



## مقاله پژوهشی

## کاربرد سیستم بینایی ماشین (CVS)

## در طبقه‌بندی ازگیل طی دوران رسیدگی در سردخانه

محسن زندی<sup>۱\*</sup>، علی گنجلو<sup>۲</sup> و ماندانا بی‌مکر<sup>۲</sup>

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۲، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۷/۱، تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۷)

## چکیده

امروزه سیستم بینایی ماشین<sup>۱</sup> (CVS) جایگزین مناسبی برای بازرسی بصری است که در سیستم‌های مختلف درجه‌بندی محصولات کشاورزی و صنایع غذایی به عنوان روشی سازگار، سریع و اقتصادی شناخته شده است. یکی از کاربردهای خاص این سیستم، تخمین زمان رسیدن یا بررسی درجه رسیدگی محصول، برای بهبود شرایط نگهداری و یا رساندن محصولی باکیفیت بالاتر به دست مصرف‌کننده است. زمان نگهداری کوتاه میوه ازگیل<sup>۲</sup> و حساسیت زیاد این میوه، به علت ازدست‌دادن آب و قهوه‌ای شدن، از محدودیت‌های اصلی قابلیت بازار آن است؛ لذا هدف از انجام پژوهش حاضر، ایجاد روشی ساده و کم هزینه در مقیاس آزمایشگاهی است تا به عنوان یک رویکرد اولیه، جهت تعیین مرحله رسیدگی میوه، از CVS استفاده شود. در این پژوهش، ارتباط بین خصوصیات رنگی که با کمک CVS اندازه‌گیری شده‌اند، با شاخص رسیدگی<sup>۳</sup> (RPI) به دست آمد؛ میوه‌های ازگیل با کمک RPI به سه گروه: ازگیل تازه<sup>۴</sup> (FM)، ازگیل کامل‌رسیده<sup>۵</sup> (RM) و ازگیل بیش‌ازحد رسیده<sup>۶</sup> (ORM) طبقه‌بندی شدند. در ادامه به منظور ارزیابی CVS، فرآیند طبقه‌بندی با استفاده از دو سیستم طبقه‌بندی انجام شد: تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۷</sup> (PCA) و تجزیه و تحلیل چندمتغیره<sup>۸</sup> (MDA). بر اساس نتایج، وجود همبستگی بالا (بالاتر از ۰/۹ در بسیاری از خصوصیات)، بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با خصیصه‌های رنگی تأیید شد. اولین و دومین تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PC)، با و بدون حضور خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، به ترتیب با قابلیت اطمینان ۹۲/۱۱ درصد و ۹۵/۳۱ درصد به دست آمد. MDA نرخ طبقه‌بندی ۹۶/۰۸ درصد را تنها با استفاده از خصیصه‌های رنگی فراهم آورد. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از CVS، به عنوان یک روش غیرمخرب، برای ارزیابی میزان رسیدگی ازگیل براساس خصیصه‌های رنگی، بسیار مناسب، سریع و کارآمد است.

کلیدواژه‌ها: ازگیل، درجه‌بندی کیفی، تجزیه و تحلیل چندمتغیره، پردازش تصویر

\* نویسنده مسئول: zandi@znu.ac.ir

1. Computer Vision System (CVS)
2. *Mespilus germanica*
3. Ripening index (RPI)
4. Fresh Medlar (FM)
5. Ripe Medlar (RM)
6. Overripe Medlar (ORM)
7. Principal Component Analysis (PCA)
8. Multivariate Discriminant Analysis (MDA)

## ۱. مقدمه

موفقیت CVS در انجام درجه‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها، از سوی محققان زیادی گزارش شده است؛ از جمله: ایجاد روشی جدید برای شناسایی بصری انواع مختلف نارنگی، با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم‌های فراشناختی [۷]؛ ارزیابی تشخیص مرحله رسیدگی گوجه‌فرنگی تازه، با کمک CVS [۸]؛ بررسی تأثیر نحوه برداشت توت سیاه و ارزیابی مرحله رسیدگی و تأثیر دوران نگهداری، با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال [۹]؛ ارزیابی مراحل رسیدگی سیب گلدن دلشیز [۱۰، ۱۱]؛ طبقه‌بندی انبه بر اساس ظاهر و شکل میوه [۱۲]؛ ارزیابی محصولات باغی [۱۳]؛ طراحی سیستم درجه‌بندی سیب با استفاده از CVS [۱۴]؛ ایجاد سیستم درجه‌بندی میوه بر مبنای CVS برای ارزیابی گوجه‌فرنگی در صنایع کشاورزی [۱۵]؛ مطالعه سیستم اتوماتیک درجه‌بندی برای میوه خرما [۶]؛ استفاده از CVS برای درجه‌بندی انجیر خشک [۱۷]؛ تشخیص رسیدگی میوه خرما بر اساس تکنیک پردازش تصویر [۵]؛ طبقه‌بندی میوه‌های خرما با استفاده از خصیصه‌های بافت و خصیصه‌های شکلی [۱۸]؛ توسعه سیستم درجه‌بندی بر اساس CVS برای میوه تازه پالم [۱۹] و ایجاد سیستم درجه‌بندی توت‌فرنگی بر اساس پردازش تصویر [۲۰].

میوه‌ها به‌علت برخورداری از بالاترین مقدار مواد مغذی و ترکیبات طبیعی و نقش تغذیه‌ای مهم در سلامت مصرف کننده، دارای بازار مصرف جهانی فراوانی هستند [۷]؛ از این رو باید دارای استاندارد معینی باشند تا بتوانند در این بازارها با قیمت‌های بالاتری عرضه شوند [۱۴]. کیفیت میوه، تابع خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن است و از آنجا که این خصوصیات، خود وابسته به تغییرات زمانی و مکانی هستند، بررسی و کنترل کیفیت میوه را بسیار پیچیده می‌کند [۲۱]. [۲۲]

مسیپلوس ژرمانیکا یا همان ازگیل، میوه درختی با ارتفاع بین ۳ m تا ۶ m که گل و برگ‌هایی شبیه به سیب دارد و از تیره گل‌سرخیان<sup>۱</sup> است [۱۶، ۲۳]. این میوه با شکلی نیمه کروی و قطری بین ۲ cm تا ۳ cm (در ارقام وحشی)، دارای رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز و وزنی بین ۸۰-۱۰۰ g است. میوه

بررسی تصاویر توسط مغز انسان، اساسی‌ترین و اصلی‌ترین روش طبقه‌بندی فیزیکی مواد غذایی و محصولات کشاورزی است. رنگ و شکل، مهم‌ترین صفاتی هستند که در ارزیابی کیفی می‌توان آن‌ها را با روش‌های بصری، دستگاه‌ها یا ماشین‌ها اندازه‌گیری کرد. روش‌های چشمی (اپتیکی)، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی، در توسعه آزمون‌های غیرمخرب نقش اساسی داشته‌اند؛ اما در عین حال می‌توانند خصیصه‌های محدودی را در محصولات باغی، به‌ویژه در میوه‌ها، بررسی کنند [۱]. هرچند که استفاده از محققان آموزش‌دیده، برای بازرسی و طبقه‌بندی محصولات، از طریق دیدن و احساس کردن مرسوم است؛ با این حال طبقه‌بندی، جداسازی و فرآیندهای تشخیصی بصری محصولات غذایی توسط انسان، عمدتاً روشی مشکل، تقریبی و پرهزینه است و به‌راحتی تحت تأثیر عوامل فیزیکی، نظیر ارزیابی متناقض و نتایج ذهنی قرار می‌گیرد [۲]. امروزه استفاده از سیستم‌های تشخیصی، جداسازی و طبقه‌بندی بر مبنای رایانه که قصد تقلید از تصمیم‌گیری‌های انسان را دارد، تحت عنوان CVS شناخته می‌شود و مطالعات فراوانی بر روی این روش بسیار مناسب، سریع، غیرمخرب، مطمئن و قدرتمند صورت گرفته و یا در حال انجام است [۳، ۴].

CVS شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که در آن، بینایی انسان شبیه‌سازی شده و پایه و اساس آن نیز مبتنی بر پردازش تصویر است. استفاده از CVS، علاوه بر مزایای دستگاه‌های رنگ‌سنجی مرسوم، به‌دلیل بررسی نقطه‌ای که شامل گروه کوچکی از پیکسل‌ها است، جهت بررسی جزئیات و تشخیص عیوب نیز مناسب است و امکان بررسی کلی سطح ماده غذایی را، به‌منظور ارزیابی یکنواختی محصول، فراهم می‌آورد. از دیگر مزایای این روش، می‌توان به پردازش هم‌زمان، جهت کنترل فرایندها اشاره کرد. CVS بر مبنای طبقه‌بندی کیفی (مانند رنگ، شکل، درجه رسیدگی و غیره)، به‌عنوان تکنولوژی در حال توسعه، کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی، خصوصاً در زمینه کنترل کیفیت و طبقه‌بندی محصولات دارند [۵، ۶].

برداشت شد. پس از حذف میوه‌های لکه‌دار، آفت‌زده، ضربه دیده، با عیوب ظاهری و یا اشکال نامنظم، میوه‌های رسیده (بریکس نزدیک به ۸)، با شکل، اندازه، رنگ و وزن (g ۵۰-۴۰) اولیه یکسان انتخاب شدند. سپس ازگیل‌های چیده شده در سبدهای پلاستیکی به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۳۷ cm، ۲۶ cm و ۹ cm، وارد سردخانه‌ای صنعتی شدند تا با دمای  $10^{\circ}\text{C}$  - ۸ و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگهداری شوند [۳۱]. به منظور یکنواختی شرایط نگهداری، به کمک حسگرها، کنترل دمایی و رطوبتی مداوم نیز انجام شد. در مجموع ۱۲۵ عدد ازگیل، جهت انجام آزمون‌ها و مطالعات لازم، به مدت سی روز در شرایط مذکور نگهداری شدند و هر پنج روز یکبار، نمونه‌برداری جهت انجام آزمون‌هایی با حداقل در ۵ تکرار صورت گرفت.

## ۲.۲. CVS و تجزیه و تحلیل تصاویر

CVS برای بررسی تغییرات ازگیل، طی نگهداری و رسیدگی در سردخانه، طراحی شد (شکل ۱). این سیستم قابلیت تصویربرداری، پردازش و نهایتاً تجزیه و تحلیل تصاویر ورودی را دارد.

## ۲.۳. تصویربرداری

تصویربرداری مرحله مهمی است که در تهیه تصاویر باکیفیت و در نتیجه توسعه سیستم اتوماتیکی، جهت تشخیص مرحله رسیدگی میوه‌ها و سبزی‌ها نقش بسزایی دارد [۵]. تصویربرداری در CVS طراحی شده، در محفظه‌ای مجهز به ۸ نوار LED در دیواره‌های جانبی، دو لامپ LED در بالا، با زاویه  $45^{\circ}$  و دو صفحه LED در کف و سقف، با قابلیت کنترل از راه دور، برای به حداقل رساندن مقدار نویز، انجام شد؛ تمامی لامپ‌های LED ساخت شرکت پارس شعاع توس، ایران بودند. این سیستم مجهز به دوربین کانن مدل ۷۰D، ژاپن و لنزی با زوم بین ۱۸-۵۵ mm به رایانه متصل است. این دوربین در قسمت بالای محفظه و با فاصله‌ای حدود ۵۰ cm از نمونه قرار داده شد و تصاویر رنگی (RGB) خام با وضوح  $1288 \times 1936$ ، با فرمت TIFF و پس‌زمینه سفید بعد از آماده‌سازی در رایانه ذخیره شدند.

نارس آن بسیار سخت و اسیدی است و طعم نوع رسیده آن، بسیار شیرین و مشابه سیب یا به خشک‌شده است [۲۴، ۲۵]. پراکنش جغرافیایی ازگیل در ایران، بیشتر در استان گلستان، مازندران و گیلان است؛ البته در آذربایجان شرقی و غربی و تهران نیز یافت می‌شود [۲۶]. این میوه برای درمان بیماری‌های سنگ کلیه و مثانه [۲۷]، عفونت‌های روده و تقویت اعصاب بسیار مؤثر است [۲۶، ۲۸]. ازگیل در اکثر کشورهای اروپایی و آسیایی کشت می‌شود و به صورت تازه‌خوری و یا تولید ژل، سس، سرکه، ترشی، ازگیل پخته شده، میوه خشک و نوشیدنی‌های الکلی نیز کاربرد دارد [۲۹، ۳۰].

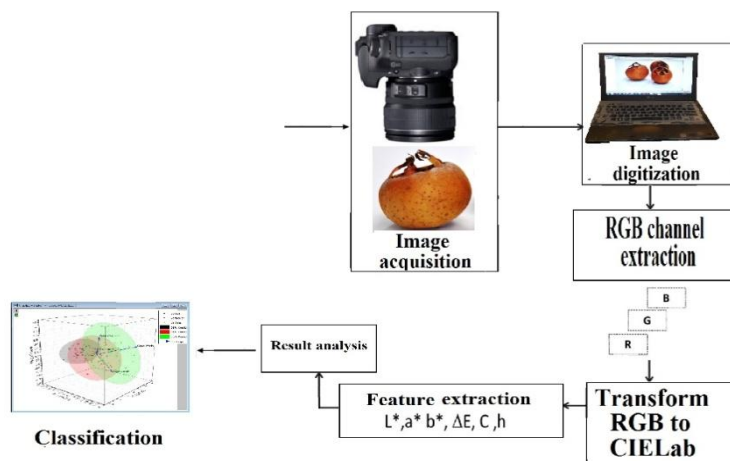
این میوه در ایران بیشتر به صورت تازه‌خوری مصرف می‌شود و زمان برداشت آن نیز اواخر پاییز و اوایل زمستان است. ازگیل پس از برداشت، نسبت به تجزیه، آسیب مکانیکی، افت رطوبت و مواد مغذی حساس است، بنابراین بازارپسندی آن نیز وابسته به زمان برداشت، نحوه نگهداری و نوع بازار مصرف است. قهوه‌ای شدن بیش از حد آن، به دلیل فعالیت بالای آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و فساد میکروبی به سبب محتوای قند و اسید بالا، از عمده مشکلات کیفی این میوه است که سبب کاهش کیفیت تازه‌خوری آن می‌شود [۲۵].

هدف از پژوهش حاضر، مطالعه خصیصه‌های رنگی ازگیل به منظور ایجاد یک سیستم درجه‌بندی طی دوران رسیدگی در سردخانه، با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل تصویر است. از این رو یک روش تحلیل رنگی، برای محاسبه خصیصه‌های رنگی ازگیل طی دوران رسیدگی ارائه می‌شود و سپس این میوه با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بندی PCA و بر اساس خصیصه‌های رنگی تفکیک می‌شود. درحقیقت ایجاد یک CVS با الگوریتم اختصاصی جهت تشخیص و تفکیک تغییرات فیزیکی و شیمیایی که در قالب تغییرات رنگی دیده می‌شود، نوآوری این پژوهش به‌شمار می‌رود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. برداشت، نمونه‌برداری و نگهداری ازگیل

ازگیل پس از تأیید واریته توسط متخصص باغبانی، در مراحل ابتدایی رسیدگی، از باغ ازگیل واقع در استان گیلان



شکل (۱) چارچوب CVS طراحی شده و روش تجزیه و تحلیل تصاویر

Fig (1) Overall of designed CVS and image analysis method.

#### ۲.۴. پردازش تصاویر

پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ImageJ، نسخه ۱/۵۲، مؤسسه ملی بهداشت، ایالات متحده آمریکا و با کمک پلاگین‌های آن انجام شد. دو فضای مختلف رنگی CIELab و RGB برای استخراج خصیصه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا از هر تصویر مربعی از سطح میوه تقطیع شد؛ برای انتخاب محل تقطیع تصویر، از انتخاب پیکسل‌های بیش از حد روشن یا بیش از حد تیره، اجتناب شد. در مرحله استخراج خصیصه در محیط RGB، ابتدا کانال‌های R، G و B استخراج شد و سپس با اعمال فیلتر نویزهای موجود در کانال B حذف و تصاویر دودویی، با استفاده از مقدار آستانه ۰/۳، برای کانال B به دست آمد. پس از معکوس کردن تصویر دودویی، اجرام کوچک‌تر از ۴۰ پیکسل با عملیات فرسایش<sup>۱</sup> حذف شدند. تصاویر دودویی به دست آمده، در کانال‌های R، G و B ضرب شد و با ترکیب آن‌ها پس‌زمینه تصاویر اصلی حذف شد. مانند کانال B، تصویر دودویی با استفاده از مقدار آستانه (۰/۳)، از کانال R به دست آمد؛ ترکیب کانال‌های به دست آمده، به عنوان تصویر نهایی ارائه شد. مختصات CIELab عبارت‌اند از:  $L^*$  (روشنایی)،  $a^*$  (از سبز به قرمز) و  $b^*$  (از آبی به زرد). علت انتخاب این فضای رنگی، کاربرد

گسترده‌تر آن در مطالعات رسیدگی و کیفیت میوه‌ها است [۱۰]. برای تبدیل تصاویر RGB، به مختصات CIELab از پلاگین مبدل فضای رنگی نرم‌افزار ImageJ استفاده شد.

#### ۲.۵. تحلیل تصاویر و استخراج خصیصه

خصیصه‌های  $R'$  (نسبی)،  $G'$  (نسبی) و  $B'$  (نسبی) متغیرهای اضافی با استفاده از سه خصیصه اصلی R، G و B، از طریق فرمول‌های زیر به دست آمد [۵]:

$$R' = R / (R + G + B) \quad \text{معادله (۱)}$$

$$G' = G / (R + G + B) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$B' = B / (R + G + B) \quad \text{معادله (۳)}$$

مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  با استفاده از ابزار هیستوگرام فراوانی در ImageJ به دست آمد و مقدار میانگین، به عنوان یک خصیصه رنگی، مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس مقادیر خلوص رنگ یا کروما<sup>۲</sup> ( $C^*$ ) و زاویه رنگ<sup>۳</sup> ( $h^*$ ) محاسبه شد [۱۰]:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$h^* = \arctan(b^* / a^*) \quad \text{معادله (۵)}$$

محاسبه تغییرات رنگی ( $\Delta E$ )، با استفاده از معادله ۶ انجام شد [۳۲]:

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{0.5} \quad \text{معادله (۶)}$$

1. Chroma  
2. Hue angle

1. Erosion

همبستگی پیرسون، سهم متغیرها، مقادیر ویژه<sup>۲</sup>، بارهای عاملی<sup>۳</sup> و درصد واریانس اجزای اصلی به کار رفت. PCA دیگری نیز تنها برای متغیرهای رنگی  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $\Delta E$ ،  $C^*$  و  $h^*$  استفاده شد. سپس داده‌های به دست آمده در مطالعه رنگ و PCA، برای تعیین درجه رسیدگی، به منظور طبقه‌بندی ازگیل طی دوران رسیدگی در سردخانه، با استفاده از تجزیه و تحلیل چند متغیره (MDA)، مورد استفاده قرار گرفت. برای حصول مدل با متغیرهای رنگی، اعتبارسنجی متقابل، با استفاده از تصاویر ۱۲۵ نمونه ازگیل انجام شد. در فرآیند اعتبارسنجی متقابل، به طور تصادفی، حدود ۸۳ نمونه (دو سوم نمونه‌ها)، برای تولید توابع تشخیصی (آموزش سیستم<sup>۴</sup>) و ۵۲ نمونه (یک سوم نمونه‌ها) برای اعتبارسنجی استفاده شد. این فرآیند ۲۵ مرتبه تکرار شد که در آن، هربار دو سوم نمونه‌ها، جهت آموزش و یک سوم برای اعتبارسنجی به کار رفت.

برای درجه‌بندی ازگیل‌ها براساس درجه رسیدگی و زمان انبارکردن، MDA انجام شد ( $\alpha=0/05$ )؛ بنابراین این مرحله به‌عنوان آخرین مرحله انتساب یک طبقه یا درجه براساس رسیدگی نمونه، میزان موفقیت سیستم تحلیلی را بیان می‌کند.

### ۲.۸. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴، آمریکا)، برای مقایسه تیمارها به کار رفت؛ آزمون تعقیبی دانکن نیز برای مشخص کردن تفاوت معنادار بین تیمارها انجام شد ( $P < 0/05$ ).

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. نتایج ارزیابی‌های فیزیکی و شیمیایی و رنگی

در این پژوهش، تعداد ۱۲۵ میوه ازگیل، با زمان نگهداری متفاوت (طی دوره نگهداری یا همان دوره رسیدگی)، از نظر خصوصیات رنگی و فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار

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

#### ۲.۶. آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

به منظور بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با خصوصیات رنگی و اعتبارسنجی روش جداسازی و طبقه‌بندی بر اساس پردازش تصویر، با کمک PCA، این خصوصیه‌ها شامل افت وزن (W)، سفتی بافت (F)، میزان مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل‌تیترا (TA)، pH و درنهایت RPI اندازه‌گیری شد؛ W با اندازه‌گیری کاهش وزن میوه (بازه‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روزه)، نسبت به وزن اولیه آن و تقسیم آن بر وزن اولیه به دست آمد (ترازو AND با دقت ۰/۰۱ g، مدل HL-I، ژاپن) [۳۱].

F به صورت حداکثر نیروی مورد نیاز (N) با استفاده از دستگاه تست بافت (کوپا، ایران)، از طریق آزمون نفوذ با کمک پلانجر ۳ mm، با سرعت نفوذ و حداکثر عمق نفوذ به ترتیب برابر ۰/۵ mm/s و ۷ mm اندازه‌گیری شد. برای تعیین خصوصیات شیمیایی، ابتدا ازگیل‌ها آبگیری و صاف شد و TSS توسط رفاکتومتر دستی (مدل H50، شرکت آتاگو، ژاپن)، pH با استفاده از پی‌اچ‌متر (مدل HI2211، شرکت هانا، ایتالیا) و TA با روش AOAC [۳۳] محاسبه شد. بعد از تعیین خصوصیات اصلی فیزیکی و شیمیایی، خصوصیتی تحت عنوان شاخص رسیدگی (RPI) تعریف شد؛ این خصوصیه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با درک حس رسیدگی ارتباط برقرار می‌کند.

$$\text{معادله (۷)} \quad \text{RPI} = \ln(100 \times |F| \times (\text{TA} / \text{TSS}))$$

#### ۲.۷. طبقه‌بندی و اعتبارسنجی

از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای آنالیز مجموعه تصاویر و داده‌های حاصل از مطالعه تغییرات رسیدگی، طی فرایند نگهداری و رسیدن ازگیل استفاده شد. ابتدا ۱۲۵ نمونه ازگیل در یک ماتریس از ۱۱ متغیر (TSS، TA، F، W،  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، RPI،  $\Delta E$ ،  $C^*$  و  $h^*$ ) در ۸۰ متوسط اندازه‌گیری مرتب شدند. این ماتریس، برای محاسبه ماتریس

1. Variable contribution
2. Eigen values
3. Factor loading
4. Training

گرفتند. میانگین این ارزیابی‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. از این داده‌ها، به منظور طبقه‌بندی ابتدایی از گیل در سه کلاس FM، RM و ORM استفاده شد؛ این نوع

جدول (۱) خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی و رنگی از گیل، طی دوره نگهداری در سردخانه

Table (1) Physicochemical and color properties of medlar during cold storage.

زمان نگهداری (روز)							خصیصه Parameter
Storage time (day)							
۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	
۱۹ ± ۱/۰g	۱۶/۹ ± ۰/۹f	۱۴/۶ ± ۱/۲e	۱۱/۶ ± ۱/۳d	۶/۷ ± ۱/۱c	۳/۳ ± ۰/۹b	۰ ± ۱/۰a	W
۳/۳ ± ۰/۶d	۴/۳ ± ۰/۳c	۴/۵ ± ۰/۴c	۴/۳ ± ۱/۰c	۴/۷ ± ۰/۵c	۷/۶ ± ۰/۵b	۹/۴ ± ۰/۶a	F
۱۱/۴ ± ۰/۹d	۱۱/۲ ± ۰/۸d	۱۱/۱ ± ۰/۸d	۱۰/۹ ± ۰/۴d	۱۰/۲ ± ۰/۷c	۸/۹ ± ۰/۳b	۷/۹ ± ۰/۶a	TSS
۱/۹ ± ۰/۳f	۲/۵ ± ۰/۲e	۲/۷ ± ۰/۳de	۳/۳ ± ۰/۶d	۴/۸ ± ۰/۵c	۶/۹ ± ۰/۲b	۸/۷ ± ۰/۳a	TA
۴/۷ ± ۰/۱c	۴/۷ ± ۰/۳c	۴/۶ ± ۰/۱c	۴/۵ ± ۰/۱bc	۳/۴ ± ۰/۱b	۴/۰ ± ۰/۲ab	۳/۸ ± ۰/۱a	Ph
۴/۰ ± ۰/۱e	۴/۶ ± ۰/۲d	۴/۷ ± ۰/۳d	۴/۹ ± ۰/۱d	۵/۴ ± ۰/۲c	۶/۴ ± ۰/۲b	۶/۹ ± ۰/۳a	RPI
۴۵/۳ ± ۱/۲e	۴۶/۹ ± ۰/۹e	۵۲/۱ ± ۱/۳d	۵۶/۲ ± ۱/۰c	۶۶/۲ ± ۱/۱a	۶۶/۷ ± ۱/۳b	۵۹/۴ ± ۱/۲a	L*
۳۷/۱ ± ۰/۴g	۳۵/۸ ± ۰/۶f	۳۳/۷ ± ۰/۳e	۲۷/۷ ± ۰/۸d	۲۲/۷ ± ۰/۷c	۱۳/۲ ± ۰/۸b	۱۱/۳ ± ۰/۹a	a*
۲۴/۱ ± ۱/۳b	۲۶/۹ ± ۰/۹b	۳۲/۴ ± ۱/۰d	۲۹/۳ ± ۱/۲c	۲۶/۸ ± ۱/۱b	۲۰/۱ ± ۱/۲a	۱۹/۳ ± ۱/۲a	b*
۳۳/۰ ± ۰/۷g	۳۷/۰ ± ۰/۵f	۴۳/۹ ± ۰/۴e	۴۶/۷ ± ۰/۵d	۴۹/۸ ± ۰/۳c	۵۶/۸ ± ۰/۹b	۵۹/۶ ± ۰/۴a	h*
۴۴/۲ ± ۱/۱d	۴۴/۸ ± ۰/۸d	۴۶/۷ ± ۱/۰e	۴۰/۳ ± ۱/۲c	۳۵/۰ ± ۰/۶b	۲۴/۰ ± ۱/۳a	۲۲/۴ ± ۱/۰a	C*
۶۳/۳ ± ۰/۴c	۶۴/۹ ± ۰/۳c	۷۰/۰ ± ۰/۸b	۶۹/۲ ± ۰/۳b	۶۹/۶ ± ۰/۴b	۷۰/۹ ± ۰/۸b	۶۳/۵ ± ۰/۵a	ΔE

اعداد با حروف انگلیسی متفاوت، دارای تفاوت معنادار در سطح  $\alpha = 0/05$  هستند.

W با TSS و  $L^*$  و نیز  $L^*$  با TSS، F، RPI،  $a^*$  و  $h^*$  بین باقی خصیصه‌ها نیز ارتباط معناداری وجود دارد ( $P < 0/05$ ). به طور کلی TSS، TA، F و RPI همبستگی بالاتری را با خصیصه‌های رنگی شامل  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $\Delta E$ ،  $C^*$  و  $h^*$  نشان دادند که می‌تواند به سبب ارتباط قوی تغییرات رنگی و فعالیت‌های بیوشیمیایی در میوه باشد؛ نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شد [۱۰، ۳۴، ۳۵]. پس از انجام PCA و محاسبه مقادیر ویژه همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ۷۶/۲۴ درصد از تغییرات، در اولین مؤلفه اصلی ( $PC1$ ) و ۱۵/۸۷ درصد تغییرات، در دومین مؤلفه اصلی ( $PC2$ ) و در مجموع ۹۲/۱۱ درصد تغییرات تعیین شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم، مربوط به خصیصه‌های  $L^*$  و W است که نشان از سهم پایین این خصیصه‌ها در طبقه‌بندی است.

## ۳.۲. تجزیه و تحلیل چندمتغیره

برای طبقه‌بندی با CVS توزیع یکنواختی از تصاویر از گیل با میزان رسیدگی مختلف، برای فرآیند درجه‌بندی استفاده شد. این انتخاب و طبقه‌بندی، ابتدا با کمک آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی و رنگی صورت گرفت. همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، با توجه به نتایج حاصله و با استفاده از خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی و ارزیابی رنگ از گیل، سه مرحله رسیدگی در نظر گرفته شد.

تحلیل پیرسون و ارزیابی همبستگی خصیصه‌های TSS، TA، F، W،  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، RPI،  $\Delta E$ ،  $C^*$  و  $h^*$  نشان‌دهنده همبستگی بالای اکثر این خصیصه‌ها ( $P < 0/05$ ) است (جدول ۲). بر اساس نتایج این جدول، همبستگی بالایی بین تغییرات رسیدگی با تغییرات رنگ میوه از گیل وجود دارد. همچنین از این جدول می‌توان پی برد که علاوه بر رابطه بین

جدول (۲) ماتریس همبستگی پیرسون برای متغیرهای فیزیکی و شیمیایی و رنگی ازگیل، طی نگه‌داری و رسیدگی آن‌ها (اعداد تک‌ستاره یعنی معنادار در سطح  $P < 0.05$ ، اعداد دوستاره‌ای یعنی معناداری در سطح  $P < 0.01$  و اعدادی با ns، یعنی غیرمعناداری)

Table (2) Pearson correlation matrix for physicochemical and color variables of mangoes during storage and their ripening (values with one asterisk (\*) indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), values with two asterisk (\*\*) indicate significant differences ( $P < 0.01$ ), values with ns indicate no statistically significant difference).

C*	h*	ΔE	b*	a*	L*	W	RPI	F	TA	TSS
										۱
									۱	-۰/۸۵۶**
								۱	۰/۹۰۷**	-۰/۸۳۰**
							۱	۰/۹۴۳**	۰/۹۲۷**	-۰/۹۶۷**
					۱	۰/۱۳۶ <sup>ns</sup>	-۰/۱۲۵ <sup>ns</sup>	-۰/۷۳۶**	-۰/۳۲۲*	-۰/۱۲۱ <sup>ns</sup>
			۱	-۰/۹۵ <sup>ns</sup>	-۰/۶۸۳**	-۰/۸۹۳**	-۰/۹۲۴**	-۰/۹۱۱**	-۰/۸۳۴**	۰/۱۰۷۸ <sup>ns</sup>
		۱	-۰/۸۷۳**	۰/۵۱۳**	-۰/۷۶۴**	-۰/۹۴۳**	-۰/۸۷۴**	-۰/۹۳۲**	-۰/۸۹۱**	۰/۸۹۱**
	۱	۰/۹۴۳**	۰/۶۲۱**	۰/۵۶۷**	-۰/۵۲۳**	-۰/۷۲۴**	-۰/۷۲۵**	-۰/۷۵۶**	-۰/۷۵۶**	۰/۷۵۶**
	۱	-۰/۷۴۵**	-۰/۹۱۳**	-۰/۹۵۴**	۰/۰۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۷۲۴**	۰/۹۵۷**	۰/۸۲۳**	۰/۸۹۳**	۰/۶۵۴**
۱	-۰/۶۳۸**	۰/۹۸۷**	۰/۹۶۳**	۰/۶۵۴**	۰/۷۱۶**	-۰/۴۰۵*	-۰/۶۸۵**	-۰/۸۹۴**	-۰/۸۴۶**	۰/۷۳۱**

از آنجایی که هدف از این پژوهش طبقه‌بندی ازگیل‌ها از تنهایی که هدف از این پژوهش طبقه‌بندی ازگیل‌ها تنها بر اساس خصیصه‌های رنگی می‌باشد، از این رو سایر خصیصه‌های رنگی ( $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $ΔE$ ،  $C^*$  و  $h^*$ ) انجام شد. خصیصه‌های رنگی حذف شدند و به منظور بررسی

جدول (۳) داده‌های مربوط به نتایج PCA با حضور خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی و رنگی  
Table (3) Relevant data of PCA results with physicochemical and color parameters.

بارهای عاملی Factor loading		سهم متغیر Variable contribution		متغیر Variable
PC2	PC1	PC2	PC1	
۰/۲۰۱	۰/۸۹۷	۷/۶۷۹	۹/۷۶۵	TSS
۰/۱۴۵	-۰/۹۳۵	۳/۶۵۲	۱۰/۳۳۱	TA
۰/۲۲۱	-۰/۹۱۲	۳/۱۲۹	۱۰/۲۴۳	F
۰/۲۰۱	-۰/۹۲۱	۱/۹۸۲	۱۲/۳۴۵	RPI
۰/۳۹۸	-۰/۸۱۱	۱۹/۸۷۲	۴/۲۳۲	W
۰/۹۰۴	۰/۱۳۲	۳۹/۵۴۳	۱/۳۴۱	L*
-۰/۲۹۵	۰/۸۷۹	۲/۸۶۱	۱۰/۹۸۷	a*
۰/۱۷۸	۰/۹۷۵	۶/۹۸۰	۸/۶۵۴	b*
۰/۳۲۵	۰/۸۹۳	۶/۳۱۲	۱۲/۰۳۴	ΔE
۰/۴۹۷	۰/۸۴۶	۳/۴۲۸	۸/۷۲۳	h*
۰/۳۲۹	-۰/۹۶۱	۴/۵۶۲	۱۱/۳۴۵	C*
واریانس (%) (%) Variance	واریانس (%) (%) Variance	مقدار ویژه Eigen value	مقدار ویژه Eigen value	
۱۵/۸۷	۷۶/۲۴	۱/۷۰۶	۸/۱۹۳	داده‌های PC PC Data

جدول ۴. تحلیل پیرسون و ارزیابی همبستگی بین این خصیصه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی خصیصه‌ها، به استثناء ارتباط بین خصیصه  $L^*$  با  $a^*$  و  $h^*$ ، دارای همبستگی معناداری هستند ( $P < 0.05$ ). در ادامه PCA دوم و محاسبه مقادیر ویژه انجام شد. با توجه به

جدول (۴) ماتریس همبستگی پیرسون برای خصوصیات رنگی ازگیل طی نگهداری و رسیدگی آن‌ها (اعداد تک‌ستاره یعنی معنادار در سطح  $P < 0.05$ ، اعداد دوستاره‌ای یعنی معناداری در سطح  $P < 0.01$  و اعدادی با ns، یعنی غیرمعناداری)

**Table (4)** Pearson correlation matrix for color characteristics of medlar during storage and their ripening (values with one asterisk (\*) indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), values with two asterisk (\*\*) indicate significant differences ( $P < 0.01$ ), values with ns indicate no statistically significant difference).

$C^*$	$h^*$	$\Delta E$	$b^*$	$a^*$	$L^*$
					۱
				۱	-۰/۹۵ <sup>ns</sup>
			۱	۰/۸۷۳ <sup>**</sup>	۰/۵۱۳ <sup>**</sup>
		۱	۰/۹۴۳ <sup>**</sup>	۰/۶۲۱ <sup>**</sup>	۰/۵۶۷ <sup>**</sup>
	۱	-۰/۷۴۵ <sup>**</sup>	-۰/۹۱۳ <sup>**</sup>	-۰/۹۵۴ <sup>**</sup>	۰/۰۶۷ <sup>ns</sup>
۱	-۰/۶۳۸ <sup>**</sup>	۰/۹۸۷ <sup>**</sup>	۰/۹۶۲ <sup>**</sup>	۰/۶۵۴ <sup>**</sup>	۰/۷۱۶ <sup>**</sup>

جدول (۵) داده‌های مربوط به نتایج PCA با حضور خصیصه‌های رنگی

**Table (5)** Relevant data of PCA results with color parameters.

بارهای عاملی Factor loading		سهم متغیر Variable contribution		متغیر Variable
PC2	PC1	PC2	PC1	
-۰/۹۲۱	۰/۲۸۵	۴۹/۷۹۳	۴/۸۲۱	$L^*$
۰/۴۸۷	۰/۹۰۱	۱۱/۶۹۷	۱۹/۶۴۲	$a^*$
-۰/۱۰۴	۰/۹۸۳	۹/۸۳۴	۱۵/۹۳۱	$b^*$
-۰/۱۸۶	۰/۹۷۶	۶/۴۵۲	۲۲/۳۵۷	$\Delta E$
-۰/۳۷۶	۰/۹۲۴	۱۴/۴۳۲	۱۷/۷۹۴	$h^*$
-۰/۴۹۲	-۰/۷۸۴	۷/۷۹۲	۱۹/۴۵۵	$C^*$
واریانس (%) (%)Variance	واریانس (%) (%)Variance	مقدار ویژه Eigen value	مقدار ویژه Eigen value	
۲۴/۹۱	۷۰/۴۰	۱/۵۲	۴/۲۸	داده‌های PC PC Data

PCA، می‌تواند ۹۵/۳۱ درصد از کل تغییرات را توصیف کند؛ بنابراین می‌توان از خصوصیات رنگ استخراجی از تصاویر ازگیل، جهت طبقه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. در ادامه MDA به‌عنوان سیستم طبقه‌بندی‌کننده برای تفکیک اتوماتیک میوه‌های ازگیل فقط براساس خصوصیات

۷۰/۴۰ درصد از تغییرات، در اولین مؤلفه اصلی (PC1) و ۲۴/۹۱ درصد تغییرات در دومین مؤلفه اصلی (PC2) و در مجموع ۹۵/۳۱ درصد تغییرات، توسط مدل تعیین شدند؛ که مقادیر بالاتر از ۸۰ درصد، از نظر آماری قابل اعتماد است [۲۱]؛ به‌عبارت‌دیگر مقادیر ویژه محاسبه شده در جدول



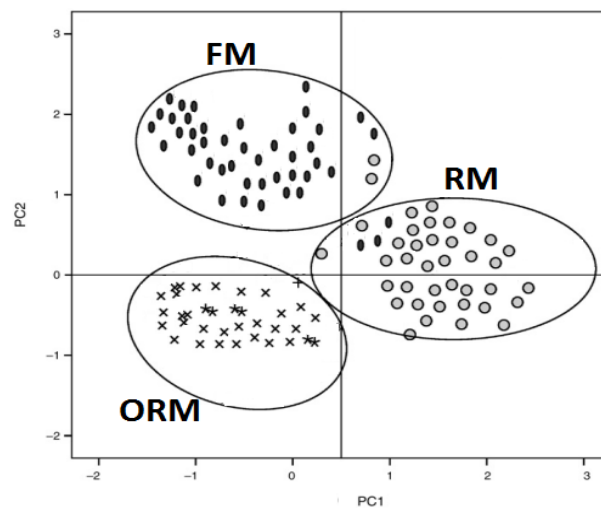
بر اساس نتایج بدست آمده، سیستم طبقه‌بندی MDA، در جداسازی میوه‌های ازگیل، از دقت بالای ۹۶/۰۸ درصد برخوردار است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که CVS به عنوان سیستمی سریع، دقیق، موثر و غیرمخرب است که می‌تواند میوه ازگیل را بر اساس زمان نگهداری و رسیدگی و تنها با خصیصه‌های رنگی، طبقه‌بندی کند.

رنگی، بکاربرده شد. براین اساس، نتایج ماتریس درهم ریختگی در جدول ۶ نشان داده شده است. در این ماتریس، اعداد موجود در قطر مورب، برای نمونه‌هایی است که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و اعداد خارج از قطر اصلی نیز نشان‌دهنده نمونه‌هایی هستند که به اشتباه، طبقه‌بندی شده‌اند. در این جدول اعداد موجود در هر ستون، نشان‌دهنده اعداد پیش‌بینی و اعداد موجود در هر ردیف، نشان‌دهنده اعداد واقعی است.

جدول (۶) ماتریس درهم‌ریختگی برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی نتایج.

Table (6) Confusion matrix for classification and results validation.

صحت (%) (%.Accuracy)		ORM	RM	FM	
۹۵/۵۵	۴۵	۰	۲	۴۳	FM
۹۲/۶۸	۴۱	۰	۳۸	۳	RM
۱۰۰	۳۹	۳۹	۰	۰	ORM
۹۶/۰۸	۱۲۵	۳۹	۴۰	۴۶	



شکل (۲) نمودار دوبعدی پراکندگی

Fig (2) Two-dimensional scatter plot.

انبه طی دوره رسیدگی [۳۵] اشاره نمود.

#### ۴. نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، به منظور طبقه‌بندی و جداسازی میوه‌های ازگیل بر اساس درجه رسیدگی مختلف در طول نگهداری در سردخانه با استفاده از CVS انجام پذیرفت. خصوصیات

کاربرد موفق MDA توسط سایر محققان نیز گزارش شده است؛ به عنوان مثال می‌توان به ارزیابی مرحله رسیدگی سیب (گلدن دلشیز)، با کمک CVS و استفاده از خصیصه‌های رنگی [۱۰]؛ تشخیص مرحله رسیدگی خرمالو طی نگهداری توسط سیستم پردازش تصویر [۵] و کاربرد CVS برای ارزیابی

اجرای صنعتی آن، جهت کنترل رسیدگی میوه‌ها در طول فرایند حمل‌ونقل و نگهداری در سردخانه باشد. این روش درحقیقت امکان و مزیتی را فراهم آورد تا با تحلیل هدفمند و با کمک یک سیستم کالیبره در ارزیابی کیفیت، طی مراحل بازرسی مشخص در صنعت، سردخانه‌ها و یا حتی در باغ‌ها مورد استفاده قرار گیرد و جایگزین بازرسی انسانی شود. امید است در آینده با انجام آزمایشات بیشتر و نیز بهینه‌سازی عملکرد الگوریتم مورد استفاده، امکان کاربرد صنعتی آن نیز فراهم شود.

### تقدیر و تشکر

این مطالعه، حاصل بخشی از طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان (مورخ ۱۳۹۸/۰۲/۳۰)، با عنوان «استفاده از سیستم بینایی ماشین (CVS) جهت طبقه‌بندی، شناسایی، بررسی تغییرات در طول نگهداری، رسیدگی و فرآوری ازگیل، زالزالک و نخود فرنگی» است. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، جهت فراهم‌آوردن امکانات این تحقیق، قدردانی می‌شود.

فیزیکی‌وشیمیایی و رنگی نمونه‌های مختلف ازگیل اندازه‌گیری شد و با محاسبه شاخص رسیدگی، ابتدا این امکان فراهم گردید تا نمونه‌های ازگیل، به سه گروه FM، RM و ORM طبقه‌بندی شوند. در ادامه با بهره‌گیری از CVS، پس از تصویربرداری، پیش‌پردازشی بر روی تصاویر صورت گرفت تا با حذف نویز، تصاویر ارتقاء یابند. در نهایت پس از جداسازی خصیصه‌های رنگی، از PCA و MDA، برای طبقه‌بندی میوه ازگیل استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که همبستگی قوی‌ای بین خصیصه‌های فیزیکی‌وشیمیایی و خصوصیات رنگی وجود دارد و بر این اساس، می‌توان تنها از خصوصیات رنگی، برای ایجاد الگوریتم جداسازی ازگیل‌ها استفاده کرد. به‌طورکلی TA، TSS، F و RPI همبستگی بالاتری با خصیصه‌های رنگی  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $\Delta E$ ،  $C^*$  و  $h^*$  نشان داد که می‌تواند به ارتباط قوی بین تغییرات رنگی و فعالیت‌های بیوشیمیایی در میوه برگردد؛ بر اساس این نتایج، استفاده از خصیصه‌های رنگی میوه‌های ازگیل، می‌تواند به طور بالقوه برای طبقه‌بندی آن‌ها، با احتمال خطای کم، مورد استفاده قرارگیرد. با فرض این‌که تحقیق حاضر در شرایط کنترل‌شده انجام شده است، ولی با این حال نتایج امیدوارکننده‌ای به همراه داشت و می‌تواند پایه‌ای برای

### منابع

- [1] Hosseinpour, S., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., & Aghbashlo, M. Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 99-114. (2013)
- [2] Bhargava, A., & Bansal, A. Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. (2018)
- [3] Jackman, P., & Sun, D.-W. Recent advances in image processing using image texture features for food quality assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 29(1), 35-43. (2013)
- [4] Nouri-Ahmadabadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S. S., & Firouz, M. S. 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. (2017)
- [5] Mohammadi, V., Kheiralipour, K., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique. *Scientia Horticulturae*, 184, 123-128. (2015)
- [6] Pourdarbani, R., Ghassemzadeh, H. R., Seyedarabi, H., Nahandi, F. Z., & Vahed, M. M. Study on an automatic sorting system for Date fruits. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 83-90. (2015)
- [7] Sabzi, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., & García-Mateos, G. A new approach for visual identification of orange varieties using neural networks and metaheuristic algorithms. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 162-172. (2018)
- [8] Wan, P., Toudeshki, A., Tan, H., & Ehsani, R. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 146, 43-50. (2018)
- [9] Afsharnia, F., Mehdizadeh, S. A., Ghaseminejad,

- M., & Heidari, M. The effect of dynamic loading on abrasion of mulberry fruit using digital image analysis. *Information Processing in Agriculture*, 4(4), 291-299. (2017)
- [10] Cárdenas-Pérez, S., Chanona-Pérez, J., Méndez-Méndez, J. V., et al. Evaluation of the ripening stages of apple (*Golden Delicious*) by means of computer vision system. *Biosystems Engineering*, 159, 46-58. (2017)
- [11] Moallem, P., Serajoddin, A., & Pourghassem, H. Computer vision-based apple grading for golden delicious apples based on surface features. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 33-40. (2017)
- [12] Momin, M., Rahman, M., Sultana, M., Igathinathane, C., Ziauddin, A., & Grift, T. E. Geometry-based mass grading of mango fruits using image processing. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 150-160. (2017)
- [13] Huang, Y., Lu, R., & Chen, K. Development of a multichannel hyperspectral imaging probe for property and quality assessment of horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 133, 88-97. (2017)
- [14] Sofu, M. M., Er, O., Kayacan, M., & Cetişli, B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 395-405. (2016)
- [15] Arakeri, M. P. Computer vision based fruit grading system for quality evaluation of tomato in agriculture industry. *Procedia Computer Science*, 79, 426-433. (2016)
- [16] Al-Amoudi, R. H., Taylan, O., Kutlu, G., et al. Characterization of chemical, molecular, thermal and rheological properties of medlar pectin extracted at optimum conditions as determined by Box-Behnken and ANFIS models. *Food Chemistry*, 271, 650-662. (2019)
- [17] Baigvand, M., Banakar, A., Minaei, S., Khodaei, J., & Behroozi-Khazaei, N. Machine vision system for grading of dried figs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 158-165. (2015)
- [18] Muhammad, G. Date fruits classification using texture descriptors and shape-size features. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 37, 361-367. (2015)
- [19] Makky, M., & Soni, P. 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. (2013)
- [20] Liming, X., & Yanchao, Z. Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71, S32-S39. (2010)
- [21] Nordey, T., Léchaudel, M., Génard, M., & Joas, J. 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. (2014)
- [22] Nunes, M. C. N., Emond, J.-P., & Brecht, J. K. Quality curves for highbush blueberries as a function of the storage temperature. *Small Fruits Review*, 3(3-4), 423-440. (2004)
- [23] Isbilir, S. S., Kabala, S. I., & Yagar, H. Assessment of in vitro Antioxidant and Antidiabetic Capacities of Medlar (*Mespilus germanica*). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 384-389. (2019)
- [24] Haciseferog˘ulları, H., Özcan, M., Sonmete, M. H., & Özbek, O. Some physical and chemical parameters of wild medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit grown in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 69(1), 1-7. (2005)
- [25] Zandi, M., Ganjloo, A., & Bimakr, M. Modelling medlar (*Mespilus germanica*) quality changes during cold storage using kinetics models and artificial neural network (In persian). *Journal of Food Science & Technology*, 16(96), 103-119. (2020)
- [26] Mamashloo, S., Sadeghi, M. A., Ghorbani, M., Alami, M., & Khomeiri, M. The evaluation of antioxidant properties and stability of phenolic compounds from medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit. (2012)
- [27] Gruz, J., Ayaz, F. A., Torun, H., & Strnad, M. Phenolic acid content and radical scavenging activity of extracts from medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit at different stages of ripening. *Food Chemistry*, 124(1), 271-277. (2011)
- [28] Salehi, F., & Kashsninejad, M. Physicochemical and Rheological Properties of Wild Medlar Concentrate (In persian). *Iranian Journal Food Science And Technology*, 13, 49-57. (2017)
- [29] Raftani Amiri, Z., & Akbari, N. Evaluation of physicochemical and microbiological properties, antioxidant activities and phenolic Compounds of medlar (*Mespilus germanica* L.) syrup (In persiam). *Food Science and Technology*, 15(75), 81-89. (2018)
- [30] Khadivi, A., Rezaei, M., Heidari, P., Safari-Khuzani, A., & Sahebi, M. Morphological and fruit characterizations of common medlar (*Mespilus germanica* L.) germplasm. *Scientia Horticulturae*, 252, 38-47. (2019)
- [31] Ashournezhad, M., & Ghasemnezhad, M. Effects of cellophane-film packaging and cold storage on the keeping quality and storage life of loquat fruit (*Eriobotrya japonica*). *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(2), 95-102. (2012)
- [32] Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J. J., de Jesús Perea-Flores, M., et al. Image processing applied to classification of avocado variety Hass

- (*Persea americana* Mill.) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1307-1313. (2011)
- [33] Helrich, K. (1990). Official methods of analysis of the AOAC International: Association of Official Analytical Chemists.
- [34] Kienzle, S., Sruamsiri, P., Carle, R., Sirisakulwat, S., Spreer, W., & Neidhart, S. Harvest maturity specification for mango fruit (*Mangifera indica* L. 'Chok Anan') in regard to long supply chains. *Postharvest Biology and Technology*, 61(1), 41-55. (2011)
- [35] Vélez-Rivera, N., Blasco, J., Chanona-Pérez, J., et al. Computer vision system applied to classification of "Manila" mangoes during ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 1183-1194. (2014)



*Research Article*

## **Computer Vision System (CVS) Applied to Classification of Medlar during ripening stage at cold storage**

**Mohsen Zandi<sup>\*1</sup>, Ali Ganjloo<sup>2</sup>, Mandana Bimakr<sup>2</sup>**

**1. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran**

**2. Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran**

### **Abstract**

Today, the computer vision system (CVS) has become an alternative to the visual inspection being objective, consistent, rapid, and economical in various agricultural and food industry commodity grading systems. A particular application of this technology is the estimation of ripening or the study of the evolution of the maturity of several produce in order to improve storage conditions or to be able to offer consumers better products. Short storage life of medlar fruit and its high susceptibility to water loss and browning are the main factors limiting its marketability. The aim of this work was to implement a straightforward and low-cost method at laboratory scale as an initial approach, in order to determine the ripening stages of *M. germanica* by means of a CVS. In the current work, color parameters obtained using a CVS were linked to establishing the ripening stages of *M. germanica*. To classify the stages, a ripening index (RPI) was proposed, in which three stages were identified; unripe, ripe and senescent. Two classifiers based on principle component analysis (PCA) and multivariate discriminant analysis (MDA) were used to assess the applicability of the vision system. The color parameters correlate correctly with the physicochemical changes which are considered the standard method to evaluate the maturity of fruits. PCA made it possible to obtain classification rates of 92.11% and 95.31% with and without physicochemical parameters, respectively. MDA was capable of classifying medlar fruits in their correct ripening stage with 96.08% accuracy. The results obtained showed that CVS developed for the study can be used as a useful non-invasive, efficient method for the evaluation of the ripeness of medlar.

**Keywords: Image processing, Medlar, Multivariate analysis, Quality classification.**

---

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