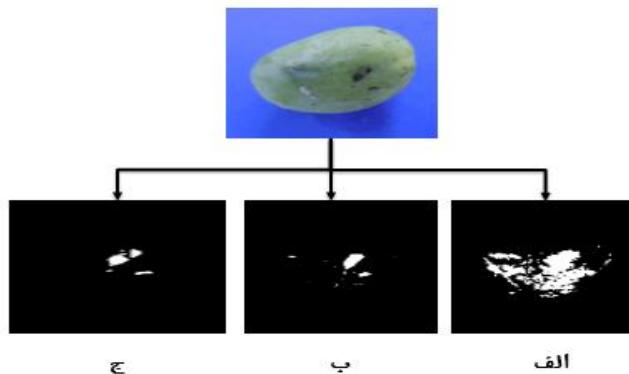
یکی از مهم‌ترین مراحل اصلی و اولیه در پردازش تصویر و استخراج اطلاعات از تصاویر به‌منظور خودکار کردن یک فرآیند جداسازی شی موردنظر از پس‌زمینه است که در حوزه پردازش تصویر به نام قطعه‌بندی یا بخش‌بندی نیز شناخته می‌شود. دقت و عملکرد الگوریتم بخش‌بندی در کیفیت ویژگی‌هایی که از تصاویر استخراج می‌شود و در مراحل بعدی پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرند تأثیرگذار است. یکی از روش‌های معمول به‌منظور بخش‌بندی و جداسازی تصویر از زمینه آن، استفاده از آستانه‌گیری با استفاده از هیستوگرام تصویر می‌باشد. با استفاده از هیستوگرام تصویر، می‌توان بهترین حد آستانه را برای جداسازی بدست آورد. جهت جدا کردن تصویر انبه از پس‌زمینه به دلیل رنگ آبی پس‌زمینه از تفاضل دو کانال رنگی قرمز (R) و آبی (B) استفاده شد. مقدار حد آستانه بهینه به‌منظور جداسازی انبه از پس‌زمینه برابر با $0/3$ در نظر گرفته شد (شکل ۳).

ناصحیح در تصویر موردنظر گردد. در شکل ۷ مراحل تشخیص بافت آسیب‌دیده با استفاده از کانال رنگ سبز نمایش داده شده است. پس از نمایش باینری تصویر ناحیه موردنظر با استفاده از حد آستانه به دست آمده جدا شد.

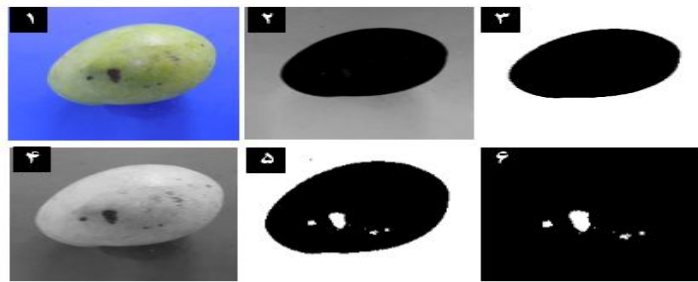
(۵) برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شد. طبیعی است با کاهش این مقدار به ۰/۳ یا افزایش آن به ۰/۵ ممکن است میزان خطای تشخیص دچار تغییر شود. در شکل ۶ نحوه تشخیص بافت آسیب‌دیده با مقادیر کمتر و بیشتر از حد آستانه نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات جزئی در انتخاب آستانه می‌تواند سبب تشخیص



شکل ۵- هیستوگرام حاصل از کانال‌های رنگی بین دو بافت سالم و آسیب‌دیده

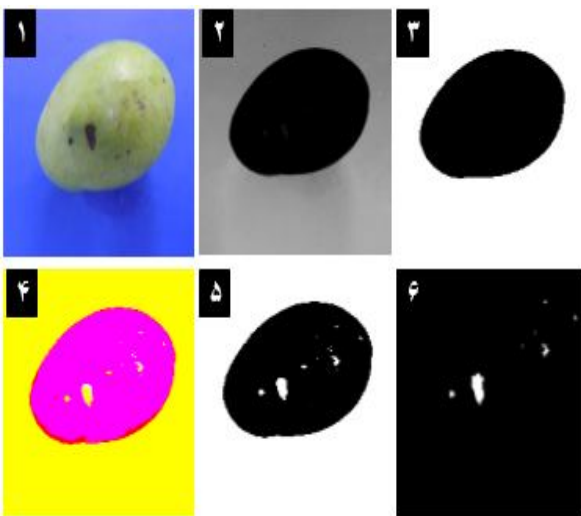


شکل ۶- تشخیص بافت آسیب‌دیده با مقادیر کمتر و بیشتر از حد آستانه با استفاده از کانال رنگی G. (الف)، حد آستانه ۰/۵ (ب)، حد آستانه ۰/۴، (ج)، حد آستانه ۰/۳

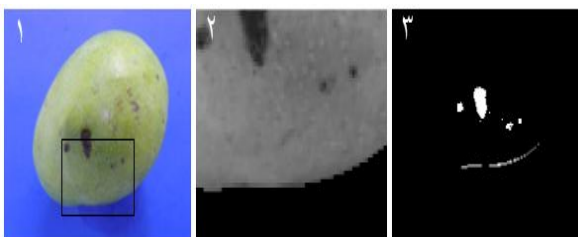


شکل ۷- تصویر اولیه. (۲) تصویر حاصل از تفاضل دو کانال آبی و قرمز. (۳) تصویر باینری شده. (۴) نمایش کانال سبز تصویر. (۵) جداسازی بافت آسیب‌دیده با استفاده از حد آستانه 0.4 / (۶) جداسازی ناحیه آسیب‌دیده

استفاده شد. در شکل ۱۰ نمونه‌ای از این تصاویر مشاهده می‌شود.



شکل ۸- تصویر اولیه (۲) تصویر حاصل از تفاضل دو کانال آبی و قرمز. (۳) تصویر باینری شده. (۴) تصویر تبدیل‌شده از محیط RGB به محیط L^*a^*b . (۵) نمایش کانال a تصویر. (۶) جداسازی بافت آسیب‌دیده با استفاده از حد آستانه

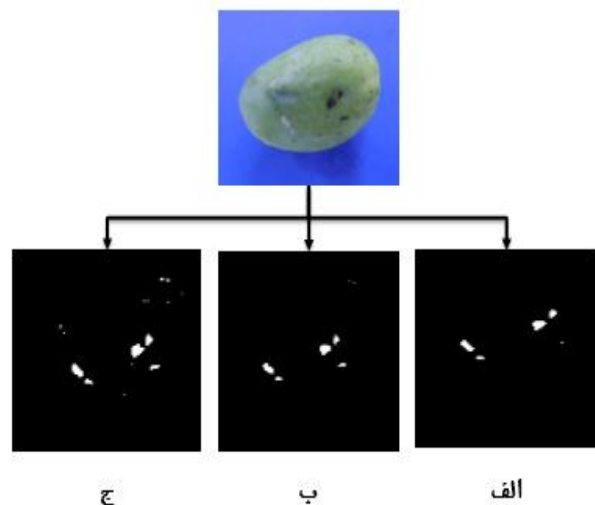


شکل ۹- نمایش لبه‌های تصویر در تصویر خروجی. (۱) تصویر اصلی. (۲) کانال سبز تصویر. (۳) جدا شدن ناحیه آسیب‌دیده به همراه قسمتی از لبه تصویر

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل خوشه‌بندی به روش کا- میانگین از نرم‌افزار SPSS 16 و برای درجه‌بندی داده‌ها و رسم

حساسیت تعیین آستانه مناسب با استفاده از کانال رنگی a^* در شکل ۸ نمایش داده شده است. با تغییر در این مقدار نیز نحوه نمایش بافت آسیب‌دیده دچار تغییر می‌شود. در شکل ۸ در قسمت‌های (الف) و (ج) به ترتیب تصاویر خروجی حاصل از مقادیر بیشتر و کمتر از حد آستانه نمایش داده شده است. به دلیل وجود بازتابش نور متفاوت در لبه‌های تصویر و یکنواخت نبودن نورپردازی لبه‌های تصویر ایجاد غیریکنواختی در رنگ می‌کنند. به هنگام باینری نمودن تصویر ممکن است لبه‌های آن به خوبی جدا نشوند و یا پیکسل‌هایی در لبه‌ها وجود داشته باشد که مقادیر آن‌ها با مقادیر رنگی ناحیه موردنظر یکسان باشد که نتیجه آن لبه سفیدرنگی در تصویر نهایی می‌باشد.



شکل ۱۰- تشخیص بافت آسیب‌دیده با مقادیر کمتر و بیشتر از حد آستانه با استفاده از کانال رنگی a^* . (الف)، حد آستانه 0.4 ، (ب)، حد آستانه 0.2 ، (ج)، حد آستانه 0.5 .

این موارد سبب خطا در تشخیص می‌شوند به‌عنوان مثال اگر مساحت ناحیه آسیب‌دیده موردنظر باشد در تعیین مقدار واقعی مساحت با خطا همراه است. برای غلبه بر این مشکل از روش‌های مورفولوژیکی سایش و افزایش با امان ساختاری خطی برای حذف نواحی که به دلیل عدم یکنواختی نورپردازی احتمال ایجاد آن می‌رود

از ۱۵ درصد باشد و در گروه سوم نمونه‌هایی قرار می‌گیرند که مساحت ناحیه آسیب‌دیده در آن‌ها بیشتر از ۲۵ درصد باشد. با توجه به این استاندارد می‌توان میوه‌های انبه با مساحت آسیب‌دیدگی کمتر از ۵ درصد را درجه ۱، بین ۵ تا ۱۵ درصد را درجه ۲ و بین ۱۵ تا ۲۵ درصد را درجه سه نام‌گذاری کرد.

در این تحقیق با استفاده از روش خوشه‌بندی k میانگین به خوشه‌بندی درصد مساحت‌های حاصل از الگوریتم تشخیص ناحیه آسیب‌دیده بر مبنای رابطه $0.16L^* - a^*$ پرداخته شده است. در جدول ۲ نتایج حاصل از خوشه‌بندی درصد مساحت ناحیه آسیب‌دیده در دو خوشه بیان شده است.

جدول ۱- بیان دقت تشخیص ناحیه آسیب‌دیده با استفاده از

الگوریتم‌های مختلف

ویژگی‌های رنگی	تعداد نمونه	تشخیص	عدم تشخیص	دقت الگوریتم
a	۶۰	۵۶	۴	۹۳/۳۳٪
G	۶۰	۵۴	۶	۹۰٪
0.16G/0.5R	۶۰	۵۵	۵	۹۱/۶۶٪
0.16L*-a*	۶۰	۶۰	۰	۱۰۰٪

جدول ۲- نتایج حاصل از خوشه‌بندی درصد مساحت آسیب‌دیدگی

انحراف استاندارد	انحراف معیار	میانگین	تعداد اعضا	شماره خوشه
۰/۲۷	۱/۰۵	۴/۶۶	۱۵	۱ (درجه ۲)
۰/۱۰	۰/۷۱	۱/۱۹	۴۵	۲ (درجه ۱)

به منظور مقایسه نتایج حاصل از خوشه‌بندی با استاندارد آمریکایی (USDA) از ماتریس درهم ریختگی به صورت جدول ۳ استفاده شد. در سطرهای این جدول دسته‌بندی بر اساس استاندارد آمریکایی و در ستون‌های این جدول دسته‌بندی بر اساس خوشه‌بندی داده‌ها به روش k میانگین بیان شده است. از نمونه‌های موجود ۴۵ نمونه هم در درجه ۱ استاندارد آمریکا و هم درجه ۱ خوشه‌بندی قرار می‌گیرند ولی ۱۰ نمونه در حالی که در درجه ۱ استاندارد آمریکا قرار می‌گیرند در درجه ۲ خوشه‌بندی، دسته‌بندی می‌شوند. ۵ نمونه باقی‌مانده هم در درجه ۲ استاندارد آمریکا و هم در درجه ۲ خوشه‌بندی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه در خوشه‌بندی انجام‌شده نمونه‌ها در دو خوشه در بهترین حالت قرار گرفتند لازم است یک نقطه به منظور مرز بین این دو درجه مشخص شود. این نقطه، نقطه برش نامیده می‌شود. برای این منظور از منحنی راک^۱ استفاده شد (شکل ۵). در این روش همه مشاهدات به صورت یکی یکی جهت دسته‌بندی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و نتایج آن با دسته‌بندی موجود در استاندارد اصلی مقایسه

منحنی راک و انتخاب بهترین نقطه برش^۱ از نرم‌افزار آنالیز آماری (Stata Corp) STATA استفاده شده است. منحنی راک نموداری است که از تقسیم نسبت حساسیت (میزان مثبت واقعی) بر میزان مثبت کاذب بدست می‌آید. در این حالت هرچه منحنی به گوشه چپ نمودار بیشتر باشد، صحت آن بیشتر است. در مورد آنالیزهای بکار رفته جلوتر توضیح داده خواهد شد.

نتایج و بحث

پس از بررسی ویژگی‌های رنگی و ترکیب آن‌ها با یکدیگر بهترین حالات به منظور تشخیص آسیب‌های سطحی میوه انبه انتخاب شدند که در جدول (۱) دقت هر کدام از این ویژگی‌ها به تفکیک بیان شده است. با استفاده از کانال رنگی a^* از میان ۶۰ نمونه مورد آزمایش تنها ۵۶ نمونه آسیب‌دیدگی تشخیص داده شد که دقت الگوریتم مورد استفاده در این حالت برابر با ۹۳/۳۳٪ است. با استفاده از کانال رنگی G از ۶۰ نمونه مورد آزمایش ۵۴ مورد تشخیص داده شد و دقت الگوریتم به دست‌آمده در این حالت برابر با ۹۰٪ بدست آمد. با استفاده از ترکیب کانال‌های رنگی سبز و قرمز به صورت 0.16G/0.5R از ۶۰ نمونه مورد آزمایش در ۵۵ نمونه آسیب‌دیدگی سطحی تشخیص داده شد و دقت الگوریتم مورد استفاده برابر با ۹۱/۶۶٪ به دست آمد. در ترکیب دو کانال L^* و a^* به صورت رابطه $0.16L^* - a^*$ در ۶۰ نمونه مورد آزمایش آسیب‌دیدگی سطحی تشخیص داده شد و دقت الگوریتم مورد استفاده در این حالت برابر با ۱۰۰ درصد به دست آمد که نسبت به ویژگی‌های دیگر بیشتر است. در محیط رنگی $L^*a^*b^*$ تأثیر نور و بازتابش از محیط اطراف نمونه سبب تغییر در مقادیر رنگی نمی‌گردد؛ بنابراین یکی از دلایل خطای به وجود آمده در محیط رنگی RGB می‌تواند ناشی از تابش غیریکنواخت نور و ایجاد نقاط متمرکز نوری یا نقاط تاریک بر روی نمونه باشد.

یکی از استانداردهای موجود برای درجه‌بندی میوه انبه با استفاده از خرابی‌های سطحی استفاده از درصد مساحت خرابی که از نسبت مساحت خرابی به مساحت کل میوه انبه بدست می‌آید محاسبه می‌شود. در استانداردهای آمریکایی (USDA, 2006) میوه انبه بر اساس درصد خرابی‌های سطحی در سه گروه آسیب‌دیدگی جزئی^۲، آسیب‌دیدگی متوسط^۳ و آسیب‌دیدگی با شدت زیاد^۴ تقسیم‌بندی شده‌اند. در گروه اول نمونه‌هایی قرار می‌گیرند که مساحت ناحیه آسیب‌دیدگی در آن‌ها بیشتر از ۵ درصد باشد. در گروه آسیب‌دیدگی متوسط نمونه‌هایی قرار می‌گیرند که مساحت ناحیه آسیب‌دیده بیشتر

- 1 Cut Point
- 2 Injury
- 3 Damage
- 4 Serious damage

بیشتر باشد، منحنی بالای قطر مربع به حالت ایده آل (مساحت یک) نزدیک‌تر خواهد بود. با توجه به نتایج حاصل در جدول ۴، در این آزمایش از تعداد ۶۰ مشاهده مقدار مساحت در منحنی راک برابر با ۱، خطای استاندارد برابر با صفر و نقطه برش نیز برابر با ۳/۱۱ به دست آمد.

می‌شوند؛ و دو مقیاس حساسیت و قدرت تشخیص گزارش داده می‌شود؛ بنابراین نقطه‌ای که در آن هم حساسیت و هم قدرت تشخیص برابر با یک باشد به‌عنوان مرز بین دو گروه معرفی می‌شود. در این نمودار محور عمودی بیانگر حساسیت و محور افقی بیانگر قدرت تشخیص می‌باشد. هرچه قدرت تشخیص و حساسیت این تست

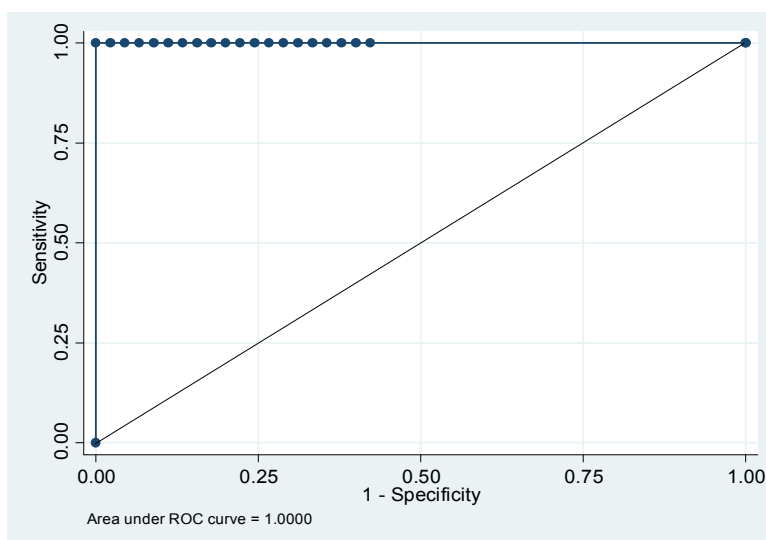
جدول ۳- ماتریس درهم ریختگی کلاس‌بندی بر اساس استاندارد آمریکا

نتیجه کلاسه‌بندی الگوریتم			
کل	درجه ۲	درجه ۱	
۵۵	۱۰	۴۵	درجه ۱
۵	۵	۰	درجه ۲
۶۰	۱۵	۴۵	کل

استاندارد آمریکا

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون راک

تعداد مشاهدات	مساحت منحنی	خطای استاندارد	نقطه برش
۶۰	۱	۰	۳/۱۱



شکل ۱۱- منحنی راک

به‌منظور درجه‌بندی با استفاده از منحنی راک نقطه برش ۳/۱۱ بدست آمد. با توجه به استعداد استان هرمزگان از نظر شرایط آب و هوایی، امکان توسعه سطح زیر کشت انبه به‌منظور مصرف تازه‌خوری، صادرات و نیز ایجاد صنایع غذایی وابسته وجود دارد. از این‌رو جهت افزایش تولید و توسعه سطح زیر کشت این محصول، توجه به درجه‌بندی آن با توجه به شاخص‌های حاصل از تحقیق جهت عرضه محصول مرغوب و باکیفیت بالا به بازارهای داخلی و جهانی توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

دقت روش پردازش تصویر تحت هیچ شرایطی از روش‌های معمول شناسایی صدمات سطحی کمتر نیست؛ بنابراین در این تحقیق درجه‌بندی میوه انبه بر اساس خرابی‌های سطحی ناشی از صدمات مکانیکی صورت گرفت. برای تشخیص این آسیب‌ها از چهار ویژگی رنگی a ، G ، $0.16G/0.5R$ و $0.16L^* - a^*$ استفاده شد که دقت الگوریتم‌ها به ترتیب برابر ۹۳/۳۳، ۹۰، ۹۱/۶۶ و ۱۰۰ درصد بدست آمد. پس از تعیین مساحت، آسیب‌های سطحی فاکتور مساحت آسیب‌دیدگی محاسبه شد و با استاندارد USDA مقایسه گردید و

قدردانی

بخشی از منابع این پروژه را تأمین نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایند.

بدین‌وسیله نگارندگان از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشکده - های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه هرمزگان که

منابع

- Agricultural statistics for the years 2010-2012 (Persian Calendar: 1379-1380). Department of Budget and Planning, Statistics and Information Office, Ministry of Agriculture Jihad. Tehran (in Persian).
- Barchi, G.L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. & Totaro Fila, C., 2002, Damage to loquasts by vibration-simulating intra-state transport. *Biosyst Eng*, 82, 305-312.
- Bazhan, M., & Kabir, E. (2007). Detection of Surface Defects on Apples for Quality Grading. *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6, 25-34. (in Persian).
- Bose, T.K. & Mitra. S.K., 1990. Fruits: Tropical and subtropical. Naya Prokash Pub., Calcutta, India.
- FAO, 2012, FAO Statistics database, accessed on 22nd december (2014), from <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Accessed August 2012.
- Golzarian, M. R. , Sadeghi F., Ghanei-Ghooshkhaneh N. , Kazemi F. , 2016, A qualitative and quantitative approach to assessing the performance of contrast enhancing colour indices used in automatic computer vision plant identification system. The 8th National Congress on Agricultural Machinery (Biosystems) Engineering and Mechanization, Mashhad, Iran. (in Persian).
- Haff, R.P., Saranwong, S., Thanapase, W., Janhira, A., Kasemsumran, S. & Kawano. S., 2013. Automatic image analysis and spot classification for detection of fruit fly infestation in hyperspectral images of mangoes. *Postharvest Biol Tec*, 86, 23-28.
- Heidari, M. , Dastjerdi, A. , & Moradi, N. (2011). Effects of Potassium Permanganate and Storage Time on Quality of Mango Fruits (*Mangifera indica L.*). *Journal of Horticulture Science*, 25(2): 130-136. (in Persian).
- Kang, S.P., East, A.R. & Trujillo, F.J., 2008. Colour vision system evaluation of bicolour fruit A case study with 'B74' mango. *Postharvest Biol Tec*, 49, 77-85.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi F. & Leon, J., 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Res Int*, 39, 1084-1091.
- Mata, C., Duarte, M.E.M., Borges, F.F. & Barbacena, I.L., 2012, An adaptive threshold level for segmentation of grayscale images using image processing to sort mangoes by weight estimation. *Postharvest Technology in the Global Market*.
- Omid, M., Khojastehnazhand, M. & Tabatabaefar, A., 2010, Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *J Food Eng*, 100, 315-321.
- Payne, A.B., Walsh, K.B., Subedi, P.P. & Jarvis, D., 2013, Estimation of mango crop yield using image analysis - Segmentation method. *Comput Electron Agric*, 91, 57-64.
- Pordarbani, R., Gasemzadeh, H., Golzadeh, A., & Behfar, a. H. (2009). Feasibility Study of Apple Quality Grading Using Image Processing. *Journal of Food Research*, 19, 75-85. (in Persian).
- Prasanna, V., Prabha, T.N. & Tharanthan, R.N., 2007. Fruit ripening phenomena—an overview, *Crc Cr Rev Food Sci*. 47, 1-19.
- Shamili, M., Fatahi, R. & Hormaza, J.I., 2012, Characterization and evaluation of genetic diversity of Iranian mango (*Mangifera indica L*, Anacardiaceae) genotypes using microsatellites. *Sci. Horticult*, 148, 230-234.
- Srajaldin, A., Moalem, P., & Pourghasem, H. (2012). Apple Classification using statistical characteristics and tissue using SVM classifier. First National Conference on New Ideas in Electrical Engineering. Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Esfahan, Iran (in Persian).
- USDA. 2006. Mangos. Shipping Point and Market. Inspection Instructions, accessed on 2/12/2014 from <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/>
- Victor, S., 1993. The situation of mango culture in the word. *Acta Hort*, 341, 31-41.
- Wilson, L.G., Boyette, M.D. & Estes, E.A., 1999, Postharvest Handling and Cooling of Fresh Fruits, Vegetables, and Flowers for Small Farms. *NCCES*. 804.
- Xing, J. & Baerdemaker, J.D., 2005, Fresh bruise detection on selected cultivars apples using visible and NIR spectroscopy. *Postharvest Biol Tec*, 45, 176-183.



Detection of surface defects caused by mechanical damages on Mangos of Kelk-e Sorkh variety with the use of color image processing

M. R. Golzarian^{1*}, M. Shamili², O. Doosti Irani³, P. Azarkish⁴

Received: 2015.11.25

Accepted: 2016.03.13

Introduction: Machine vision, which uses image processing techniques, is a branch of artificial intelligence that simulates human vision. These systems can be used for quality control, sorting and grading of agricultural products. Unlike engineering materials, agricultural fruits are living tissues that continue living even after they are harvested from trees or bushes. Therefore, the post-harvest process such as handling and packaging need to be done such that they make the least damage to these products (Barchi et al., 2002). Combination of suitable techniques and post-harvest management is required to bring down the waste loss in this supply chain. Fruits are susceptible to receive mechanical damages during harvesting (either manually or mechanized), or in transport or at the time of initial packaging. These damages may cause damage to the internal tissue of the fruit that subsequently causes the internal substances of the damaged cell leave spread out. While eradicating the fruit, the surrounding fruits are also affected negatively. Mangos are sensitive to mechanical and thermal sudden change (Xing & Baerdemaker, 2005). Today, surface defect detection and grading of many fruits including mangos are still performed in many cases with the help of trained workers which is time consuming and cost effective. Image processing has been successfully used for measurement and calibration of products; it shows also a good potential to be used for assessing the quality of products (Mata et al, 2012). There has been no or very little research on the quality assessment of mangos based on the dark spots on the skin surface of mango fruits. The aim of this study was to detect and identify surface damage in mangoes of Kelk-e Sorkh cultivar using digital image processing as it has higher accuracy and processing speed as opposed to manual detection.

Materials and methods: Mango fruits were picked from a garden in Minab in Hormozgan province, in Iran. Sixty samples were selected for imaging. These samples had black spots on the skin surface due to mechanical damages received during harvesting and handling. The imaging was performed in a homogeneously controlled lighting condition (in an imaging box) against a blue sheet as background and at 24°C and 22% RH. The images were taken in visible range with a Nikon Coolpix P510 digital camera (Nikon Inc, Japan) of 4928 x 3264 dimensions (16.1 MP resolution). Considering the camera lens's focal length, the samples were placed 20 cm under the camera's lens to be in camera's field of view. The taken images were read and analyzed in Matlab (Ver 2011a, Mathworks Inc, US). The quality of segmentation process, which is an important step in image processing project, affects the quality of information extracted from the objects or regions of interest (ROIs) in the next steps. The images of mangos were segmented from the background using thresholding of the high contrast images of red and blue difference. The optimum threshold value was obtained to be 0.3. Then, the affected and healthy regions of mangos were specified manually in each image. Then, the color features in two L*a*b* and RGB and HSI color models were extracted from each region on the sample surface.

Results and discussion: The statistical analysis of these features showed that the accuracies for detecting the surface defects on mangos were 90% and 91.6% using the color factor of G and $0.16 \cdot G / 0.5R$ in RGB color space, respectively. However, from the a* data, only 56 samples were correctly classified as damaged. This showed the classification accuracy of 93.33% using this color parameter. The accuracy reached to 100% when the two color parameters of a* and L* was used as an integrated color parameter of $0.16 \cdot L - a^*$. In L*a*b* color space, the influence of ambient light on the color of samples is trivial and much less than that on RGB. This can be the reason for higher classification error when R, G and B color components, which might be due to non-

1 And 3- Assistant professor and PhD student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Assistant professor, Department of Horticultural Sciences, Hormozgan University, Iran.

4- PhD student, Department of Horticultural Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(* Corresponding author email address: m.golzarian@um.ac.ir)

uniform lighting and the existence of highly bright or highly dark points on the surface of samples. According to USDA standard, the ratio of the size of defect region to the size of whole fruit can be used as an indicator for grading mangos (USDA, 2006). In this research, the k-means clustering was used to group the mangos based on their defect region size. The results showed that the mangos could be classified into three categories of grade 1, with the defect size of less than 5% of the total area, grade 2: when the defect region size was between 5 and 15% and grade 3: when the defect area size was more than 15% and less than 25%. By K-means clustering, the samples were grouped in two clusters. The cut-off point between two clusters was found from the ROC curve to be 3.11. The parameter of ROC area was equal to unity, which indicated the high discrimination capability of the clustering model.

Conclusion: In this research, after assessing several color factors and their combinations, four color components of a^* , green (G), $2G/R$ and $L^*-0.16a^*$ were selected and used for classifying mechanically defected mangos and the results were promising. The results of this research and similar ones can provide helpful recommendations in grading mangos considering the higher capability of Hormozgan province in Iran for producing mangos for fresh consumption, being used in high-quality domestic market, being exported to global markets.

Keywords: Image processing, Surface defects, Mechanical damages, Color images, Mango