



ایجاد سیستم طبقه‌بندی بر اساس پردازش تصویر جهت جداسازی کیفی زالک طی نگهداری در شرایط مختلف (سردخانه، یخچال و محیط)

محسن زندی^{۱*}، علی گنجلو^۲ و ماندانا بی‌مکر^۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۳

^۱ استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۲ دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* نویسنده مسئول Email: Zandi@znu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: مشخصه ظاهری میوه‌ها بر ارزش تجاری، ترجیح و انتخاب مصرف‌کننده مؤثر است. درجه‌بندی میوه در صنایع بسته‌بندی بسیار ضروری می‌باشد، زیرا تقاضای زیادی برای میوه‌های مرغوب و با کیفیت در بازار وجود دارد. **هدف:** هدف ایجاد یک سیستم درجه‌بندی میوه بر اساس کیفیت آن طی نگهداری با استفاده از شاخص‌های رنگی و با کمک تکنیک تجزیه و تحلیل تصویر است. **روش کار:** درجه‌بندی میوه‌های زالک به سه درجه کیفی (A، B و C) طی نگهداری در شرایط مختلف (یخچالی، سردخانه و محیط) با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل تصویر انجام شد. برای مقایسه نتایج تجزیه و تحلیل تصویر و طبقه‌بندی بصری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و هندسی میوه تعیین شد. شاخص‌های رنگی (L^* ، a^* ، b^* ، c^* ، h^* و ΔE) شاخص‌های هندسی، افت وزن، سفتی بافت، میزان مواد جامد محلول (TSS)، pH، اسیدیته قابل تیترا (TA) و شاخص رسیدگی (RPI) فاکتورهای اندازه‌گیری شده است. تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی به منظور ارزیابی ارتباط بین متغیرها استفاده شد. **نتایج:** اولین همبستگی بین شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی و رنگی انجام گردید که همبستگی بالای بین تمامی متغیرها به جز شاخص L^* وجود داشت؛ شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی و رنگی توانستند تغییرات را با قابلیت اطمینان ۹۴/۲ درصد توصیف نمایند. با استفاده از شاخص‌های رنگی و بدون حضور شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، تغییرات را با قابلیت اطمینان ۹۷/۴ درصد توصیف گردید. از دو سیستم طبقه‌بندی تحلیل تفکیک خطی (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دو (QDA) برای ارزیابی کارایی سیستم پردازش تصویر استفاده شد. نتایج نشان داد که دو سیستم طبقه‌بندی تحلیل تفکیک خطی و تحلیل تفکیک درجه دو قادرند تا زالک‌ها را با دقت ۹۹ و ۹۹/۵ درصد به درجه کیفی درست خود طبقه‌بندی نماید. نتیجه‌گیری نهایی: بنابراین روش پیشنهادی جدید امکان طبقه‌بندی سریع و دقیق میوه‌ها بر اساس درجه کیفی فراهم می‌آورد؛ و می‌توان آن را به راحتی در کارخانه‌های فرآوری کاربردی نمود.

واژگان کلیدی: زالک، پردازش تصویر، شاخص‌های رنگی، شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، درجه‌بندی کیفی

مقدمه

ارزیابی و درجه‌بندی کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت و طی نگهداری دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. که این امر به سبب پیوند خوردن با خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار پیچیده است و عمدتاً تابع زمان و شرایط نگهداری است (نوردی و همکاران ۲۰۱۴ و اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۸). اکثر تولیدکنندگان به دنبال روش‌های سریع و غیر مخرب در ارزیابی‌های کیفی هستند (سوفو و همکاران ۲۰۱۶) و امروزه روش‌های ارزیابی کیفی متعددی نظیر روش‌های بصری، مکانیکی، شیمیایی و صوتی وجود دارد که برخی از آن‌ها جزء روش‌های غیر مخرب محسوب می‌شوند. اکثر روش‌های غیر مخرب اغلب به تنهایی اطلاعات کیفی محدودی از میوه‌ها و سبزی‌ها حاصل می‌آورند (قربانی و همکاران ۱۳۹۵ و حسین‌پور و همکاران ۲۰۱۶). در بسیاری از موارد ویژگی‌های کیفی ظاهری میوه‌ها و سبزی‌ها مانند رنگ و ابعاد اغلب با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در ارتباط می‌باشند. بنابراین می‌توان با استفاده از تصاویر میوه و سبزی خصوصیات آن‌ها را پیش‌بینی نمود (هانگ و همکاران، ۲۰۱۷). استفاده از تکنیک پردازش تصویر یکی از روش‌های در حال گسترش است که اطلاعات کیفی جامعی از وضعیت میوه‌ها و سبزی‌ها در اختیار قرار می‌دهد (محمدی و همکاران ۲۰۱۵). سیستم بینایی ماشین^۱ (CVS) در حقیقت شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که با کمک پردازش تصویر تلاش دارد تا سیستم بینایی انسان را شبیه‌سازی نماید. این سیستم تشخیصی، جداسازی و طبقه‌بندی روشی بسیار مناسب، سریع، غیر مخرب، مطمئن و قدرتمند است که توسط آن می‌توان بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میوه‌ها و سبزی‌ها را استخراج نمود (نوری-احمدآبادی و همکاران، ۲۰۱۷ و جکمن و سان ۲۰۱۳). در سال‌های گذشته استفاده از سیستم بینایی ماشین جهت ارزیابی کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها توسعه یافته است (معلم و همکاران ۲۰۱۷). کاربرد موفق سیستم بینایی ماشین در ارزیابی‌های کیفی میوه و سبزی‌ها توسط پژوهشگران مختلفی برای گوجه‌فرنگی (ون و همکاران ۲۰۱۷ و آراکیا

و لاکشمانا ۲۰۱۶)، انواع مختلف نارنگی (سبزی و همکاران ۲۰۱۸)، انواع محصولات باغی (هانگ و همکاران، ۲۰۱۷)، سیب (سوفو و همکاران، ۲۰۱۶؛ کاردناس-پرز و همکاران ۲۰۱۷؛ معلم و همکاران ۲۰۱۷)، توت سیاه (افشارنیا و همکاران ۲۰۱۷)، انبه (مومینا و همکاران ۲۰۱۷)، خرما (پوردربانی و همکاران ۲۰۱۵ و محمد ۲۰۱۵)، خرمالو (محمدی و همکاران ۲۰۱۵)، انجیر (بیگوند و همکاران ۲۰۱۵)، میوه تازه پالم (مکی و سونی ۲۰۱۳) و توت‌فرنگی (لیمینگ و یانچاو، ۲۰۱۰) گزارش شده است.

زالزالک (*Crataegus pinnatifida*) متعلق به خانواده گل‌سرخیان‌آمی‌باشد، که درختچه‌ها یا بوته‌هایی است که بیشتر در نیم‌کره شمالی می‌روید. اگرچه در زمینه تعداد گونه‌های زالزالک آمار مشخصی وجود ندارد ولی بر اساس شواهد نزدیک به ۳۰۰ گونه از زالزالک در دنیا شناخته شده است (لیو و همکاران ۲۰۱۶)، که پراکندگی آن بیشتر در شمال آمریکا، اروپای مرکزی، آسیای شرقی و بیشتر در کشورهای نظیر چین، ایران و ترکیه می‌باشد (دریلی قرجالار و همکاران ۱۳۹۶). رنگ میوه‌های رسیده زالزالک بین زرد، سبز، قرمز و بنفش تیره متغیر است (مراهی و همکاران ۲۰۱۵) که غنی از اسید آسکوربیک، آنتوسیانین و فلاونوئیدها می‌باشد (لیو و همکاران ۲۰۱۸). زالزالک دارای اثرات درمانی فراوانی مانند کاهش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی (چانگ و همکاران ۲۰۰۵ و پیتر و همکاران ۲۰۰۳)، اثرات آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، گشادکنندگی، ضد پیری و کاهش چربی خون می‌باشد (لیو و همکاران ۲۰۱۸؛ چای و همکاران ۲۰۱۴؛ لیو و همکاران ۲۰۱۰). ترکیبات اصلی زالزالک شامل فروکتوز، فلاونوئیدها، اسیدهای آلی، ویتامین‌ها و املاح معدنی است که بسته به نوع زیر گونه، موقعیت جغرافیایی محل رشد گیاه، زمان برداشت و نحوه نگهداری آن متفاوت می‌باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۰۲). میوه‌های خوراکی زالزالک شیرین و گوشتی و دارای طیف رنگی مختلفی از سبز روشن تا قرمز تیره (رنگ‌های سبز، زرد، نارنج و قرمز) هستند، که دارای ظرفیت ضد اکسایشی و نیز محتوی ترکیبات فنولی زیادی می‌باشند (مراهی و همکاران،

² Rosaceae¹ Computer Vision System (CVS)

رطوبت نسبی ۶۰ درصد) قرار گرفت. نمونه‌برداری تصادفی حداقل در ۱۰ تکرار و هر ۵ روز یکبار صورت گرفت.

استخراج خصوصیات رنگی

سیستم بینایی ماشین مورد استفاده برای بررسی تغییرات زلالک طی نگهداری در شکل ۱ نشان داده شده است. این سیستم دارای سه بخش اصلی تصویربرداری، پردازش و تجزیه و تحلیل می‌باشد. تصویربرداری یکی از مراحل مهم در سیستم بینایی ماشین و استخراج شاخص است؛ هرچه تصویر با نویز کمتر باشد، به دست آوردن خصوصیات آسان‌تر است. به این منظور از محفظه تصویربرداری مجهز به ۸ نوار LED (در دیواره‌های جانبی و با فاصله ۴۰ سانتی‌متر ارتفاعی از هم)، دو لامپ LED در بالا (با زاویه ۴۵ درجه) و دو صفحه LED در بالا و پایین (کف و سقف) با قابلیت کنترل از راه دور استفاده شد (تمامی لامپ‌های LED ساخت شرکت پارس شعاع توس، ایران). تصویربرداری با کمک دوربین کانن (مدل ۷۰D، ژاپن) مجهز به لنزی با زوم بین ۵۵-۱۸ میلی‌متری (کانن، ژاپن) صورت پذیرفت. فاصله دوربین از نمونه‌ها قابل تنظیم بود و در فاصله ۳۰ سانتی‌متر مناسب‌ترین تصاویر ثبت گردید. تصاویر رنگی (RGB) خام با وضوح ۱۲۸۸ × ۱۹۳۶، با فرمت غیر فشرده TIFF و با پس زمینه سفید گرفته و در کامپیوتر ذخیره شد. جهت پردازش تصویر از نرم‌افزار ImageJ (نسخه ۱/۵۲، موسسه ملی بهداشت، ایالات متحده آمریکا) و پلاگین‌های آن استفاده شد. ابتدا تصاویر RGB میوه تقطیع گردید و پیکسل‌های بیش از حد روشن یا بیش از حد تیره نیز حذف شد. در ادامه کانال‌های R، G و B استخراج گردید. پس از عبور هر کانال از فیلتر، تصاویر باینری با مقدار آستانه (۰/۳) حاصل شد. پس از معکوس کردن تصویر باینری، نویز تصاویر به همراه اجرام کوچک‌تر از ۴۰ پیکسل با عملیات فرسایش^۳ حذف گردید. سپس تصاویر دودویی به دست آمده در کانال‌های R، G و B ضرب شد و با ترکیب آن‌ها پس زمینه تصاویر اصلی حذف شدند. در نهایت با ترکیبی از کانال‌های به

۲۰۱۵). در دنیا، زلالک علاوه بر مصرف تازه خوری در تهیه نوشیدنی‌های الکلی (به سبب قند و ترکیبات عطر و طعمی مخصوص)، مربا و ژله (به سبب محتوای پکتین بالا) استفاده می‌گردد (ژوآ و همکاران ۲۰۱۳). هدف از پژوهش حاضر استفاده از سیستم‌های پردازش تصویر و طبقه‌بندی جهت جداسازی کیفی میوه زلالک است. در این تحقیق ابتدا ارتباط بین شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی با شاخص‌های رنگی مورد بررسی قرار داده شد؛ تا با کمک تحلیل شاخص‌های رنگی و با کمک سیستم‌های طبقه‌بندی تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) زلالک به درجات مختلف کیفی طبقه‌بندی شود. این طبقه‌بندی بر اساس زمان نگهداری (بین ۰ تا ۲۰ روز نگهداری) و نیز شرایط نگهداری (سردخانه، یخچالی و محیط) انجام گردید. نوآوری این تحقیق ایجاد یک سیستم درجه‌بندی میوه بر اساس کیفیت آن طی نگهداری با استفاده از شاخص‌های رنگی و با کمک تکنیک تجزیه و تحلیل تصویر است.

مواد و روش‌ها

تهیه زلالک و اعمال تیمارهای مختلف

به منظور انجام آزمون‌های مختلف، میوه زلالک (*Crataegus pinnatifida*) رسیده با میزان مواد جامد محلول^۲ (TSS) حدود ۵ (محدوده قابل قبول برای رسیدگی تجاری (رضوی و همکاران ۲۰۱۸) از باغات شرکت میثاق امداد قرار گرفته در شرق استان گیلان برداشت گردید و جهت حذف اثرات ناشی از خطا و ایجاد یکنواختی، میوه‌های آسیب‌دیده (لکه‌دار و آفت‌زده)، کال و نرسیده و با اشکال نامنظم حذف گردید. زلالک‌ها سپس درون سبدهایی پلاستیکی جداگانه‌ای با سوراخ ریز و به ابعاد طول، عرض و ارتفاع برابر ۶۰، ۴۰ و ۷ سانتی‌متر قرار داده شد. در نهایت برای بررسی تأثیر شرایط نگهداری، سه گروه مجزا از زلالک‌ها به مدت ۲۰ روز در سه شرایط مختلف نگهداری استاندارد تجاری (دمای ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد) (رضوی و همکاران ۲۰۱۸)، یخچالی (دمای ۱۰-۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد) و محیط (دمای ۲۵ درجه سلسیوس و

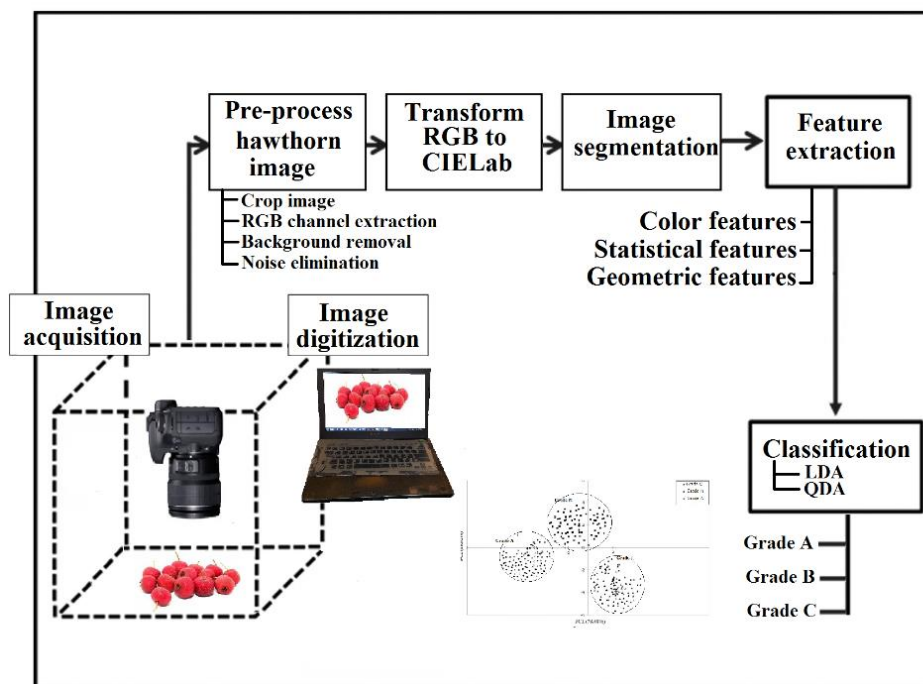
³ Erosion

¹ Principal Component Analysis

² Total Soluble Solid (TSS)

(کاردناس-پرز و همکاران ۲۰۱۷) تصاویر با کمک پلاگین مبدل فضای رنگی نرم‌افزار ImageJ از محیط RGB به مختصات رنگی CIELab تبدیل شد.

دست آمده تصویر نهایی حاصل گردید. به منظور تجزیه و تحلیل تصاویر، به سبب کاربرد گسترده مختصات CIELab در مطالعات رسیدگی و کیفیت میوه‌ها



شکل ۱- چارچوب سیستم پردازش تصویر طراحی شده و روش تجزیه و تحلیل تصاویر
Figure 1-Structure of designed image processing system and image analysis method

با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم (AND، مدل HL-I، ژاپن) توزین گردید. برای محاسبه افت وزن از معادله زیر استفاده گردید (عشورنژاد و قاسم‌نژاد ۱۳۹۱):

$$WL = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

تصاویر دیجیتال زالزالک با کمک نرم‌افزار متلب (R2017a، آمریکا) جهت استخراج و محاسبه شاخص شکلی زالزالک بکار برده شد؛ مقدار قطر اصلی (D) و طول میوه (L) از این تصاویر استخراج گردید و شاخص‌های نسبت طول به قطر (L/D)، تغییرات قطر اصلی (MDC) قطر میانگین هندسی (D_g) و ضریب کرویت (φ) نیز محاسبه شد (لی و همکاران ۲۰۱۵ و ازجان و همکاران ۲۰۰۵):

$$MDC = \frac{\text{قطر نهایی} - \text{قطر اولیه}}{\text{قطر اولیه}} \times 100$$

$$D_g = (LD^2)^{0.33}$$

در این مختصات میانگین سه مؤلفه L^* (روشنایی)، a^* (از سبز به قرمز) و b^* (از آبی به زرد) با کمک ابزار هیستوگرام فراوانی به دست آمد. مقادیر خلوص رنگ یا کروما (C^*)، تغییرات رنگی (ΔE) و زاویه رنگ^۲ (h^*) نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (کاردناس-پرز و همکاران ۲۰۱۷ و آرژات-وازکوز و همکاران ۲۰۱۱):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^* = \arctan(b^*/a^*)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

که $\Delta b^* = b^* - b_0^*$ و $\Delta a^* = a^* - a_0^*$ ، $\Delta L^* = L^* - L_0^*$ شاخص‌های رنگی اولیه (L_0^* ، a_0^* و b_0^*) مربوط به شاخص‌های رنگی سفید استاندارد است.

آزمون‌های فیزیکی

برای تعیین افت وزن (WL) عدد زالزالک هر پنج روز یکبار برای مدت بیست روز (روزهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰)

² Hue angle

¹ Chroma

$$RPI = \ln(100 \times |F| \times \frac{TA}{TSS})$$

طبقه‌بندی و اعتبارسنجی

برای طبقه‌بندی زالزالک طی نگهداری در دماهای مختلف از تصاویر آن و نیز روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. به این منظور ۱۴ متغیر مورد استفاده ($D_g, MDL, \varphi, WL, F, TA, TSS, h^*, C^*, b^*, a^*, L^*$) در یک ماتریس با ۲۰۰ مقدار میانگین RPI و ΔE در یک ماتریس با ۲۰۰ مقدار میانگین اندازه‌گیری برای زالزالک مرتب گردید. روابط بین متغیرها با کمک مربع پیرسون مشخص شد و سهم متغیرها، مقادیر ویژه، بارهای عاملی و درصد واریانس اجزا اصلی مشخص گردید. علاوه بر آن در آنالیز پیرسون آزمون معناداری کیسر میر اولکین^۴ برای تعیین ارتباط معناداری بین متغیرها انجام پذیرفت ($p < 0.05$). در ادامه PCA دوم تنها با استفاده از متغیرهای رنگی L^*, a^*, b^*, C^*, h^* و ΔE انجام پذیرفت تا مشخص گردد که آیا می‌توان زالزالک‌ها را با کمک شاخص‌های رنگی (به عنوان آزمون غیر مخرب) بسته به درجه کیفی طبقه‌بندی نمود. در نهایت با کمک شاخص‌های رنگی استخراج شده از تصاویر زالزالک، طبقه‌بندی تحلیل تفکیک خطی^۵ (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دو^۶ (QDA) انجام پذیرفت و از تصاویر ۲۰۰ زالزالک برای اعتبارسنجی مدل استفاده گردید؛ در فرآیند اعتبارسنجی متقابل بطور تصادفی ۷۰ درصد تصاویر برای آموزش سیستم (۱۴۰ نمونه) و نیز ۳۰ درصد (۶۰ نمونه) به‌طور تصادفی برای اعتبارسنجی بکار برده شد. این فرآیند ۳۰ مرتبه تکرار گردید که در همه آن‌ها ۷۰ درصد نمونه‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴، آمریکا) برای تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد تا تفاوت تیمارها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرد. برای مقایسه

$$\varphi = \frac{(LD^2)^{0.33}}{L}$$

همچنین به منظور تبدیل تعداد پیکسل به سانتی‌متر از تصاویر یک دایره استاندارد با قطر ۱۰ میلی‌متر و یک خطکش با طول ۵۰ میلی‌متر نیز استفاده گردید. برای بررسی تغییرات بافتی میوه طی نگهداری در دماهای مختلف، میزان سفتی بافت (F) با کمک آزمون نفوذ اندازه‌گیری شد؛ به این منظور از دستگاه تست بافت (کوپا، ایران) مجهز به پلانجر با قطر ۳ میلی‌متری استفاده گردید؛ در این آزمون سرعت نفوذ و حداکثر عمق نفوذ به ترتیب برابر ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه و ۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای سوراخ کردن نمونه بر حسب نیوتن از منحنی نیروی نفوذی به دست آمد و به عنوان سفتی بافت استفاده گردید.

آزمون‌های شیمیایی

پس از آب‌گیری زالزالک و صاف کردن آب آن، مقداری از آن در روی رفاکتومتر دستی (شرکت آتاگو، مدل H50، ژاپن) قرار داده شد و میزان مواد جامد محلول (TSS) تعیین گردید. pH این میوه نیز با استفاده از آب صاف شده زالزالک و به‌وسیله pH متر (شرکت هانا ایتالیا، مدل HI2211) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراژ (TA) نیز با روش AOAC و از طریق تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال انجام پذیرفت. مقدار اسیدیته بر مبنای اسید مالئیک از معادله زیر محاسبه شد (لی و همکاران ۲۰۱۵؛ هلریچ ۱۹۹۰):

$$TA = \frac{0.1 \times 0.064 \times \text{حجم سود مصرفی (ml)}}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

در بررسی رسیدگی میوه‌ها از شاخصی تحت عنوان شاخص رسیدگی^۱ (RPI) استفاده می‌شود که این شاخص شامل اغلب خصوصیات اصلی فیزیکی و شیمیایی میوه است و با درک حسی آن در ارتباط می‌باشد. شاخص رسیدگی در حقیقت به عنوان شاخص مرجع برای تعیین وضعیت رسیدگی میوه‌ها است (ولز-ریورا و همکاران ۲۰۱۴):

⁴ Kaisere Meyere Olkin

⁵ Linear Discriminant Analysis (LDA)

⁶ Quadratic Discriminant Analysis (QDA)

¹ Ripening index (RPI)

² Principal Component Analysis (PCA)

³ Eigen values

تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زالک طی نگهداری در سه شرایط مختلف سردخانه تجاری (دمای ۱ درجه سلسیوس) (Cold)؛ یخچالی (دمای ۱۰ درجه سلسیوس) (Refrigerator) و محیط (دمای ۲۵ درجه سلسیوس) (Room) در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

میانگین نیز از آزمون تعقیبی دانکن استفاده شد تا معناداری ($p < 0.05$) تفاوت‌ها بررسی گردد.

نتایج و بحث آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

جدول ۱- تغییرات شاخص‌های فیزیکی میوه زالک طی شرایط مختلف نگهداری

Table 1- Physical parameters changes of hawthorn fruits at different storage conditions

Parameter	Storage conditions	Storage time (day)				
		0	5	10	15	20
WL	Cold	0.00±0.2 ^a	2.65±1.7 ^a	5.75±1.1 ^b	10.11±2.6 ^c	19.17±3.1 ^d
	Refrigerator	0.00±0.2 ^a	3.1±2.2 ^a	7.93±2.1 ^b	10.11±1.9 ^c	26.11±3.3 ^d
	Room	0.00±0.2 ^a	6.11±2.5 ^b	12.36±2.7 ^c	24.17±3.1 ^d	35.11±2.9 ^e
F	Cold	17.2±1.1 ^a	16.4±0.7 ^a	15.7±0.8 ^a	15.1±0.7 ^b	14.6±0.6 ^b
	Refrigerator	17.2±1.1 ^a	16.2±0.9 ^a	15.4±0.7 ^{ab}	14.8±0.8 ^b	14.1±1.0 ^b
	Room	17.2±1.1 ^a	14.3±1.3 ^b	12.9±0.8 ^b	11.64±0.7 ^{bc}	10.9±1.3 ^c
L*	Cold	35.43±1.2 ^a	34.63±1.5 ^a	23.01±1.4 ^{ab}	32.21±0.9 ^b	30.96±1.1 ^b
	Refrigerator	35.43±1.2 ^a	33.25±1.4 ^{ab}	32.63±1.0 ^b	31.72±0.9 ^b	30.11±0.7 ^b
	Room	35.43±1.2 ^a	31.90±1.4 ^b	30.01±1.1 ^b	28.76±0.9 ^{bc}	27.96±1.1 ^c
a*	Cold	14.33±1.4 ^a	16.01±1.6 ^{ab}	17.35±1.1 ^b	18.44±0.9 ^b	19.01±1.0 ^b
	Refrigerator	14.33±1.4 ^a	17.24±1.4 ^b	18.03±1.4 ^{bc}	19.20±1.4 ^c	20.80±1.4 ^c
	Room	14.33±1.4 ^a	19.03±1.2 ^b	20.32±1.1 ^{bc}	21.82±1.0 ^c	23.94±0.9 ^d
b*	Cold	16.31±1.1 ^a	16.31±1.1 ^a	12.38±1.4 ^b	11.31±0.8 ^b	11.54±1.0 ^b
	Refrigerator	16.31±1.1 ^a	13.01±1.1 ^b	11.96±1.1 ^{bc}	11.04±1.1 ^c	10.76±1.1 ^c
	Room	16.31±1.1 ^a	12.80±1.7 ^b	11.02±1.0 ^b	10.43±1.1 ^{bc}	10.01±0.8 ^c
h*	Cold	0.814±0.12 ^a	0.679±0.10 ^a	0.613±0.14 ^{ab}	0.564±0.07 ^b	0.542±0.11 ^b
	Refrigerator	0.814±0.12 ^a	0.638±0.14 ^a	0.581±0.12 ^{ab}	0.519±0.09 ^b	0.476±0.16 ^b
	Room	0.814±0.12 ^a	0.587±0.6 ^b	0.495±0.15 ^b	0.445±0.11 ^{bc}	0.395±0.09 ^c
C*	Cold	21.71±1.4 ^a	20.78±0.7 ^a	21.31±1.0 ^a	21.88±1.1 ^a	22.24±0.9 ^a
	Refrigerator	21.71±1.4 ^a	21.60±1.2 ^a	21.64±0.7 ^a	22.15±1.1 ^a	23.42±1.1 ^b
	Room	21.71±1.4 ^a	22.93±0.9 ^{ab}	23.12±1.1 ^b	24.18±0.8 ^b	25.95±0.7 ^c
ΔE	Cold	41.55±0.9 ^a	40.38±1.3 ^a	23.29±0.7 ^b	38.94±1.1 ^b	38.12±1.0 ^b
	Refrigerator	41.55±0.9 ^a	39.65±1.2 ^{ab}	39.15±1.0 ^b	38.69±1.2 ^b	38.14±0.7 ^b
	Room	41.55±0.9 ^a	39.29±0.7 ^b	37.88±1.0 ^b	37.58±1.1 ^b	38.15±1.2 ^b

*Data is the mean of ten replications ± standard deviation.

**Different letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among mean values in each parameter (raw and column).

³ Room Storage (RMS)

¹ Commercial Cold Storage (CCD)

² Refrigerator Storage (RFS)

جدول ۲- تغییرات شاخص‌های شکلی و شیمیایی میوه زالک طی شرایط مختلف نگهداری

Table 2- Geometrical and chemical parameters changes of hawthorn fruits at different storage conditions

Parameter	Storage conditions	Storage time (day)				
		0	5	10	15	20
MDC	Cold	0.00±0.8 ^a	1.29±0.6 ^{ab}	2.15±0.4 ^b	3.00±0.7 ^b	3.86±0.6 ^c
	Refrigerator	0.00±0.8 ^a	1.72±0.4 ^b	2.58±0.8 ^{bc}	3.43±0.3 ^c	3.89±0.7 ^c
	Room	0.00±0.8 ^a	3.43±0.9 ^b	4.29±0.7 ^{bc}	6.87±0.6 ^c	7.73±0.8 ^c
D _g	Cold	21.61±0.12 ^a	21.39±0.24 ^a	21.20±0.28 ^{ab}	21.04±0.16 ^b	20.88±0.27 ^b
	Refrigerator	21.61±0.12 ^a	21.29±0.21 ^{ab}	21.14±0.15 ^b	20.94±0.22 ^b	20.85±0.18 ^b
	Room	21.61±0.12 ^a	20.91±0.17 ^b	20.65±0.24 ^b	20.17±0.17 ^c	19.98±0.26 ^c
φ	Cold	1.059±0.004 ^a	1.054±0.003 ^a	1.055±0.003 ^a	1.052±0.002 ^{ab}	1.049±0.003 ^b
	Refrigerator	1.059±0.004 ^a	1.054±0.002 ^a	1.052±0.001 ^b	1.052±0.002 ^b	1.053±0.003 ^{ab}
	Room	1.059±0.004 ^a	1.056±0.002 ^a	1.064±0.003 ^a	1.056±0.001 ^a	1.057±0.002 ^a
pH	Cold	4.1±0.1 ^a	4.2±0.2 ^a	4.3±0.1 ^a	4.3±0.1 ^a	4.4±0.2 ^a
	Refrigerator	4.1±0.1 ^a	4.2±0.1 ^a	4.3±0.2 ^a	4.4±0.2 ^a	4.5±0.1 ^b
	Room	4.1±0.1 ^a	4.5±0.1 ^b	4.7±0.2 ^b	4.8±0.2 ^{bc}	4.9±0.1 ^c
TSS	Cold	8.42±0.11 ^a	9.45±0.14 ^b	10.09±0.20 ^c	10.93±0.16 ^d	11.43±0.12 ^e
	Refrigerator	8.42±0.11 ^a	9.65±0.32 ^b	10.23±0.27 ^c	11.07±0.18 ^d	11.94±0.16 ^e
	Room	8.42±0.11 ^a	11.09±0.24 ^b	12.24±0.29 ^c	13.01±0.32 ^d	13.97±0.18 ^e
TA	Cold	4.23±0.28 ^a	3.97±0.21 ^a	3.54±0.11 ^b	3.01±0.26 ^c	2.87±0.32 ^c
	Refrigerator	4.23±0.28 ^a	3.65±0.19 ^b	3.07±0.34 ^c	2.65±0.26 ^c	2.34±0.12 ^c
	Room	4.23±0.28 ^a	3.13±0.31 ^b	2.64±0.16 ^c	1.93±0.30 ^d	1.11±0.21 ^e
RPI	Cold	6.76±0.21 ^a	6.54±0.19 ^a	6.31±0.13 ^b	6.03±0.18 ^{bc}	5.92±0.11 ^c
	Refrigerator	6.76±0.21 ^a	6.42±0.11 ^{ab}	6.14±0.25 ^b	5.87±0.16 ^b	5.62±0.14 ^c
	Room	6.76±0.21 ^a	6.00±0.17 ^b	5.63±0.23 ^c	5.15±0.21 ^{cd}	4.40±0.16 ^d

همبستگی بالای اکثر این شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی (p<۰/۰۵) است و فقط برخی از شاخص‌های هندسی همبستگی پایینی از خود نشان دادند. بین شاخص‌های هندسی با سفتی بافت (p<۰/۰۵)، افت وزن (p<۰/۰۱) و شاخص رسیدگی همبستگی معناداری (p<۰/۰۵) وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که طی نگهداری زالک به سبب تغییرات اندک خصوصیات هندسی، نمی‌توان از این شاخص به منظور بررسی تغییرات طی نگهداری استفاده نمود. همبستگی بالایی بین اکثر شاخص‌های رنگی با سایر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی وجود دارد و تنها شاخص L^* همبستگی ضعیفی با سایر شاخص‌ها دارد. این همبستگی ضعیف ممکن است به سبب تغییرات اندک شاخص L^* طی مراحل و شرایط مختلف نگهداری است (کارنداس-پراز و همکاران ۲۰۱۷). اگرچه شاخص C^* تغییرات کوچکی را نیز به نمایش می‌گذارد، شاخص L^* نسبت به شاخص C^* تأثیر کمتری دارد. نتایج این جدول نشان‌دهنده همبستگی قوی بین تغییرات شیمیایی (میزان مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتر و شاخص رسیدگی) و مکانیکی (سفتی بافت) طی نگهداری زالک با تغییرات

تجزیه و تحلیل چند متغیره (سیستم بینایی ماشین) ماتریس همبستگی برای تعیین روابط بین شاخص‌ها و نیز بررسی معناداری (p<۰/۰۵) بین آن‌ها استفاده می‌گردد. بررسی روابط بین شاخص‌های مختلف این امکان را فراهم می‌آورد تا با ایجاد رابطه بین چند صفت، امکان بررسی صفاتی که تعیین آن‌ها دشوار است، فراهم آید. نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، همبستگی مثبت و منفی معناداری بین بسیاری از شاخص‌ها در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ وجود دارد. میوه زالک قبل از تجزیه و تحلیل بر اساس شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی به سه درجه A، B و C تقسیم‌بندی گردید. این تقسیم‌بندی در حقیقت شرایط لازم برای الگوریتم طبقه‌بندی را فراهم می‌آورد تا میوه‌ها را با درصد موفقیت بالاتری طبقه‌بندی نماید. در گام اول تحلیل پیرسون و ارزیابی همبستگی بین تمامی ۱۴ شاخص فیزیکی و شیمیایی (شامل شاخص‌های رنگی، هندسی، مکانیکی و شیمیایی) انجام پذیرفت (دریلى قرجالار و همکاران ۱۳۹۶). نتایج این تحلیل نشان‌دهنده

رنگ میوه است. شاخص‌های رنگی a^* و b^* مقادیر ضریب همبستگی بالاتری بین کلیه شاخص‌های رنگی نشان داد. این امر می‌تواند به دلیل ارتباط قوی بین تغییرات رنگ و فعالیت بیوشیمیایی موجود در پالپ و پوست میوه باشد (ولز-ریورا و همکاران ۲۰۱۴). این امر

در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (واسکوز-کایسدو و همکاران ۲۰۰۵؛ کینزل و همکاران ۲۰۱۱؛ ارنلاس-پاز ۲۰۰۸). بعد از ایجاد ماتریس همبستگی، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام گردید و مقادیر ویژه محاسبه شدند (جدول ۴).

جدول ۳- ماتریس همبستگی پیرسون برای متغیرهای فیزیکی و شیمیایی زالزالک طی نگهداری در شرایط مختلف

Table 3- Pearson correlation matrix for physicochemical variables of hawthorn at different storage conditions

	TSS	TA	F	RPI	WL	φ	Dg	MDC	L^*	a^*	b^*	ΔE	h^*	C^*
TSS	1													
TA	-0.97**	1												
F	-0.91**	0.88**	1											
RPI	-0.94**	0.91**	0.93**	1										
WL	0.49*	-0.57**	-0.73**	-0.33*	1									
φ	-0.12 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.38*	0.32*	-0.68**	1								
Dg	-0.20 ^{ns}	0.28*	0.30*	0.44*	-0.72**	0.84**	1							
MDC	0.29*	-0.14 ^{ns}	-0.29*	-0.38*	0.89**	-0.91**	-0.73**	1						
L^*	-0.13 ^{ns}	0.43*	0.17 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.28*	0.09 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	1					
a^*	0.76**	-0.83**	-0.67**	-0.59**	0.46*	-0.46*	-0.23 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.76**	1				
b^*	-0.62**	0.70**	0.58**	0.46*	-0.58**	0.38*	0.33*	-0.29*	0.87**	-0.71**	1			
ΔE	-0.56**	0.65**	0.52**	0.41*	-0.47*	0.29*	0.28*	-0.22 ^{ns}	0.58**	-0.63**	0.83**	1		
h^*	-0.67**	0.73**	0.70**	0.76**	-0.58**	0.22 ^{ns}	0.19 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.91**	0.88**	0.79**	1	
C^*	0.76**	-0.66**	-0.68**	-0.64**	0.39*	-0.17 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.39*	0.93**	-0.94**	-0.86**	-0.63**	1

(value with one asterisk (*) indicate significant differences ($p < 0.05$), value with two asterisks (**) indicate significant differences ($p < 0.01$), value with ns indicate no statistically significant difference).

جدول ۴- داده‌های مربوط به نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی با حضور شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی

Table 4- Relevant data of principal component analysis results with physicochemical and color parameters

Variable	Variable contribution		Factor loading	
	PC1	PC2	PC1	PC2
TSS	8.55	2.34	0.923	0.153
TA	9.23	3.65	-0.932	0.121
F	9.94	5.11	-0.824	0.245
RPI	10.7	3.79	-0.935	0.211
WL	4.01	6.78	-0.718	0.356
φ	7.02	13.67	-0.385	0.712
Dg	2.25	17.71	0.272	0.871
MDC	2.29	13.41	0.262	-0.853
L^*	4.85	13.59	0.214	0.825
a^*	9.04	4.65	0.815	-0.184
b^*	8.85	2.54	0.987	0.157
ΔE	6.51	3.67	0.911	0.239
h^*	8.32	4.98	0.864	0.338
C^*	8.44	4.11	-0.917	0.346
PCA Data	Eigen value 8.182	Eigen value 3.293	Variance (%) 67.17	Variance (%) 27.03

مؤلفه اصلی (PC2) و در مجموع ۹۴/۲ درصد تغییرات توسط تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعیین گردید که این میزان قابل اعتماد است. بیشترین سهم در دومین مؤلفه اصلی

پس از تعیین این مقادیر این امکان فراهم آمد تا میزان تغییرات بین نمونه‌ها توصیف شود. ۶۷/۱۷ درصد تغییرات برای اولین مؤلفه اصلی (PC1)، ۲۷/۰۳ درصد برای دومین

همبستگی بالایی بین شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی با تغییرات رنگی طی نگهداری زالک وجود دارد. از این رو تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی دوم تنها با کمک شاخص‌های رنگی انجام گردید. ماتریس همبستگی پیرسون برای شاخص‌های رنگی طی نگهداری در شرایط مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج این تحلیل نشان‌دهنده همبستگی بالا بین تمامی شاخص‌های رنگی (اغلب در $p < 0.01$) است.

مربوط به شاخص‌های هندسی و شاخص L^* است؛ این امر نشان می‌دهد که سهم خصوصیات شکلی در طبقه‌بندی زالک نگهداری شده در شرایط مختلف، اندک است و پایین‌ترین تأثیر معنادار را دارد. همبستگی بالا بین شاخص‌ها این امکان را ایجاد می‌نماید، تا بتوان از طریق تعیین هر یک از شاخص‌ها وضعیت شاخص دوم مشخص شود (دریلی قرجالار و همکاران ۱۳۹۶).

در سیستم بینایی ماشین هدف جداسازی، تشخیص و طبقه‌بندی نمونه‌ها بر اساس شاخص‌های رنگی است؛ از طریق اولین همبستگی تحلیل پیرسون، مشخص گردید که

جدول ۵- ماتریس همبستگی پیرسون برای شاخص‌های رنگ زالک طی نگهداری در شرایط مختلف

Table 5- Pearson correlation matrix for color variables of hawthorn at different storage conditions

	L^*	a^*	b^*	ΔE	h^*	C^*
L^*	1					
a^*	a^*	1				
b^*	b^*	b^*	1			
ΔE	0.82**	-0.69**	ΔE	1		
h^*	0.32*	-0.91**	0.92**	h^*	1	
C^*	-0.48*	0.93**	-0.91**	C^*	-0.74**	1

(value with one asterisk (*) indicate significant differences ($p < 0.05$), value with two asterisk (**) indicate significant differences ($p < 0.01$), value with ns indicate no statistically significant difference).

جدول ۶- داده‌های مربوط به نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی با حضور شاخص‌های رنگی

Table 6- Relevant data of principal component analysis results with color parameters

Variable	Variable contribution		Factor loading	
	PC1	PC2	PC1	PC2
L^*	5.67	44.87	-0.853	0.301
a^*	20.54	8.69	0.156	-0.992
b^*	18.36	11.12	-0.265	0.963
ΔE	16.56	13.24	-0.221	0.953
h^*	19.76	11.21	0.316	0.974
C^*	19.11	10.87	-0.392	-0.893
	Eigen value	Eigen value	Variance (%)	Variance (%)
PCA Data	4.656	1.124	78.48	18.92

گردید. در مجموع ۹۷/۴ درصد تغییرات تنها با استفاده از شاخص‌های رنگی توصیف گردید. این مقدار از نظر آماری قابل‌اعتماد تلقی می‌شود، به این معنی که تنها با استفاده از شاخص‌های رنگی، می‌توان تنوع بین نمونه‌ها را به صورت مؤثر نشان داد. بنابراین می‌توان از شاخص‌های رنگی استخراج شده از تصاویر زالک جهت طبقه‌بندی کیفی آن‌ها طی نگهداری در شرایط مختلف استفاده نمود. با توجه به نتایج حاصله، رنگ میوه

نتایج نشان داد که روابط بین اکثر شاخص‌ها مثبت است و تنها ارتباط بین شاخص a^* با همه شاخص‌ها غیر از C^* و ارتباط بین شاخص C^* با همه شاخص‌ها غیر از a^* منفی است؛ یعنی با کاهش یک شاخص، شاخص دیگر افزایش می‌یابد. در تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی دوم مقادیر ویژه محاسبه گردید. در این تحلیل، ۷۸/۴۸ درصد تغییرات توسط اولین مؤلفه اصلی (PC1) و ۱۸/۹۲ درصد تغییرات نیز توسط دومین مؤلفه اصلی (PC2) تعیین

مختلف با استفاده از متغیرهای رنگی استفاده گردید. جدول ۷ نتایج طبقه‌بندی تحلیل تفکیک خطی و تحلیل تفکیک درجه دو را به صورت ماتریکس درهم ریختگی نشان می‌دهد.

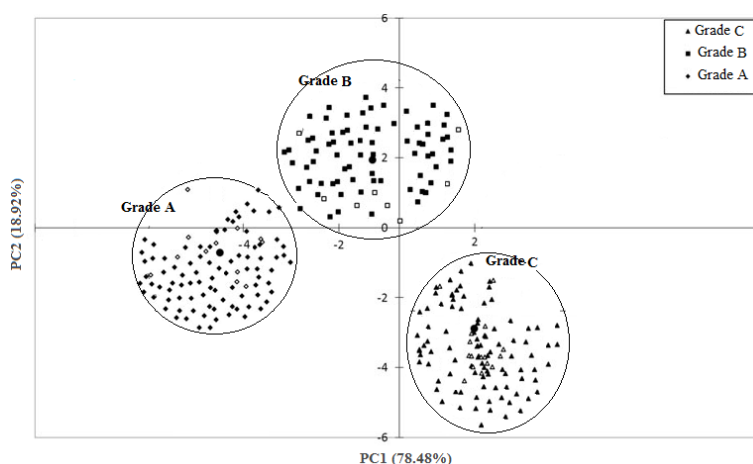
زالزالک تأثیر مهمی در جداسازی میوه‌ها بر اساس درجه کیفی، زمان نگهداری و شرایط نگهداری دارد. بنابراین روش‌های تحلیل تفکیک خطی (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دو (QDA) به عنوان روش‌های طبقه‌بندی اتوماتیک زالزالک بر اساس درجه کیفی طی نگهداری در شرایط

جدول ۷- ماتریکس درهم ریختگی برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی نتایج
Table 7- Confusion matrix for classification and results validation

	Grade	A	B	C	R ²	MSE
LDA	A	199	1	0	0.9213	0.00234
	B	1	197	2		
	C	0	2	198		
Accuracy		99.5%	98.5%	99%		
QDA	A	200	0	0	0.9436	0.00189
	B	0	198	1		
	C	0	2	199		
Accuracy		100%	99%	99.5%		

کیفی طی نگهداری در شرایط مختلف با استفاده از سیستم بینایی ماشین طبقه‌بندی نماید. بنابراین امکان پیش‌بینی درجه کیفی زالزالک با چند شاخص رنگی به عنوان یک روش ساده، سریع، غیر مخرب و کم هزینه وجود دارد. شکل ۲ نمودار پراکندگی حاصله برای هر دو مجموعه از نمونه‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و شش شاخص غیر مخرب را نشان می‌دهد که منجر به جداسازی موفقیت آمیز زالزالک به سه درجه کیفی A، B و C گردید.

در این ماتریس اعداد موجود در روی قطر اصلی نشان‌دهنده تعداد گروه‌های که صحیح طبقه‌بندی شده است و اعداد خارج از قطر اصلی نیز نشان‌دهنده تعداد گروه‌های که غلط طبقه‌بندی شده است. در ماتریس‌های درهم ریختگی ستون‌ها نشان‌دهنده تعداد گروه پیش‌بینی شده و سطرها نشان‌دهنده دسته‌های واقعی است (دونیس-گونزالز و همکاران ۲۰۱۳). با توجه به نتایج طبقه‌بندی فوق، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های رنگی (غیر مخرب)، قادر است تا میوه را بر اساس درجه



شکل ۲- نمودار دو بعدی پراکندگی

Figure 2- 2D scatter plot

نتیجه‌گیری

طبقه‌بندی اتوماتیک زالزالک نشان داد که هر دو روش طبقه‌بندی، به‌طور موفقیت آمیزی توانستند جداسازی زالزالک‌ها را بر اساس درجه کیفی و با کمک رنگ، آن هم با دقت بالایی انجام دهند. میزان صحت برای روش‌های تحلیل تفکیک خطی و تحلیل تفکیک درجه دو به ترتیب برابر ۹۹ و ۹۹/۵ درصد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که امکان پیش‌بینی درجه کیفی زالزالک با چند شاخص رنگی به عنوان یک روش ساده، سریع، غیر مخرب و کم هزینه وجود دارد و این روش می‌تواند در سردخانه‌ها، انبارها، کارخانه‌ها و باغ‌ها جایگزین بازرسی انسانی توسط چشم یا خواص حسی شود.

تقدیر و تشکر

مطالعه حاضر حاصل بخشی از طرح‌های پژوهشی مصوب گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه زنجان مورخ ۱۳۹۸/۰۲/۳۰ با عنوان "استفاده از سیستم ماشین بینایی (CVS) جهت طبقه‌بندی، شناسایی، بررسی تغییرات طی نگهداری، رسیدگی و فرآوری ازگیل، زالزالک و نخودفرنگی" و مورخ ۱۳۹۸/۰۴/۱۰ با عنوان "خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بصری (پردازش تصویر)، آنرودینامیکی، هیدرودینامیکی میوه‌های ایرانی تحت شرایط مختلف فراوری و نگهداری" می‌باشد. از حمایت‌های دانشکده کشاورزی تقدیر و تشکر می‌گردد.

هدف از پژوهش حاضر استفاده از تکنیک پردازش تصویر برای جداسازی کیفی میوه زالزالک (*Crataegus pinnatifida*) طی نگهداری در شرایط مختلف است؛ به این منظور میوه زالزالک بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بصری به سه درجه کیفی عالی (A)، متوسط (B) و بد (C) تقسیم‌بندی گردید. این تقسیم‌بندی در حقیقت شرایط لازم برای الگوریتم طبقه‌بندی را فراهم می‌آورد تا میوه‌ها را با درصد موفقیت بالاتری طبقه‌بندی نماید. نتایج تجزیه و تحلیل چند متغیره نشان داد که همبستگی بالایی بین بیشتر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی است. در این میان نتایج ماتریس همبستگی پیرسون نشان داد که ارتباط ضعیفی بین شاخص‌های شکلی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زالزالک طی نگهداری در شرایط مختلف وجود دارد؛ در نقطه مقابل همبستگی قوی بین شاخص‌ها رنگی (به غیر از شاخص L^*) با شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی وجود دارد. این امر می‌تواند به دلیل ارتباط قوی بین تغییرات رنگ و فعالیت بیوشیمیایی موجود در پالپ و پوست میوه باشد. بنابراین بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان از شاخص‌های رنگی برای ایجاد الگوریتم جهت طبقه‌بندی کیفی زالزالک استفاده نمود. در نهایت نتایج حاصل از تحلیل تفکیک خطی (LDA) و تحلیل تفکیک درجه دو (QDA) به عنوان روش‌های

منابع مورد استفاده

- اسماعیلی ن، حسنی رن و زارع نهدی ف، ۱۳۹۸. ارزیابی اثر زمان برداشت و مدت نگهداری میوه در سردخانه بر روی برخی خصوصیات کیفی میوه زغال اخته. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (۳) ۲۹، ۶۹-۸۴.
- دریلی س، حسن‌پور ح و فرخزاد ع، ۱۳۹۶. ویژگی‌های میوه‌شناختی برخی از نژادگان‌های زالزالک در استان آذربایجان غربی، نشریه علوم باغبانی ایران، (۳) ۴۸، ۶۸۹-۷۰۰.
- قربانی م، صداقت ن، میلانی ا و کوچکی آ، ۱۳۹۵. تاثیر نوع بسته‌بندی و شرایط نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بار میکروبی دانه‌های انار آماده مصرف. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (۳) ۲۶، ۳۸۱-۳۹۵.
- عشورنژاد م و قاسم نژاد م، ۱۳۹۱. اثر بسته‌بندی با فیلم سلوفان و انبارداری سرد بر کیفیت نگهداری و عمر انبارمانی میوه ازگیل ژاپنی (*Eriobotrya japonica*)، علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، (۲) ۷، ۹۵-۱۰۲.

Afsharnia F, Mehdizadeh S, Ghaseminejad M and Heidari M, 2017. The effect of dynamic loading on abrasion of mulberry fruit using digital image analysis. *Information Processing in Agriculture* 4:291-299.

Arakeria M and Lakshmana A, 2016. Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry. *Procedia Computer Science* 79:426-433.

- Arzate-Vazquez I, Chanona-Perez J, Perea-Flores M, Calderon-Domínguez G, Moreno-Armendariz M and Gutierrez-Lopez G, 2011. Image processing applied to classification of avocado variety Hass (*Persea americana* Mill) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology* 4:1307-1313.
- Baigvand M, Banakar A, Minae S, Khodaei J and Behrooz-Khazaei N, 2015. Machine vision system for grading of dried figs. *Computers and Electronics in Agriculture* 119:158-165.
- Cardenas-Perez S, Chanona-Perez J, Mendez-Mendez J, Calderon-Dominguez G, Lopez-Santiago R, Perea-Flores M and Arzate-Vazquez I, 2017. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. *Biosystems Engineering* 159:46-58.
- Chai W, Chen C, Gao Y, Feng H, Ding Y, Shi Y and Chen Q, 2014. Structural analysis of proanthocyanidins isolated from fruit stone of Chinese hawthorn with potent antityrosinase and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62:123-129.
- Chang W, Dao J and Shao Z, 2005. Hawthorn: Potential roles in cardiovascular disease. *The American Journal of Chinese Medicine* 33:1-10.
- Donis-González I, Guyer D, Leiva-Valenzuela G and Burns J, 2013. Assessment of chestnut (*Castanea* spp.) slice quality using color images. *Journal of Food Engineering* 115(3):407-414.
- Helrich K, 1990. AOAC Official Methods of Analysis. Official Methods of Analysis of the AOAC International.
- Hosseinpour S, Rafiee S, Mohtasebi S and Aghbashlo M, 2012. Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp colour changes during drying. *Journal of Food Engineering* 115:99-114.
- Huang Y, Lub R and Chena K, 2017. Development of a multichannel hyperspectral imaging probe for property and quality assessment of horticultural products. *Postharvest Biology and Technology* 88-97.
- Jackman P and Sun DW, 2013. Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment. *Trends in Food Science & Technology* 29:35-43.
- Kienzle S, Sruamsiri P, Carle R, Sirisakulwat S, Spreer W and Neidhart S, 2011. Harvest maturity specification for mango fruit (*Mangifera indica* L. 'Chok Anan') in regard to long supply chains. *Postharvest Biology and Technology* 61(1):41-45.
- Li C, Han W and Wang MH, 2010. Antioxidant Activity of Hawthorn Fruit in vitro. *Journal of Applied Biological Chemistry* 53(1):8-12.
- Li WQ, Hu QP and Xu JG, 2015. Changes in physicochemical characteristics and free amino acids of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) fruits during maturation. *Food Chemistry* 175:50-56.
- Liming, X and Yanchao Z, 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture* 71:32-39.
- Liu S, Chang X, Liu X and Shen Z, 2016. Effects of pretreatments on anthocyanin composition, phenolics contents and antioxidant capacities during fermentation of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) drink. *Food Chemistry* 212:87-95.
- Liu S, Zhang X, You L, Guo Z, and Chang X, 2018. Changes in anthocyanin profile, color, and antioxidant capacity of hawthorn wine (*Crataegus pinnatifida*) during storage by pretreatments. *LWT - Food Science and Technology* 95:179-186.
- Makky M and Soni P, 2013. Development of an automatic grading machine for oil palm fresh fruits bunches (FFBs) based on machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 93:129-139.
- Moallem P, Serajoddin A and Pourghassem H, 2017. Computer vision-based apple grading for golden delicious apples based on surface features. *Information Processing in Agriculture* 4(1):33-40.
- Mohammadi V, Kheiralipour K and Ghasemi-Varnamkhasti M, 2015. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae* 184:123-128.
- Momina M, Rahmana M, Sultana M, Igathinathane C, Ziauddin A and Grift T, 2017. Geometry-based mass grading of mango fruits using image processing. *Information Processing in Agriculture* 4(2):150-160.
- Mraihi F, Hidalgo M, Pascual-Teresa S, Trabelsi-Ayadi M and Cherif J, 2015. Wild grown red and yell ow Hawthorn fruits from Tunisia as source of antioxidants. *Arabian Journal of Chemistry* 8:570-578.

- Muhammad G, 2015. Date fruits classification using texture descriptors and shape-size features. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 37:361–367.
- Nordey T, Léchaudel M, Génard M and Joas J, 2014. Spatial and temporal variations in mango colour, acidity, and sweetness in relation to temperature and ethylene gradients within the fruit. *Journal of plant physiology* 171(17):1555-1563.
- Nouri-Ahmadabadi H, Omid M, Mohtasebi S and Soltani Firouz M, 2017. Design, development and evaluation of an online grading system for peeled pistachios equipped with machine vision technology and support vector machine. *Information Processing in Agriculture* 4(4):333-341.
- Ornelas-Paz J, Yahia E and Gardea A, 2008. Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI + -time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology* 50(2):145-152.
- Ozcan M, Haciseferogulları H, Marakoglu T and Arslan D, 2005. Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering* 69:409-413.
- Pittler M, Schmidt K and Ernst E, 2003. Hawthorn extract for treating chronic heart failure: Meta-analysis of randomized trials. *The American Journal of Medicine* 114:665–674.
- Pourdarbani R, Ghassemzadeh H, Seyedarabi H, Nahandi F, and Moghaddam Vahed M, 2015. Study on an automatic sorting system for Date fruits. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14(1):83-90.
- Razavi F, Roghayeh M, Rabiei V, Soleimani Aghdam M and Soleimani A, 2018. Glycine betaine treatment attenuates chilling injury and maintains nutritional quality of hawthorn fruit during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae* 233:188-194.
- Sabzi S, Abbaspour-Gilandeh Y and García-Mateos G, 2018. A new approach for visual identification of orange varieties using neural networks and metaheuristic algorithms. *Information Processing in Agriculture* 5(1): 162-172.
- Sofu M, Erb O, Kayacan M and Cetisli B, 2016. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 395-405.
- Vesquez-Caicedo A, Sruamsiri P, Carle R and Neidhart S, 2005. Accumulation of all-trans-beta-carotene and its 9-cis and 13-cis stereoisomers during postharvest ripening of nine Thai mango cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(12):4827-4835.
- Vélez-Rivera N, Blasco J, Chanona-Pérez J, Calderón-Domínguez G, Perea-Flores M, Arzate-Vázquez I and Farrera-Rebollo R, 2014. Computer Vision System Applied to Classification of “Manila” Mangoes During Ripening Process. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4):1183–1194.
- Wan P, Toudeshki A, Tana H and Ehsani R, 2018. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 146:43-50.
- Zhang Z, Ho W, Huang Y and Chen Z, 2002. Hypocholesterolemic activity of hawthorn fruit is mediated by regulation of cholesterol-7 α hydroxylase and acylCoA: Cholesterol acyltransferase. *Food Research International* 35:885–891.
- Zhua R, Li T, Dong Y, Liu Y, Li S, Chen G and Jia Y, 2013. Pectin pentasaccharide from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bunge. Var. major) ameliorates disorders of cholesterol metabolism in high-fat diet fed mice. *Food Research International* 262-268.

Development of quality grading system based on image processing for hawthorn classification during various storage condition (cold, refrigerator and room)

M Zandi^{1*}, A Ganjloo² and M Bimakr²

Received: September 14, 2019

Accepted: December 24, 2019

¹Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

*Corresponding author: Email: zandi@znu.ac.ir

Introduction: The crucial sensory characteristic of fruits is appearance that impacts their market value, the consumer's preference and choice (Afsharnia et al., 2017). The task of fruit grading is vital in the packaging industry because there is a great demand for high quality fruits in the market (Liming and Yanchao 2010). Optical sensors have been used for grading, sorting, and fruit quality detection of different crops (Mohammadi et al., 2015). Today, in various agricultural commodity grading systems, computer vision has become an alternative to visual inspection being objective, consistent, rapid, and economical (Chai et al., 2014). Color is the major attribute to assess quality of agricultural products more than any other single factor (Moallem et al., 2017). It represents the degree of maturity, sugar content, acidity, and taste. For instance, in fresh fruit market such as apples and peaches, darker red color represents higher quality fruit than does light red (Cardenas-Perez et al., 2017). Computer vision is a non-destructive method that can be used for inspection and has found to be applicable in both the food industry and precision agriculture, including the inspection and grading of fruits and vegetables (Wan et al., 2018). This paper proposes an automatic and effective hawthorn fruit grading system based on computer vision-based algorithm. Blasco et al. (2008) developed a computer vision-based machine for detecting and removing unwanted material and sorting the pomegranate arils by color. Liming and Yanchao (2009) developed an automated strawberry grading system using image processing technique and graded the strawberry adopting one or two or three indices among shape, color and size. Okamoto and Lee (2009) developed an image processing method to detect green citrus fruit in individual trees to apply for crop yield estimation at a much earlier stage of growth (Mohammadi et al., 2015).

Material and methods: Grading of hawthorn fruits into three quality grades (A, B and C) was conducted by image analysis technique. Physicochemical and geometrical properties of fruits were determined to compare the results of image analysis and visual classification. Color quality parameters (L^* , a^* , b^* , c^* , h^* , ΔE) geometrical parameters, weight loss, firmness, total soluble solid (TSS), pH, treatable acidity (TA) and ripening index (RPI) were the measured factors. TSS content was directly measured from the obtained juice using a refractometer. From the same juice the titratable acidity (TA) was determined. The hawthorn firmness was measured by means of a penetration test using a Texturometer Analyzer. In this study, a machine vision algorithm was developed to capture the images of the hawthorn samples, and then it extracted the feature color value to classify quality grade of the hawthorn fruits. For this work RGB images were captured with a resolution of 1936×1288 pixels and stored on the computer in TIFF format. Different color spaces have been compared in previous works in which it was concluded that the CIELab space is the most appropriate for the measurement of fruit color. From each image, squares from the equatorial area of the fruit were cropped, trying to obtain the greatest possible area but avoiding areas with excessively

bright pixels. For the calibration process and image analysis, conversions were performed by using the color space converter plugin for the public domain image processing application ImageJ software. Next, the values of chroma (C^*) and hue angle (h^*) were also calculated. Principal component analysis (PCA) was used to analyze the dataset obtained from the study of the hawthorn storage. The first set of 200 hawthorns was arranged in a matrix of 14 variables (TSS , TA , F , WL , φ , D_g , MDL , RPI , L^* , a^* , b^* , ΔE , C^* and h^*) $\times 200$ averaged measurements. This matrix was used to calculate the Pearson correlation matrix, variable contributions, factorial loadings, eigenvalues, and percentage of variance of the principal components related to the original variables. Later, a second model was built including only the color variables and was used to classify the hawthorns into quality grade.

Results and discussion: Principal component analysis was used to evaluate the correlation between variables. A first correlation was performed between physicochemical and color parameters and variables correlated correctly between each other except for L^* , but both described the samples variability with 94.2% reliability. Using only color parameters, the samples were described accurately with 97.4% reliability. Two classifiers based on linear (LDA) and quadratic discriminant analysis (QDA) were used to assess the applicability of vision system. Color parameters obtained by means of CVS under laboratory conditions provided an adequate classification of the quality grade of hawthorn fruits and showed a good correlation with the flesh physicochemical parameters measured. LDA and QDA were capable of classifying hawthorn in their correct quality grade with 99% and 99.5% accuracy, respectively.

Conclusion: The current study used image analysis technique to classify hawthorn fruits into three commercially quality grade (A, B and C). The written algorithm captured an image, eliminated the noises, obtained binary image, removed the noise, and ultimately extracted the color features. This demonstrates that it is possible to create a reliable and objective method for the non-destructive evaluation of quality grade. The selection of variables performed using PCA and the classification model built by means of LDA and QDA allowed adequate classification of the hawthorn according to quality grade using only L^* , a^* , b^* , ΔE , C^* and h^* . Thus, it was concluded that external color features of hawthorn fruits can be potentially used to classify the fruits with a proper probability.

Keywords: Hawthorn; Image processing; Color characterize; Physicochemical properties; Quality grading