

## درجه بندی خرماي رقم زاهدي بر اساس ويژگي هاي ظاهري با استفاده از روش هاي پردازش تصوير و يادگيري ماشين

محمد رسول عفيفي<sup>۱</sup>، يعقوب منصوري<sup>۲\*</sup>، حسن ذكي ديزجي<sup>۳</sup> و غلامرضا اكبري زاده<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

| تاریخچه مقاله  | چکیده   |
|--|---|
| دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۸   | <p>خرما، یکی از محصولات باغی و استراتژیک در منطقه و ایران است. متأسفانه درآمد حاصل از صادرات این محصول پرازش، نسبت به حجم صادرات بالای آن مطلوب نیست، بخشی از این امر به کیفیت پایین آماده سازی و بسته بندی محصول مربوط می شود. به نظر می رسد استفاده از فناوری های نوین، مانند بینایی ماشین و پردازش تصویر، می تواند روند درجه بندی و جداسازی خرما را بهبود بخشد. در این پژوهش درجه بندی میوه خرماي رقم زاهدي، در سه مرحله تفکیک شده، شامل جداسازی کیفی خرما (کاملاً رسیده، نیم رس و نارس)، درجه بندی بر اساس شکل و اندازه و جداسازی خرماي سالم از چروکیده انجام شده است. پس از تهیه تصویر میوه ها، یازده ویژگی مورفولوژیکی، نه ویژگی رنگی و شش ویژگی بافتی به کمک روش های پردازش تصویر استخراج شدند. بهترین ویژگی ها برای تفکیک پذیری بهتر به کمک روش آنالیز تشخیص گام به گام تعیین شده اند. برای طبقه بندی نهایی از دو روش یادگیری ماشین، یعنی روش آماری آنالیز تشخیص و روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون استفاده شد. در نهایت، شش ویژگی رنگی، سه ویژگی اندازه و شکل و سه ویژگی بافتی، به عنوان بهترین ویژگی ها در درجه بندی انتخاب شده اند. دقت نهایی درجه بندی توسط روش آماری و شبکه عصبی به ترتیب ۹۲/۷٪ و ۹۳/۹۰٪ به دست آمد. با توجه به دقت بالای هر دو روش، می توان نتیجه گرفت که استفاده از روش پردازش تصویر در درجه بندی و جداسازی خرما با استفاده از ویژگی های ظاهری موفقیت آمیز است.</p> |
| پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵  |   |
| <p><b>کلمات کلیدی</b><br/>آنالیز تشخیص، پردازش تصویر، خرما، شبکه عصبی، ویژگی های ظاهری</p> |   |
| * عهده دار مکاتبات   |   |
| Email: y.mansoori@scu.ac.ir  |   |

### مقدمه

خرما، یکی از محصولات باغی و استراتژیک در منطقه و ایران است. از میان ارقام متنوع این محصول، رقم زاهدي، که در خوزستان نیز کشت و کار می شود، از ارزش صادراتی برخوردار است. در شش ماهه نخست سال ۱۳۹۶، خرماي زاهدي ۶۶۵۱ تن صادرات داشته است که ارزش آن به ۳ میلیون و ۴۷۳ هزار و ۱۱۲ دلار می رسد (۱۵). متأسفانه درآمد حاصل از صادرات خرما، نسبت

به حجم بالای صادرات آن مطلوب نیست. بخشی از این امر، به کیفیت پایین آماده سازی و بسته بندی محصول مربوط می شود که عمدتاً به روش دستی انجام می شود. در سال های اخیر، کاربرد بینایی ماشین در حوزه کشاورزی افزایش قابل ملاحظه ای پیدا کرده است. سامانه های بینایی مصنوعی، ابزار قدرتمندی برای واریسی خودکار میوه ها و سبزی ها هستند (۶). هدف سامانه های واریسی و تشخیص بر پایه بینایی ماشین، تحلیل

عفیفی و همکاران: درجه‌بندی خرمای رقم زاهدی بر اساس...

علاوه بر رنگ، اندازه میوه‌ها و سبزی‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قیمت محصولات کشاورزی معمولاً وابسته به اندازه‌ی آن‌ها است؛ بنابراین درجه‌بندی میوه‌جات و سبزیجات به اندازه‌های مختلف در مراحل پس از برداشت و فرآوری محصول ضروری می‌باشد (۱۸).

لی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی استفاده از تصاویری با طول موج مادون قرمز نزدیک، برای درجه‌بندی خودکار خرما به کمک سیستم بینایی ماشین پرداختند (۱۰). هدف آن‌ها از این پژوهش درجه‌بندی خرما بر اساس دو ویژگی اندازه و لایه لایه شدن پوست خرما بود. در این پژوهش درجه‌بندی خرما بر اساس اندازه میوه با لحاظ کردن طول و سطح مساحت آن با دقت ۸۷٪ انجام شد.

در پژوهشی دیگر، محققان به دسته‌بندی سیب‌زمینی‌های با شکل نامنظم با استفاده از یک سیستم خودکار بینایی ماشین پرداختند. برای تشخیص و دسته‌بندی سیب‌زمینی‌های نامنظم برخی از ویژگی‌های هندسی مانند قطر، مرکز سطح، مساحت سطح، ممان اینرسی، طول و عرض از تصاویر استخراج شد. برای دستیابی به مهم‌ترین ویژگی در نامنظم بودن شکل سیب‌زمینی‌ها روش آنالیز تشخیص به کار گرفته شد که با روش آماری SDA به دو مشخصه شکل (گردی و وسعت) و چهار توصیف‌گر شکل فوری به عنوان شاخص‌های دسته‌بندی تعیین شد (۸).

الگوی بافت ظاهری (بافت سطحی) یکی از ویژگی‌های کیفی حسی است که اغلب اوقات در سامانه‌های دسته‌بندی برای بررسی کیفیت محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوی بافت سطح ظاهری، ارتباط نزدیکی با کیفیت داخلی مانند میزان رسیدگی و یا مقدار مواد قندی موجود در میوه‌ها و سبزی‌ها دارد؛ بنابراین الگوی بافت ظاهری، می‌تواند به عنوان یک شاخص مهم برای جداسازی و دسته‌بندی میوه‌ها به کار رود (۱۰).

مانیکاواساگان و همکاران (۱۱) به بررسی کارآمدی روش تصویر برداری در فضای رنگی RGB برای دسته‌بندی خرما بر اساس سفتی آن پرداختند. آن‌ها در این پژوهش به واکاوی کیفیت الگوی بافت ظاهری خرما و ارتباط آن با سفتی یا نرمی بافت خرما پرداخته و میوه‌های خرما را با استفاده از روش‌های پردازش تصویر، به سه دسته‌ی سفت، نیمه سفت و نرم تقسیم کردند. این پژوهش روی سه رقم خرمای رایج عمان (فرد، خلاص و نقال) انجام شد.

یک یا چند ویژگی مهم و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است. در اکثر این کاربردها، دسته‌بندی محصولات بر اساس ویژگی‌های ظاهری از جمله، رنگ، اندازه، شکل و بافت ظاهری صورت می‌گیرد که خود به کمک روش‌های پردازش تصویر استخراج می‌شوند (۴).

رنگ میوه‌ها و سبزی‌ها، می‌تواند بیان‌گر درجه رسیدگی، کیفیت درونی محصول، وجود آفات و صدمات وارده بر آن‌ها باشد؛ به همین سبب در ارزیابی کیفی بسیاری از محصولات کشاورزی اهمیت دارد (۱۸). همبستگی رسیدگی خرما و رنگ آن، می‌تواند استفاده از این ویژگی را در درجه‌بندی توجیه کند. پوردربانی و همکاران (۱۴) بر اساس رنگ میوه‌های خرما شاخصی را تعریف کرده و بر اساس آن، میوه‌های خرمای رقم برچی را از لحاظ رسیدگی به سه دسته (با دقت ۸۸٪) تقسیم کرده‌اند (۱۴).

الاهالی (۲) با استفاده از تصاویر میوه‌های خرما در فضای رنگی RGB و به کارگیری روش‌های پردازش تصویر و همچنین تعریف مجموعه‌ای از مشخصه‌های کیفی ظاهری، از جمله نرمی بافت داخلی خرما، شکل، اندازه و چروکیدگی پوست خرما، موفق به دسته‌بندی میوه‌ها به سه دسته کیفی شد. در این پژوهش نرمی بافت از روی توزیع شدت رنگ تخمین زده شده بود. دقت نهایی سامانه طراحی شده با استفاده از یک شبکه عصبی پس‌انتشار ۸۰٪ به دست آمد (۲). الجَنوبی (۱) سیستمی مبتنی بر بینایی ماشین برای درجه‌بندی دو رقم خرمای رایج عربستان (سُگری و مَنیفی) ارائه کرد. او در این پژوهش با استفاده از ویژگی‌های رنگی در فضای RGB اقدام به درجه‌بندی خرما در سه دسته کیفی خوب، متوسط و نامطلوب کرد. در این پژوهش از یک شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای دسته‌بندی استفاده شد. دقت شبکه عصبی برای دو رقم سُگری و مَنیفی به ترتیب ۸۸ و ۹۳٪ بود (۱).

علاوه بر خرما، رنگ در درجه‌بندی کیفی سایر محصولات کشاورزی نیز موثر است. ملازاده و همکاران (۱۲) به درجه‌بندی کیفی کشمش با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و داده‌کاوی بر اساس رنگ پرداختند. تصاویر از چهار دسته کشمش (سبز، سبز با دم، سیاه و سیاه با دم) تهیه و ۳۶ ویژگی رنگی از این تصاویر استخراج کردند. این پژوهشگران با مقایسه‌ی چهار روش مختلف مبتنی بر داده‌کاوی از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) درجه بندی را با بالاترین دقت طبقه‌بندی انجام دادند (۱۲).

برای تهیه تصاویر از نمونه‌های خرما به صورت تک شده<sup>۲</sup> از یک عدد دوربین دیجیتال Sony مدل dsc-p200 با رزولوشن ۷/۲ مگاپیکسل استفاده شد. این دوربین دارای حسگر CCD برای تصویربرداری است. برای پرهیز از ایجاد سایه در اطراف نمونه حین تصویربرداری، جلوگیری از تاثیر نور محیط و انعکاس‌های ناخواسته در تصویر، جعبه‌ی نورپردازی ساخته و استفاده شد. این جعبه از جنس چوب و به شکل مکعب مستطیل با ابعاد ۶۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر ساخته شد (شکل ۱). از صفحات نوری<sup>۳</sup> LED با نوری کاملا یکنواخت و گسترده برای نورپردازی نمونه و پس‌زمینه استفاده شد.

عملیات پردازش تصویر به کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB R2013a، تحلیل داده‌ها و انتخاب بهترین ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی توسط نرم‌افزار IBM SPSS 22 و مدل‌سازی شبکه عصبی با استفاده از نرم‌افزار Neurosolution7 صورت گرفت. یک لپ‌تاپ با پردازش‌گر Intel® Corei5-2410M و RAM 4 GB برای انجام عملیات محاسباتی مورد استفاده قرار گرفت.

آزمون‌ها در آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد.

به‌طور کلی نمودار روند اجرای کار در شکل ۲ آمده است. در ادامه، هر یک از مراحل تحقیق توضیح داده خواهد شد.

### پردازش تصویر

تصاویر رنگی میوه خرما پس از اخذ، برای پردازش به رایانه منتقل شدند (شکل ۳-الف). مرحله بعدی تبدیل این تصاویر رنگی به تصاویر سطح خاکستری بود. در این پژوهش، تمامی کانال‌های فضاهای رنگی RGB، HSI و Lab مورد بررسی قرار گرفتند و کانال رنگی B از مدل رنگی RGB به‌عنوان بهترین گزینه برای به‌دست آوردن یک تصویر سطح خاکستری انتخاب شد (شکل ۳-ب).

انتخاب بهترین کانال رنگی برای جداسازی خرما از پس‌زمینه، از بررسی و مقایسه هیستوگرام کانال‌های رنگی مذکور حاصل شد. برای جداسازی خرما از پس‌زمینه از روش آستانه‌گذاری اتسو<sup>۴</sup> استفاده شد.

این پژوهشگران با استخراج ویژگی‌های بافتی از جمله؛ میانگین شدت روشنایی، انحراف معیار، واریانس، کنتراست، همبستگی، انرژی، همگنی و آنتروپی<sup>۱</sup> GLCM و انتخاب مناسب‌ترین ویژگی‌ها، طبقه‌بندی مذکور را به کمک روش آنالیز تشخیص خطی با دقت‌های ۶۹٪، ۸۷٪ و ۸۲٪ به ترتیب برای رقم‌های فرد، خلاص و نقال انجام دادند (۱۱).

با توجه به تحقیقات صورت گرفته، چنین برمی‌آید که ویژگی‌های ظاهری محصولات کشاورزی، معیار مناسبی برای درجه‌بندی و جداسازی آن‌هاست که می‌توان با روش‌های پردازش تصویر و یادگیری ماشین این امر را به یک ربات یا کامپیوتر واگذار کرد. هدف پژوهش حاضر امکان‌سنجی درجه‌بندی خرماهای زاهدی، براساس ویژگی‌های ظاهری شکل، اندازه، رنگ و بافت با استفاده از فناوری بینایی ماشین و پردازش تصویر برای تقویت صادرات و بهره‌برداری ایده‌آل از این محصول ارزشمند است.

### مواد و روش‌ها

نمونه‌هایی از خرماهای رقم زاهدی از نخلستان‌های روستای مظفریه واقع در حومه‌ی شهرستان اهواز تهیه شد. میوه‌های خرما توسط کارشناس خبره و با تجربه بر مبنای استانداردهای موجود و خواست بازار طبقه‌بندی شدند.

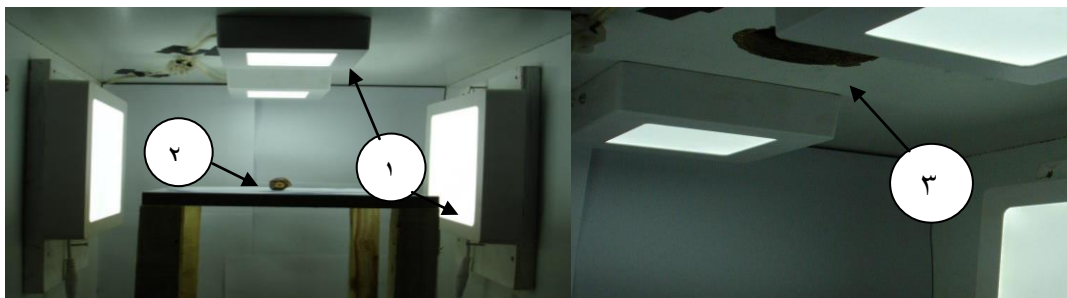
طبقه‌بندی کیفی رقم زاهدی، در سه گروه خرماهای کاملاً رسیده (متمایل به رنگ قهوه‌ای)، خرماهای نیم‌رس و خرماهای نارس یا زائد انجام شد. خرماهای بزرگ، متوسط و کوچک سه گروه اندازه را تشکیل داد. از نظر چروکیدگی نیز، خرما به دو دسته چروکیده و سالم طبقه‌بندی شدند. پوست خارجی خرما ممکن است در برخی از نقاط سطح، از بافت گوشتی آن جدا شود. این پدیده تا حدی طبیعی است؛ اما زمانی که خرما به دلایلی بیش از حد رطوبت خود را از دست می‌دهد، بخش بزرگی از پوسته آن چروکیده و از بافت زیرین جدا می‌شود و به تبع آن بافت گوشتی داخلی خرما نیز سفت خواهد شد که این امر از کیفیت و مرغوبیت خرما می‌کاهد؛ بنابراین این نوع خرما می‌بایست از خرمایی که سطح پوسته بیرونی سالم، یکنواخت و فاقد جداشدگی بیش از حد پوست است، جدا شود. برای تشخیص خرماهای چروکیده از خرماهای سالم از ویژگی‌های بافتی استفاده شد (جدول ۱).

2- Singular  
3- Panel light  
4- Otsu

1- Gray Level Co-occurrence Matrix

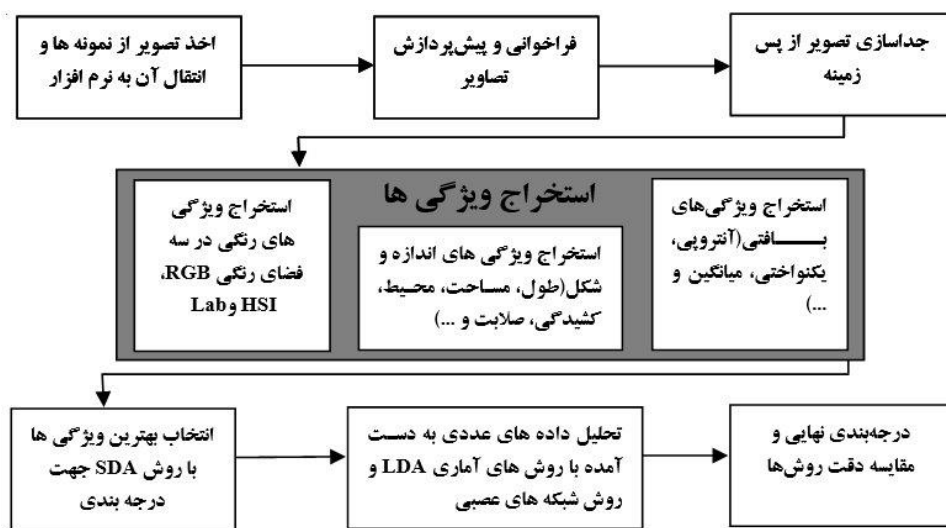
جدول (۱) توصیف گرهای بافتی بر اساس هیستوگرام شدت روشنایی

| نوع گشتاور         | فرمول ریاضی                                   |
|--------------------|---|
| Moment             | Expression                                    |
| میانگین            | $m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i)$             |
| Mean               |   |
| انحراف معیار       | $\sigma = \sqrt{\mu_2(z)} = \sqrt{\sigma^2}$  |
| Standard deviation |   |
| میزان همواری       | $R = 1 - 1/(1 + \sigma^2)$                    |
| Smoothness         |   |
| ممان مرتبه سوم     | $\mu_3 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i)$ |
| 3rd moment         |   |
| یکنواختی           | $U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i)$               |
| Uniformity         |   |
| بی نظمی            | $e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i)$ |
| Entropy            |   |



شکل (۱) محفظه نورپردازی و تصویربرداری. ۱- جایگاه صفحات نوری ۲- جایگاه نمونه ۳- جایگاه دوربین تصویربرداری

Figure (1) Lighting and imaging box. 1- Location of the light panels 2- Location of the sample 3- location of the camera



شکل (۲) نمودار روند آزمون

Figure(2) Tests process flowchart

برای تشخیص خرماي چروکیده از سالم، ویژگی‌های بافت ظاهري تعیین شد. در این پژوهش از روش آماری برای استخراج ویژگی‌های بافتی استفاده شد. در این روش، بافت یک ناحیه از تصویر بر اساس توزیع سطوح خاکستری و از روی هیستوگرام یک یا دو بعدی شدت روشنایی به دست می‌آید. در روش آماری، فرض می‌شود که  $Z$  متغیر تصادفی مقدار شدت روشنایی و  $i=1,2,3,\dots,L-1$  هیستوگرام متناظر باشد، که  $L$ ، تعداد سطوح شدت روشنایی است. بر این اساس شش ویژگی میانگین شدت روشنایی (گشتاور اول)، انحراف معیار (گشتاور دوم)، میزان همواری، گشتاور مرتبه سوم، میزان یکنواختی و میزان بی‌نظمی<sup>۷</sup> طبق جدول ۱ از بافت یک ناحیه استخراج شدند (۹).

#### انتخاب ویژگی‌ها

مرحله انتخاب ویژگی، غالباً یک گام اساسی در مبحث تشخیص و طبقه‌بندی به منظور موفقیت در بینایی ماشین شناخته می‌شود؛ چرا که در مسائل بینایی ماشین، معمولاً حجم داده‌ها زیاد است. هدف از فرآیند انتخاب ویژگی، انتخاب بهترین زیر مجموعه از ویژگی‌هاست؛ به طوری که ضمن کاهش ابعاد داده بتوان به دقت طبقه‌بندی مطلوب دست یافت. روش آنالیز تشخیص گام به گام<sup>۸</sup> (SDA) یکی از رایج‌ترین روش‌های انتخاب ویژگی است که در این پژوهش به کار گرفته شد (۷). این روش هنگامی استفاده می‌شود که نیاز به کاهش متغیرهای مستقل باشد. به کمک روش گام به گام، مهم‌ترین ویژگی‌هایی انتخاب می‌شوند که قدرت تفکیک بهتری در تشخیص کلاس‌ها داشته باشند (۱۷).

در روش آنالیز تشخیص گام به گام ترتیب اهمیت و تاثیر گذاری ویژگی‌ها با آماره‌ی لامبدای ویلکس<sup>۹</sup> تعیین می‌شود. هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیکتر باشد ویژگی انتخاب شده دارای تاثیر بیشتری در طبقه‌بندی است (شکل ۴).

پس از تبدیل تصاویر سطح خاکستری به تصاویر دودویی مشاهده شد که قسمت‌هایی از نمونه خرما به عنوان جزئی از پس‌زمینه انتخاب می‌شود که به علت نزدیکی و هم‌پوشانی برخی از مقادیر شدت روشنایی تصویر سطح خاکستری خرما و پس‌زمینه است. با به کارگیری عمل‌گرهای مورفولوژی این اشکال برطرف شد (شکل ۳-ج). بر کردن حفره‌های موجود در تصویر نمونه خرما نیز با استفاده از دستورات مورفولوژی انجام گرفت. بنا به تعریف، حفره‌های یک تصویر باینری به مجموعه‌ای از پیکسل‌های سیاه در تصویر گفته می‌شود که به خطوط مرزی اشیاء موجود در تصویر اتصال ندارد.

#### استخراج ویژگی‌های کیفی، اندازه و بافتی

در این پژوهش برای دسته‌بندی میوه‌های خرماي زاهدی از ویژگی‌های کیفی، ویژگی‌های مربوط به اندازه و شکل و ویژگی‌های بافتی استفاده شد. برای دسته‌بندی کیفی (کاملاً رسیده، نیم‌رس و نارس) از ویژگی‌های رنگی استفاده شد. ویژگی‌های رنگی، در سه فضای رنگی RGB، HSI و Lab استخراج شده، مهم‌ترین ویژگی رنگی، یعنی میانگین رنگ تصویر نمونه خرماي جدا شده از زمینه در هریک از کانال‌های رنگی تعیین و بررسی شد.

برای تعیین اندازه و شکل میوه‌ها از توصیف‌گرهای اندازه و شکل استفاده شد که به دو دسته توصیف‌گرهای ناحیه‌ای و مرزی تقسیم می‌شوند. این توصیف‌گرها توسط تابع regionprops از روی تصویر باینری به دست آمده پس از اعمال عملیات مورفولوژی استخراج شدند. ویژگی‌های اندازه و شکل استخراج شده، شامل مساحت سطح، مساحت پوسته محدب<sup>۱</sup>، خروج از مرکز بیضی<sup>۲</sup>، قطر دایره‌ای برابر با مساحت ناحیه مورد نظر<sup>۳</sup>، کشیدگی<sup>۴</sup>، نسبت تراکم، وسعت<sup>۵</sup>، طول محور بزرگ (اصلی)، طول محور کوچک (فرعی)، صلابت<sup>۶</sup> و محیط شیء مورد نظر هستند.

#### طبقه‌بندی

- 7- Entropy
- 8- Stepwise Discriminant Analysis
- 9- Lambda wileks

- 1- Convex Area
- 2- Eccentricity
- 3- EquivDiameter
- 4- Elongation
- 5- Extent
- 6- Solidity

شبکه از ۶۵ درصد داده‌ها، برای اعتبارسنجی شبکه از ۱۵ درصد داده‌ها و برای آزمون شبکه از ۲۰ درصد داده‌های هر کلاس طبقه‌بندی استفاده شد. ساخت شبکه‌های عصبی مصنوعی و انتخاب بهترین شبکه به کمک نرم افزار Neurosolution صورت گرفت. برای بررسی عملکرد طبقه‌بندی، از شاخص آماری نرخ طبقه‌بندی صحیح<sup>۵</sup> طبق معادله ۱ استفاده شد.

$$CCR(\%) = \frac{N_{Right}}{N} \times 100 \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $N_{Right}$  تعداد نمونه‌هایی است که به درستی در هر دسته طبقه‌بندی شده‌اند،  $N$  تعداد کل نمونه‌های بررسی شده در هر طبقه و  $CCR(\%)$  درصد صحت طبقه‌بندی مورد نظر را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن درصد صحت طبقه‌بندی از ماتریس اغتشاش<sup>۶</sup> استفاده می‌شود (۱۲)؛ بنابراین درصد صحیح بودن قسمت‌های مراحل آموزش، اعتبارسنجی و مهمتر از همه مرحله آزمون در طبقه‌بندی مدنظر است. بنابراین میزان درصد صحیح بودن ماتریس اغتشاش و پارامترهای آماری عمومی مرتبط با این ماتریس، از جمله جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی خطی استخراج و برای انتخاب بهترین شبکه توسط نرم‌افزار مدنظر قرار داده شدند.

## نتایج و بحث

تشخیص مناسب‌ترین کانال رنگی برای جداسازی خرما از پس زمینه با مقایسه هیستوگرام کانال‌های رنگی  $R, G, B, H, S, L, a, b$  صورت گرفت. نمودار هیستوگرامی که دارای تفکیک بیشتری در دامنه شدت‌های روشنایی باشد، برای عملیات آستانه‌گذاری مناسب‌تر است؛ زیرا تقابل مناسبی با پس‌زمینه دارد. کانال  $B$  در مقایسه با سایر کانال‌های رنگی کنتراست بهتر و هیستوگرام مربوطه به آن بیشترین تفکیک پذیری مقادیر شدت روشنایی را داشت. دو قله این هیستوگرام، دارای فاصله و تفاوت بیشتری است؛

با توجه به اینکه نوع کلاس داده‌ها از قبل مشخص شده است، می‌بایست از روش‌های نظارت شده<sup>۱</sup> برای یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی کننده‌ها<sup>۲</sup> استفاده کرد. در این پژوهش از دو روش آنالیز تشخیص خطی<sup>۳</sup> و شبکه عصبی برای طبقه‌بندی استفاده شد. روش آنالیز تشخیص، بر پایه‌ی روش - شناسی رگرسیون خطی چند متغیره توسعه یافته است. این روش در مواقعی استفاده می‌شود که بر اساس صفات یا متغیرهای مشاهده شده، مدلی برای پیش‌بینی عضویت گروهی ساخته شود (۱۷). در این روش، کلاس‌های از پیش تعریف شده، با روش‌های مختلف فاصله‌یابی فواصل مراکز هر گروه از دیگری تعیین می‌شوند و ضرایب توابع تشخیص برای ساخت توابع تشخیص ایجاد می‌شوند (۱۶). بدیهی است که توابع تشخیص برای هر کلاس در بردارنده‌ی بخش‌هایی مانند توابع خطی و ترکیبی برای تعریف کردن ناحیه هر کلاس داده هستند.

از بین روش‌های شبکه عصبی، شبکه چند لایه پرسپترون انتخاب شد. از این نوع شبکه، برای پیاده‌سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه‌بندی، پردازش صوت و تصویر و سامانه‌های کنترلی استفاده می‌شود. به‌منظور دستیابی به بهترین شبکه با بیشترین دقت و کمترین خطا، ایجاد تغییراتی در شبکه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. یکی از این تغییرات چیدمان شبکه<sup>۴</sup> شبکه<sup>۴</sup> یا به عبارتی تعداد لایه‌های مخفی در شبکه و نورون‌های به کار رفته در لایه‌ی مخفی است. تغییر دیگر شامل نوع تابع محرک است. از دو تابع سیگموئید و تانژانت هیپربولیک به عنوان توابع محرک استفاده شد. برای رسیدن به پیکربندی مناسب شبکه، تعداد لایه‌های پنهان از ۱ تا ۳ لایه و تعداد مختلف نورون‌ها در هر لایه بررسی و در مجموع ۱۲ مدل شبکه عصبی ایجاد شد. ورودی هر شبکه عصبی تعداد ویژگی‌های انتخاب شده و خروجی هر شبکه تعداد کلاس - های موجود در طبقه‌بندی مورد نظر است. برای آموزش

1- Supervised methods

2- Classifiers

3- Linear Discriminant Analysis

4 Toplogy

5- Correct Classification Rate

6- Confusion matrix

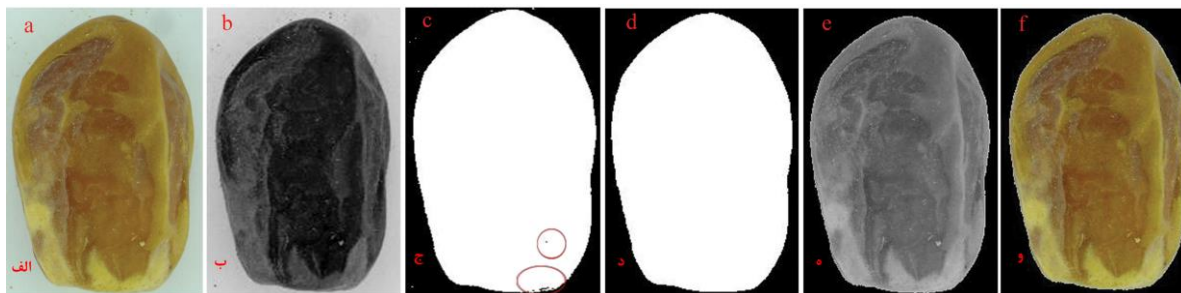
بی نظمی، انحراف معیار و یکنواختی به ترتیب اهمیت و تاثیر گذاری در هر طبقه بندی انتخاب شدند.

### روش آنالیز تشخیص

نتایج کلی طبقه بندی با روش آنالیز تشخیص، در جدول 3 آورده شده است. در این جدول، ستون «درجه مشاهده شده» به گروه های اولیه موجود و «درجه پیش بینی شده» به گروه های پیش بینی شده توسط آنالیز تشخیص ارجاع دارد. درجات مشخص شده از 1 تا 3 برای طبقه بندی کیفی (کاملاً رسیده، نیم رس و نارس) و برای پارامتر اندازه به ترتیب از بزرگ به کوچک (اندازه بزرگ، متوسط و کوچک) تعریف شده اند؛ همچنین در طبقه بندی تشخیص خرماي سالم از چروکیده درجه یک خرماي سالم و درجه دو

بنابراین آستانه گذاری بهتر و جداسازی تصویر میوه از زمینه با کمترین خطا صورت می گیرد (شکل 5).

تصویر باینری حاصل از لحاظ سطح به تصویر اصلی نزدیک تر بوده، در عملیات های بعدی پردازشی نظیر عملیات مورفولوژی زمان کمتری صرف خواهد شد. در نتیجه الگوریتم نهایی سرعت و دقت بالاتری خواهد داشت. البته انتخاب پس زمینه مناسب و نورپردازی یکنواخت در این مهم سهم می باشد. بهترین ویژگی های انتخاب شده با روش آنالیز تشخیص گام به گام در جدول 2 آورده شده است. از میان 9 ویژگی رنگی، 6 ویژگی میانگین هر یک از کانال های رنگی R، G، B و H، از 11 ویژگی شکل و اندازه، 3 ویژگی

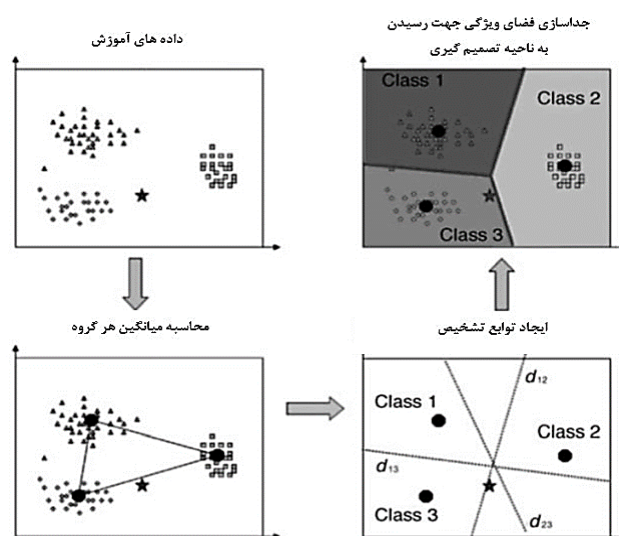


محیط، مساحت و قطر معادل و از 6 ویژگی بافتی، 3 ویژگی خرماي چروکیده را مشخص می کند.

شکل (3) مراحل جداسازی شیء مورد نظر (نمونه خرما) از پس زمینه. الف- تصویر رنگی، ب- تصویر سطح خاکستری، ج- تصویر

دودویی، د- تصویر دودویی پس از عملیات مورفولوژی، ه- تصویر سطح خاکستری و- تصویر رنگی جدا شده از زمینه

Figure(3) Steps of segmentation. a) Color image, b) Grayscale, c) Binary image, d) Binary image after morphology operations, e) Grayscale image and f) color image segmented from background



شکل (4) نمایش نحوه ایجاد توابع تشخیص در یک مسئله طبقه بندی و مشخص شدن فضای هر کلاس توسط روش آنالیز تشخیص

**Figure(4) Displaying how to create a diagnosis function in classification problem and to specify the space of each class by discriminant analysis method**

دست یافتند (۱۱). در پژوهش دیگری چن و همکاران (۵)، با استفاده از روش بینایی ماشین و تشخیص الگو به طبقه بندی ارقام ذرت به پنج دسته بر مبنای ویژگی های ظاهری پرداختند. آن ها ۱۷ ویژگی مورفولوژی و ۲۸ ویژگی رنگی را با روش های پردازش تصویر استخراج کرده، به کمک روش آنالیز تشخیص گام به گام دو دسته از ویژگی های را به عنوان ورودی های مناسب برای طبقه بندی مطلوب انتخاب کردند. این پژوهشگران در نهایت با به کارگیری ترکیبی روش آنالیز تشخیص و شبکه های عصبی پس انتشار به دقت طبقه بندی بالای ۹۰٪ دست یافتند (۵).

همان طور که در جدول ۴ مشخص شده دقت طبقه بندی کیفی، اندازه و بافتی به ترتیب برابر با ۹۳/۶٪، ۹۴/۴٪ و ۹۰٪ و نهایتا میانگین دقت درجه بندی در این سه مرحله ۹۲/۷٪ به دست آمد. پژوهشگران در تحقیقی مشابه که به بررسی درجه بندی کیفی سه رقم خرما بر اساس ویژگی های بافت ظاهری به سه دسته سفت، نیمه سفت و نرم اختصاص داشت با استفاده از روش های پردازش تصویر ۳۹ ویژگی بافت ظاهری از هر تصویر استخراج شد؛ در نهایت با روش های آنالیز تشخیص خطی و گام به گام به دقت درجه بندی از ۸۳٪ تا ۹۶٪ برای کلاس ها و ارقام مختلف

**جدول (۲) ویژگی های انتخاب شده با روش گام به گام**

**Table (2) Selected features using SDA method**

| نوع طبقه بندی<br>Type of Classification                     | ویژگی های ورودی<br>Input features                   | ویژگی های انتخاب شده به ترتیب اهمیت<br>Selected features                      |
|---|---|---|
| درجه بندی کیفی<br>Grading by quality                        | ۹ ویژگی رنگی<br>9 color features                    | میانگین کانال های رنگی R, B, H, S, a, b<br>mean intensity of R, B, H, S, a, b |
| درجه بندی اندازه<br>Sorting by size                         | ۱۱ ویژگی شکل و اندازه<br>11 shape and size features | محیط، مساحت، قطر معادل با دایره هم سطح<br>area, equidiameter, perimeter       |
| تشخیص خرما ی سالم از چروکیده<br>Detection of wrinkled dates | ۶ ویژگی بافتی<br>6 surface textural features        | بی نظمی، انحراف معیار، یکنواختی<br>entropy, standard deviation, uniformity    |

**جدول (۳) نتایج طبقه بندی خرما با روش آنالیز تشخیص**

**Table(3) Results of date classification using LDA method**

| نوع طبقه بندی<br>Type of classification | درجه مشاهده شده<br>Observed class | درجه پیش بینی شده<br>Predicted class |    |    | تعداد پیش بینی نادرست<br>Misclassified number | تعداد کل نمونه ها در هر دسته<br>Number of samples | دقت نهایی طبقه بندی<br>Classification accuracy |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----|----|---|---|--|
|   |                                   | 1                                    | 2  | 3  |   |   |  |
| کیفی<br>Qualitative                     | 1                                 | 101                                  | 2  | 5  | 7   | 108   | 93.6%  |
|   | 2                                 | 1                                    | 94 | 1  | 2   | 96  |  |
|   | 3                                 | 8                                    | 1  | 77 | 9   | 86  |  |
| اندازه<br>Size and shape                | 1                                 | 64                                   | 1  | 0  | 1   | 65  | 94.4%  |
|   | 2                                 | 0                                    | 63 | 2  | 2   | 65  |  |
|   | 3                                 | 0                                    | 8  | 57 | 8   | 65  |  |
| بافتی<br>Texture                        | 1                                 | 74                                   | 6  | -  | 6   | 80  | 90%  |
|   | 2                                 | 10                                   | 70 | -  | 10  | 80  |  |



جدول (۴) نتایج طبقه‌بندی خرما با روش شبکه عصبی (چند لایه پرسپترون)  
Table(4) Results of date classification using ANN (MLP) method

| نوع طبقه‌بندی<br>Type of classification | درجه خروجی<br>Output class | درجه مشاهده شده<br>Observed class |    |    | درصد صحیح بودن هر درجه<br>CCR(%) for each class | تعداد کل نمونه‌ها در هر دسته<br>All samples | دقت نهایی طبقه‌بندی<br>Accuracy of classes |
|---|----------------------------|-----------------------------------|----|----|---|---|--|
|   |                            | 1                                 | 2  | 3  |   |   |  |
| کیفی<br>Qualitative                     | 1                          | 25                                | 0  | 2  | 92.6%   | 108   | 95.7%                                      |
|   | 2                          | 0                                 | 23 | 0  | 100%  | 96  |  |
|   | 3                          | 1                                 | 0  | 18 | 94.7%   | 86  |  |
| اندازه و شکل<br>Size and shape          | 1                          | 9                                 | 0  | 0  | 100%  | 65  | 92.3%                                      |
|   | 2                          | 0                                 | 12 | 1  | 92.3%   | 65  |  |
|   | 3                          | 0                                 | 2  | 15 | 88.2%   | 65  |  |
| بافتی<br>Texture                        | 1                          | 15                                | 1  | -  | 93.8%   | 80  | 93.8%                                      |
|   | 2                          | 1                                 | 15 | -  | 93.8%   | 80  |  |

### روش شبکه عصبی

مهم‌ترین قسمت در بررسی عملکرد شبکه عصبی در مبحث طبقه‌بندی، ماتریس اغتشاش است. ماتریس اغتشاش، جدولی است که درجه‌بندی مشاهده و درجه‌بندی خروجی را نمایش می‌دهد و در جدول ۴ گنجانده شده است. برای طبقه‌بندی کیفی، بهترین مدل شبکه عصبی با ۳ لایه پرسپترون، ۵ نرون در هر لایه و تابع محرک تانژانت هیپربولیک با ساختار ۳-۵-۵-۵-۳ و بهترین دقت طبقه‌بندی از میان ۱۲ نوع ساختار مختلف شبکه عصبی توسط نرم افزار Neurosolution انتخاب شد. دقت طبقه‌بندی در این روش طبق معادله ۱ در جدول ۴، ۹۵/۷٪ به دست آمد. الجنوبی برای دسته‌بندی خرما ارقام سُگری و مینفی به سه دسته کیفی خوب، متوسط و نامطلوب از شبکه عصبی چند لایه پرسپترون مبتنی بر ویژگی‌های رنگی در فضای RGB استفاده کرد. دقت دسته‌بندی برای دو رقم فوق‌الذکر به ترتیب ۸۸ و ۹۳٪ به دست آمد (۱). برای طبقه‌بندی بر اساس اندازه، بهترین مدل شبکه عصبی با ساختار ۳-۵-۵-۳ و تابع محرک سیگموئید در هر لایه، انتخاب شد که دقت طبقه‌بندی ۹۲/۳٪ را به همراه داشت. الرجه و الزهیری به درجه‌بندی خرما با استفاده از یک سامانه بینایی ماشین و استخراج ویژگی‌های ظاهری با روش‌های پردازش تصویر پرداختند. در این پژوهش از ویژگی‌های رنگ، شکل و اندازه

خرما استفاده شد. دو روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون و شبکه، عصبی بر پایه توابع شعاعی (RBF<sup>1</sup>) جهت درجه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت که به ترتیب به دقت‌های ۸۷٪ و ۹۱٪ جهت درجه‌بندی دست یافتند (۳).

برای طبقه‌بندی بافتی (تشخیص خرما سالم از چروکیده) شبکه‌ی عصبی با ساختار ۲-۵-۵-۳ و تابع محرک تانژانت هیپربولیک از بین سایر مدل‌های شبکه عصبی بهترین عملکرد را داشت. دقت طبقه‌بندی در این مدل ۹۳/۸٪ به دست آمد که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار بهتری نسبت به روش آنالیز تشخیص عمل کرده است. دقت میانگین و نهایی طبقه‌بندی صحیح در روش شبکه عصبی ۹۳/۹٪ به دست آمد که نسبت به روش آنالیز تشخیص دارای برتری نسبی است. پژوهشی غلام به جداسازی چهار رقم مختلف خرما (عجوه، سکری، سلاج و ساقای) از یکدیگر با استفاده از ویژگی‌های ظاهری از جمله بافت سطح ظاهری، شکل و رنگ خرما پرداخت. وی برای این کار از توصیفگرهای بافتی WLD<sup>۲</sup> و LBP<sup>۳</sup> و در سه فضای رنگی و ویژگی‌های شکل و اندازه استفاده کرد. پس از کاهش ویژگی‌ها با روش آنالیز تشخیص فیشر توانست با استفاده ماشین بردار

1- Radial basis function  
2- Local binary pattern  
3- Weber local descriptor

عفیفی و همکاران: درجه‌بندی خرما ی رقم زاهدی بر اساس...

پشتیبان (SVM<sup>1</sup>) به دقت ۹۸٪ جهت جداسازی ارقام مختلف خرما برسد (۱۳). تفاوت عمده ارقام مختلف خرما می‌تواند یکی از دلایل دقت جداسازی بالای به‌دست آمده در این پژوهش باشد. استفاده از روش توصیفگرهای شکل و بافت به زمان پردازش زیادی نیاز دارد از این رو برای کاربردهای زمان واقعی<sup>۲</sup> توصیه نمی‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش درجه‌بندی خرما ی زاهدی در سه مرحله طبقه‌بندی بر اساس کیفیت (کاملاً رسیده، نیم‌رس، نارس)، اندازه (بزرگ، متوسط، کوچک) و بافت (سالم، چروکیده) با استخراج ویژگی‌های ظاهری صورت گرفت. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌های ظاهری انتخاب شده از مجموعه ویژگی‌های رنگ، اندازه، شکل و بافت ظاهری، ویژگی‌های موثری در درجه‌بندی خرما ی رقم زاهدی هستند. با توجه به دقت بالای هر دو روش شبکه عصبی و آنالیز تشخیص در مراحل طبقه‌بندی می‌توان گفت که استفاده از روش پردازش تصویر در درجه‌بندی و جداسازی این رقم موفقیت‌آمیز است. دقت میانگین درصد طبقه‌بندی صحیح برای روش آنالیز تشخیص و شبکه عصبی به ترتیب ۹۲/۷٪ و ۹۳/۹٪ به‌دست آمد که برای هر دو روش دقت بالایی محسوب می‌شود. روش شبکه عصبی در کاربردهای زمان واقعی<sup>۳</sup> و روش آماری آنالیز تشخیص در کاربردهای آزمایشگاهی توصیه می‌شود. روش شبکه عصبی و سایر روش‌های هوش مصنوعی بطور گسترده در این نوع تحقیقات به کار گرفته می‌شوند که می‌توان با ترکیب این روش‌ها با روش‌های پردازش تصویر، استخراج و انتخاب ویژگی‌های ظاهری در درجه‌بندی مواد غذایی و محصولات کشاورزی از جمله خرما به دقت‌های بالایی بیش از بینایی انسان نیز رسید.

1- Support vector machine

2- Real Time

3- Real Time

### منابع

1. Al-Janobi, A. A. 2010. A prototype mechatronic system for inspection of date fruits. Unpublished report. Department of Agricultural Engineering King Saud University, Saudi Arabia. From [http://collages.ksu.edu.sa/papers/papers/003% 20Mvip% 20cd. pdf](http://collages.ksu.edu.sa/papers/papers/003%20Mvip%20cd.pdf). accessed on March, 2, 2013.
2. Al-Ohali, Y. 2011. Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 23(1), 29-36.
3. Alrajeh K.M., Alzohairy, T.A.A. 2012. Date Fruits Classification using MLP and RBF Neural Networks. *International Journal of Computer Applications*, 41(10),36-41
4. Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., Lorente, D., and Sun, W. 2012. Fruit, vegetable and nut quality evaluation and control using computer vision. In Sun, D. W. (Ed). *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries* (pp. 379-399). Cambridge CB22 3HJ, United Kingdom: Woodhead Publishing.
5. Chen, X., Xun, Y., Li, W., and Zhang, J. 2010. Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71, 48-53.
6. Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., and Blasco, J. 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 487-504.
7. Du, C. J., and Sun, D.W. 2006. Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 39-55.
8. ElMasry, G., Cubero, S., Moltó E., and Blasco, J. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 112(1),60-68.
9. Gonzalez, R. C., Woods, R.E., and Eddins, S.L. 2004. *Digital image processing using MATLAB*. India: Pearson Education.
10. Lee, D. J., Schoenberger, R., Archibald, J., and McCollum, S. 2008. Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 388-398.
11. Manickavasagan, A., Al-Mezeini, N.K., and Al-Shekaili, H.N. 2014. RGB color imaging technique for grading of dates. *Scientia Horticulturae*, 175, 87-94.
12. Mollazade, K., M. Omid and A. Arefi. 2012. Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 124-131.
13. Muhammad, G. 2015. Date fruits classification using texture descriptors and shape-size features. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 37:361–367.
14. Pourdarbani, R., Ghassemzadeh, H.R., Seyedarabi, H., Nahandi, F.Z., and Vahed, M.M. 2015.

Study on an automatic sorting system for Date fruits. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14(1): 83-90.

15. Shajari, S. and Salah, A. 1396. Dates Export. 1<sup>st</sup> Ed. Agriculture Education Publisher. 12p. (In Persian).
16. Solomon, C., and Breckon, T. 2011. Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab (First ed.) John Wiley and Sons, Oxford, United Kindom, 344.
17. Zarechahooki, M.A. 2013. Analysis of the data in the study of natural resources with SPSS. (Second ed) .Tehran: Jahad Academic Publications.
18. Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., and Liu, C. 2014. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. Food Research International, 62, 326-343.