

طبقه‌بندی اناردانه بر اساس ویژگی‌های تصویر به روش تحلیل تفکیک خطی

علی محمدزاده^۱، محمدحسین عباسپورفرد^{۲*}، محمود رضا گلزاریان^۳

تاریخ دریافت ۱۳۹۳/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش ۱۳۹۳/۱۲/۲۱

چکیده

در این مقاله شیوه‌ای برای طبقه‌بندی اناردانه‌های خارج شده از میوه انار بر مبنای کیفیت رنگ ارائه شده است. هدف از این مقاله استخراج و استفاده از ویژگی‌های مبتنی بر تصویر برای درجه‌بندی اناردانه‌ها در سه گروه رنگی (قرمز، صورتی، سفید) و غشاء می‌باشد. طی مراحل پیش پردازش با ارزیابی کیفی فیلترهای رنگی برای بخش‌بندی بر مبنای آستانه، مناسب‌ترین فیلتر ارائه گردید. در این مطالعه از مجموع ۲۶ ویژگی مورد استفاده، ۱۰ ویژگی ریخت‌شناسی و شکلی، ۱۰ ویژگی طیفی و رنگی مستخرج از فضاهای RGB، HIS، Lab و ۶ ویژگی بافتی مستخرج از ممان‌های آماری تصویری استفاده گردید. برای طبقه‌بندی و شناسایی چهار گروه تعریف شده از روش تحلیل تفکیک خطی (Linear Discriminant Analysis) استفاده گردید. دقت طبقه‌بندی بر مبنای ویژگی‌های شکلی و اندازه برای جداکردن اناردانه و غشاء ۳/۹۶٪، بر مبنای ویژگی‌ها رنگی Lab، HSI، RGB بیشترین دقت به ترتیب ۸۷٪، ۸۴٪، ۸۹/۱٪ همچنین نتایج دقت طبقه‌بندی بر مبنای ویژگی‌های بافتی ۳/۹۳٪ بدست آمد. در پایان با استفاده از روش ترکیب ویژگی‌ها بعنوان ورودی مدل طبقه بند، دقت طبقه‌بندی ۹۹٪ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: اناردانه، پردازش تصویر، طبقه بندی آماری

مقدمه

کیفیت اناردانه‌ها از این تغییرات مصون می‌ماند. موضوع دوم عدم سهولت پوست‌کنی انار و خارج کردن اناردانه می‌باشد که سبب کاهش میل شخص به این کار و در نتیجه کاهش مصرف می‌گردد (Khazaei et al., 2008). مسئله سوم صرف وقت و هزینه‌ی زیاد برای شناسایی و جداکردن اناردانه از مواد دیگر مثل غشاء و گوشت و همچنین طبقه‌بندی دانه‌ها در دسته‌های مختلف کیفی از لحاظ رنگ می‌باشد (Blasco et al., 2003). در سال‌های اخیر تقاضا برای تولید اناردانه بصورت «آماده برای خوردن» افزایش یافته‌است. در طی دسته‌بندی و فرآوری اناردانه، می‌توان از سایر فرآورده‌های انار در صنایع تبدیلی دیگر مانند استفاده از پوسته برای صنعت رنگ‌سازی، غشاهای داخلی برای مصارف پزشکی و بهداشتی و خوراک دام نام برد.

تاکنون چندین دستگاه با روش‌های مختلف برای خارج کردن اناردانه‌ها از پوسته‌ی میوه ساخته شده است (Khazaei et al., 2007; Singh et al., 2008). اما در این روش‌ها اناردانه بر اساس کیفیت رنگ و همچنین غشاء و پوسته، قابل شناسایی و جداسازی نمی‌باشد. معمولاً جهت درجه‌بندی محصولات کشاورزی عوامل زیادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این عوامل در دو گروه عوامل کیفی

میوه‌ی انار از خانواده پانیکا^۴، یکی از مشهورترین میوه‌های بومی ایران می‌باشد. ایران سالانه با تولید ۷۰۰ هزار تن بعنوان بزرگترین تولیدکننده میوه‌ی انار در جهان می‌باشد (Melgarejo et al., 2007). بطور کلی افزایش بازه‌ی انتخاب یا خرید توسط مشتری و کاهش ضایعات پس از برداشت از اهداف مهم در مکانیزه کردن مرحله‌ی پس از برداشت می‌باشد. خوش رنگ و سالم بودن ظاهر میوه‌ی انار از ویژگی‌های مهم برای بازارپسندی انار می‌باشد، که می‌بایست قبل از ارسال به بازار کنترل شود. انار دارای برخی خصوصیات منفی نیز می‌باشد که بر مصرف آن تأثیر سوء می‌گذارد، از جمله: آفتاب سوختگی، ترک خوردگی و خراشیدگی میوه‌ی انار می‌باشد که باعث کاهش کیفیت ظاهری میوه و در نتیجه پایین آمدن بازارپسندی و ارزش اقتصادی آن می‌شود (Melgarejo et al., 2004). در صورت شناسایی و کنترل به موقع این عیوب ظاهری،

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: abaspour@um.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

ویژگی‌های حرارتی از روش تحلیل تفکیک درجه دوم استفاده کردند (Manickavasagan *et al.*, 2010).

هدف این مقاله ابتدا شناسایی اناردانه‌ها و غشاهای خارج شده از میوه انار می‌باشد. سپس برای چهار گروه مختلف شامل اناردانه‌ی قرمز، صورتی، سفید و غشاء بر مبنای ویژگی‌های مبتنی بر اندازه، شکل، رنگ و بافت تصویر اناردانه‌ها طبقه‌بندی صورت می‌گیرد و در پایان دقت عملکرد ویژگی‌های مستخرج از تصاویر مورد مقایسه قرار می‌گیرند. انتظار می‌رود از نتایج این تحقیق در فرآیند فرآوری و بسته‌بندی انار دانه بمنظور مصارف مختلف از جمله تازه‌خوری و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

میوه‌ی انار کاشمر رقم خزر برای انجام تصویربرداری انتخاب گردید. اناردانه‌ها قبل از تصویربرداری جهت طبقه‌بندی در چهار گروه مختلف جدا شدند. بمنظور طبقه‌بندی بصورت استاندارد، شناسایی و معیارگذاری رنگ اناردانه‌ها، از ارزیاب‌های انسانی برای درجه‌بندی رنگی اناردانه‌ها در سه گروه قرمز، صورتی و سفید استفاده شد. این نامگذاری بر مبنای تجربه و علاقه‌مندی افراد، انجام شد (Blasco *et al.*, 2009). حداقل ۵۰ نمونه از هر گروه برای تصویربرداری انتخاب گردید. تصاویر اناردانه در آزمایشگاه پردازش تصویر گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید. سامانه پردازش تصویر متشکل از یک دوربین دیجیتال (NIKON COOLPIX)، ساخت کشور ژاپن) و تصاویر در اندازه ۱۷۰۴*۲۲۷۲ اکتساب گردید. به هنگام تصویربرداری فاصله دوربین نسبت به نمونه ۱۵ سانتی‌متر تنظیم و ثابت شد. در سامانه روشنایی از ۶ عدد لامپ LED سفید در قسمت فوقانی محفظه‌ی تصویربرداری استفاده شده است. محفظه تصویربرداری از یک پایه دوربین با فاصله متغیر، پس زمینه به رنگ آبی جهت ایجاد بهترین کنتراست استفاده شده است.

پردازش تصویر

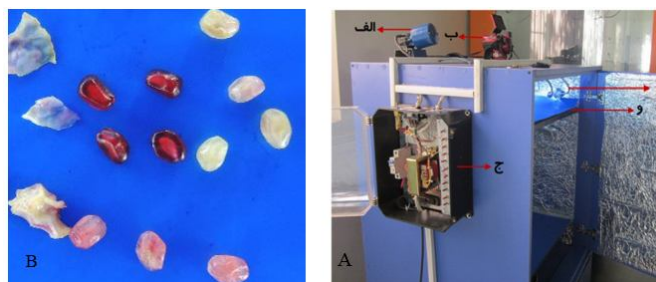
هدف از بخش‌بندی تصویر استخراج اشیاء مهم از تصویر ورودی می‌باشد. هم‌چنین در ادامه پردازش تصویر نیاز به استخراج دقیق ویژگی‌های لازم برای شناسایی و طبقه‌بندی هدف مورد نظر می‌باشد که بخش‌بندی دقیق اشیاء، این امکان را فراهم می‌کند. با انجام موثر این مرحله از پردازش، شدت نویز تصویر به کمترین حد خود می‌رسد (Riquelme *et al.*, 2008). برای تبدیل تصاویر رنگی ورودی به تصاویر خاکستری لازم است که مؤلفه‌های رنگی تشکیل دهنده‌ی غالب را شناسایی و از آنها بعنوان یک پارامتر مهم در تبدیلات استفاده کرد.

خارجی و داخلی طبقه‌بندی می‌شوند. سامانه‌های مرئی پردازش تصویر پارامترهای ظاهری اعم از شکل، رنگ و بافت را می‌توانند مورد ارزیابی قرار دهند (Ercisli *et al.*, 2012; ElMasry *et al.*, 2012; Jackman *et al.*, 2011; MajumdarJayas, 2000). برای اندازه‌گیری پارامترهای داخلی از آزمون‌های غیرمخرب از قبیل گرمانگاری، MRI، X-RAY و NMR به ترتیب برای شناسایی آلودگی گندم (Manickavasagan *et al.*, 2008)، لکه سیاه داخل میوه‌ی انار، تازگی و پارامترهای کیفی داخلی در محصولات کشاورزی و لکه سیاه داخل گلابی (Donis-Gonzalez *et al.*, 2014; Hernandez-Sanchez *et al.*, 2007; ZhangaMcCarthy, 2012) می‌توان استفاده کرد.

از کاربردهای تصاویر مرئی می‌توان به درجه‌بندی و طبقه‌بندی خرما بر مبنای ویژگی‌های سطحی اعم از شکل و اندازه اشاره کرد (Ohali, 2011). در تحقیق دیگری محققان برای درجه‌بندی توت فرنگی از ویژگی‌های شکلی، اندازه و رنگ در محیط رنگی Lab استفاده کردند (LimingYanchao, 2010). در سامانه‌های بینایی ماشین، تکنیک پردازش تصویر مهمترین بخش از سامانه می‌باشد (Zhang *et al.*, 2014)، بطوری که در تحقیقی (Balestani *et al.*, 2012) به کمک پردازش تصویر، شناسایی و درجه‌بندی گیلاس از لحاظ رسیدگی، اندازه و لکه‌های سطحی با موفقیت صورت گرفت (Mousavi Balestani *et al.*, 2012). در مطالعه‌ی دیگر از ویژگی‌های فضای رنگی RGB برای پیدا کردن لکه‌های سیب و هم‌چنین بررسی رسیدگی گوجه‌فرنگی، ویژگی‌های پیکسلی را در محیط‌های رنگی HSI, RGB و ویژگی‌های بافتی را از ماتریس وقوع همزمانی مورد استفاده قرار دادند (S.Arivazhagan *et al.*, 2010). استفاده از پردازش تصویر برای بازرسی دانه‌های ریز نیز کاربرد فراوانی دارد از جمله می‌توان به مطالعه‌ی برای ارزیابی کیفی دانه‌های سویا اشاره کرد (Paulsen *et al.*, 1992). برای طبقه‌بندی و شناسایی محصولات کشاورزی بر مبنای ویژگی‌های ظاهری روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله کاربردهای آنها می‌توان به تکنیک طبقه‌بندی فازی برای برای درجه‌بندی و دسته‌بندی فرآورده‌های ماهی اشاره نمود (Hu *et al.*, 1998). هم‌چنین در مطالعه‌ی دیگر از طبقه‌بند چندلایه برای طبقه‌بندی گونه‌های مختلف دانه‌ی گندم، جو دو سر، گندم سیاه، جو و شش نوع شکستگی از دانه‌های گندم استفاده شد بطوری که دقت شناسایی گندم‌ها و ناخالصی‌ها را بالای ۹۰٪ دقت گزارش کردند (Luo *et al.*, 1999). آنالیز تحلیل تفکیک خطی^۱ و درجه‌ی دوم^۲ نوع دیگری از مدل‌های طبقه‌بندی اهداف بر مبنای ویژگی‌های استخراج شده می‌باشد. برای مثال در این زمینه برای طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف گندم بر مبنای

1 Linear Discriminant Analysis (LDA)

2 Quadratic Discriminant Analysis (QDA)

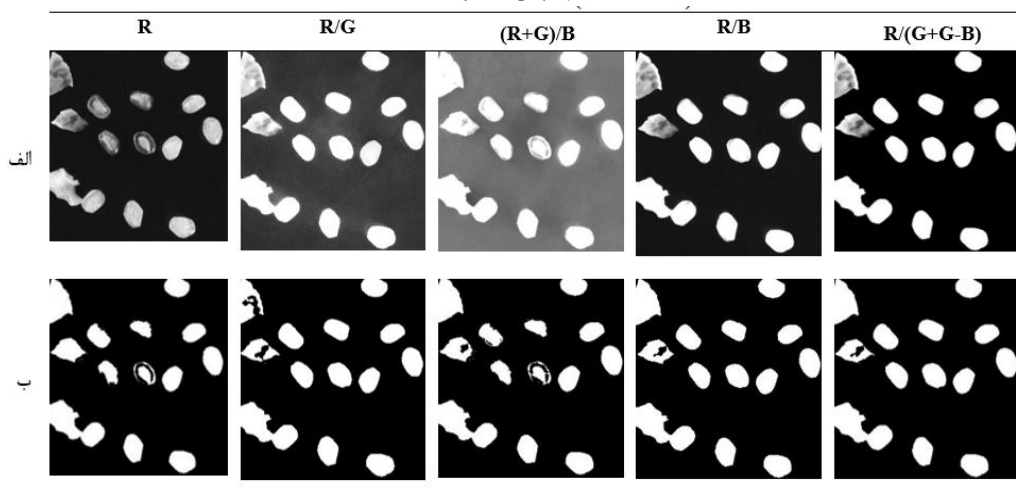


شکل ۱- (A) مجموعه سامانه تصویر برداری متشکل از: الف- موتور الکتریکی جهت بالا و پایین بردن سطح پس زمینه ب- دوربین ج- جعبه تقسیم و کلید های روشن و خاموش کردن اتاقک د- لامپ LED و- صفحه متحرک پس زمینه، B) تصویر گروه های مختلف اناردانه (قرمز، صورتی، سفید) و غشاء

خاکستری با نویز کم و کنتراست بالا لازم است که بهترین تضاد شیء با پس زمینه ایجاد شود. جدول ۱ تصاویر خاکستری ایجاد شده بر اساس روابط مبتنی بر مؤلفه‌های غالب و هم چنین تصاویر باینری بدست آمده بر مبنای آستانه‌یابی بهینه را نشان می‌دهد. براساس این جدول بهترین تضاد ایجاد شده در این تبدیل رابطه‌ی اول از سمت راست می‌باشد که برای ادامه مراحل پردازش تصویر و استخراج ویژگی‌های نهفته در تصویر استفاده گردید.

پس زمینه آبی مورد استفاده در این مطالعه دارای مقدار مؤلفه‌ی آبی (B) زیاد و قرمز کم (R) در مختصات فضای رنگی RGB می‌باشد. با توجه به محدوده‌ی رنگی اناردانه‌ها که بین سفید و قرمز می‌باشد، دارای بیشترین مولفه رنگی قرمز می‌باشند. بمنظور جداسازی اناردانه از پس زمینه آبی، از مولفه اصلی تشکیل دهنده‌ی رنگی اناردانه که بیشترین تضاد را ایجاد می‌کند استفاده گردید. از روش آستانه‌یابی بر مبنای هیستوگرام برای تبدیل تصویر خاکستری ایجاد شده به تصویر باینری بکار برده شد. اما برای ایجاد یک تصویر

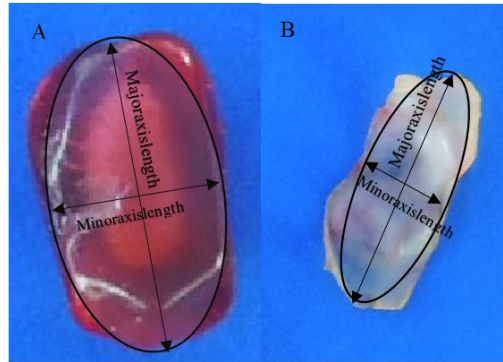
جدول ۱- ایجاد الف) تصاویر خاکستری حاصل از اعمال فیلترهای مختلف رنگی روی تصویر نمونه شکل ۱- B و ب) تصاویر باینری متناظر بدست آمده با بهترین مقدار آستانه



شکل یکی از معمولترین معیارهای سنجش اشیاء است. این پارامتر در مقایسه با رنگ و بافت ساده‌تر اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین برای شناسایی و تشخیص اناردانه‌های از غشاء، از ویژگی‌های شکلی و اندازه‌ای استفاده می‌شود. جدول ۲ ویژگی‌های مرکب استخراج شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

استخراج ویژگی‌ها

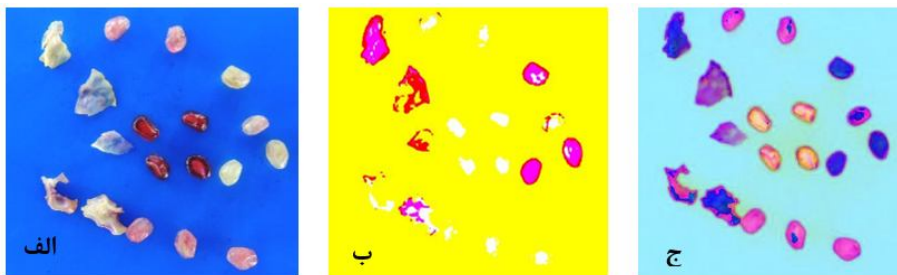
برای توصیف و گروه‌بندی اشیاء و نمونه‌ها لازم است که ویژگی‌هایی از تصاویر اندازه‌گیری و استخراج گردد. در کشاورزی و صنایع غذایی این ویژگی‌ها را در چهار دسته‌ی: اندازه، شکل، رنگ و بافت دسته بندی می‌کنند (DuSun, 2004).



شکل ۲- تصویر قطرهای اصلی و فرعی اناردانه (a) و غشاء (b)

جدول ۲- ویژگیهای اندازه و شکلی قابل استخراج از روی تصاویر باینری

ویژگی	رابطه	ویژگی	رابطه	ویژگی
نسبت	$\frac{Area}{4\pi \cdot Area}$	ضریب	$\frac{Major\ axis \cdot Minor\ axis}{Area}$	
اختلاف اقطار ^۳	$\frac{Perm^2}{Major\ axis}$	نسبت ابعاد ^۴	$\frac{Major\ axis - Minor\ axis}{Major\ axis}$	
مدور بودن ^۵	$\frac{Perm^2}{4\pi \cdot Area}$	گردی ^۶	$\frac{Perm^2}{\pi \cdot Major\ axis^2}$	



شکل ۳- مثالی (شکل ۱- B) از تبدیل فضای رنگی تصویر اناردانه ها و غشاء الف) تصویر اصلی RGB ب) تصویر Lab ج) تصویر HSI از تصویر اصلی

جدول ۳- نتایج طبقه بندی (درصد) اناردانه و غشاء نسبت به هم بر مبنای ویژگیهای شکلی و اندازه

دسته	تعداد تصویر ورودی		عملکرد	
	اناردانه	غشاء	دقت (%)	خطا (%)
اناردانه	۷۹	۴	۹۷/۵۳	۲/۴۷
غشاء	۲	۷۷	۹۵/۰۶	۴/۹۴
جمع	۸۱	۸۱	۹۶/۳	۳/۷۱

- 1 Area Ratio
- 2 Compactness
- 3 Diameter Range
- 4 Aspect Ratio
- 5 Circularity
- 6 Roundness

ویژگی‌های بافتی مستخرج از تصاویر خاکستری شامل میانگین، همواری^۵، ممان سوم^۶، یکنواختی^۷، آنتروپی^۸، انحراف معیار^۹ می‌باشند.

طبقه‌بندی

مرحله طبقه‌بندی یا مرحله شناسایی، روشی برای آنالیز کیفی تصویر بر مبنای اندازه‌گیری ویژگی‌ها با استفاده از آمار، احتمال و ویژگی‌های هندسی و طراحی الگوریتم‌ها می‌باشد (Zhang et al., 2014). در این مقاله بمنظور طبقه‌بندی اناردانه‌ها و جداسازی غشاء از ۱۲ ویژگی اندازه و شکلی، ۱۰ ویژگی رنگی و ۶ ویژگی بافتی استفاده گردید. از مدل طبقه‌بندی کننده تحلیل تفکیک خطی بر مبنای ویژگی‌های استخراجی بعنوان ورودی مدل طبقه‌بند و برای اعتبارسنجی داده‌های ورودی به مدل طبقه‌بند از روش "Leave-one-out" در نرم‌افزار SPSS (Version 16) استفاده گردید.

بحث و نتایج

برای بخش‌بندی بر مبنای آستانه‌یابی از روش‌های مختلفی بمنظور تبدیل تصویر رنگی ورودی به یک تصویر خاکستری استفاده گردید. با این حال از بین روش‌های اشاره شده در جدول ۱ بهترین تبدیل با کمترین نویز و بیشترین تمایز بین نمونه و پس‌زمینه توسط هر دو رابطه‌ی $(R/G+G-B)$ و (R/B) بدست آمد. در همه روابط در این جدول تصویر باینری نشان داده شده از آستانه‌یابی دستی برای یافتن مناسب‌ترین آستانه استفاده شده است.

برای رده‌بندی ویژگی‌ها از نرم‌افزار SPSS (version 16) به روش گام‌به‌گام^{۱۰} برای انتخاب بهترین ویژگی‌ها برای پیش‌بینی و طبقه‌بندی نمونه‌ها استفاده گردید، روش گام‌به‌گام مدلی رگرسیونی ایجاد می‌کند که به صورت خودکار متغیرهای مستقل را بر مبنای رتبه‌ی موثر آنها در پیش‌بینی نتایج، مورد استفاده قرار داده و یا حذف می‌کند.

با توجه به اینکه هم‌پوشانی رنگی غشاء با اناردانه‌های سفید و صورتی بیشتر می‌باشد بنابراین لازم بود از ویژگی‌های دیگری که تمایز بین غشاء و اناردانه‌ها را بیشتر نشان دهد استفاده شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی بر مبنای ویژگی‌های شکلی و اندازه در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، اناردانه‌ها با دقت ۹۷/۵۳٪ و غشاء‌ها با دقت ۹۵/۰۶٪ شناسایی شدند. نرخ خطای

هم چنین چهار ویژگی اندازه اعم از محیط (Perm) برابر با اندازه نوار محاط بر نمونه با ضخامت ۳ پیکسل، مساحت (Area) برابر با تعداد پیکسل‌های سفید، طول قطر اصلی^۱ و قطر فرعی^۲، که در (شکل ۲) نمایش داده شده است، اندازه‌گیری گردید.

ویژگی‌های رنگی

رنگ یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد. رنگ یک شیء می‌تواند در چندین فضای رنگی نمایش داده شوند. در بررسی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌توان از محیط‌های رنگی مختلف استفاده کرد. در این مقاله از فضای رنگی RGB^۳ (قرمز، سبز، آبی)، فضای HSI^۴ (نوع رنگ، اشباع، شدت یا میزان روشنایی) و فضای L*a*b^۵ (روشنایی، محتویات قرمز یا سبز، محتویات زرد یا آبی) برای توصیف اطلاعات نهفته در پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصویر استفاده گردید. از تابع 'rgb2hsv'^۶ (از توابع پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب) برای تبدیل تصویر دیجیتال نمونه‌ها به محیط HSI و همچنین از تابع 'makecform' ('srgb2lab') برای تبدیل تصویر از مدل رنگی RGB به L*a*b^۷ استفاده گردید. شکل ۳ خروجی این توابع را طی تبدیل فضای رنگی را برای شکل B-۱ نشان دهد.

اطلاعات رنگی نواحی مختلف یک تصویر متشکل از مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده فضای رنگی و ترکیب آنها برای آن نواحی می‌باشد. در این قسمت از مقاله از فیلترهایی شامل: R, R/G, R/B, G, B, a, b, H, S, I برای استخراج اطلاعات رنگی برای شناسایی و طبقه‌بندی گروه‌های تعریف شده استفاده شده است.

ویژگی‌های بافتی

بافت تصویر یکی از ویژگی‌های قابل استخراج از تصویر بخش‌بندی شده می‌باشد که برای طبقه‌بندی و شناسایی ناحیه‌های مورد نظر به کار برده می‌شود. در واقع بافت، اطلاعاتی را در مورد شدت ساختارهای تشکیل‌دهنده تصویر ارائه می‌دهد (Pawar et al., 2012). بطور کلی بافت قادر است ویژگی‌هایی که به چشم انسان قابل رؤیت نمی‌باشند را استخراج کند. در این تحقیق از ویژگی‌های بافتی تصاویر خاکستری استفاده شد. بنابراین برای استخراج ویژگی‌های بافتی لازم بود که تصاویر RGB بصورت تصاویر خاکستری در نرم‌افزار متلب فراخوانی گردد. سپس بمنظور استخراج ویژگی‌های بافتی حاصل از چگونگی توزیع پیکسل‌ها در فضای بخش‌بندی شده از ممان‌های آماری استفاده گردید.

5 Smoothness

6 Third moment

7 Uniformity

8 Entropy

9 Standard deviation

10 Stepwise regression

1 Major axis length

2 Minor axis length

3 Red, Green, Blue

4 Hue, Saturation, Intensity

چهارگانه در مجموع ۴۵٪ بود که این نشان می‌دهد باند قرمز همگی گروه‌ها هم‌پوشانی زیادی نسبت به هم دارند. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است میزان موفقیت اکثر پارامترهای مستخرج از هر کدام از محیط‌های رنگی قابل قبول می‌باشد، با این حال در بهترین حالت، کمترین مقدار خطای طبقه‌بندی ۱۳٪ حاصل از (R, G, B) بدست آمد، که عملکرد ضعیف طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

موجود در شناسایی غشاء ۴/۹۴٪ بود که با توجه به هم اندازه بودن و هم‌شکل بودن در برخی از نمونه‌ها با اناردانه‌ها قابل پیش‌بینی می‌باشد. بمنظور کلاسه‌بندی گروه‌های سه‌گانه اناردانه (قرمز، صورتی و سفید) و غشاء از هم، از ویژگی‌های رنگی در هر یک از محیط‌های رنگی RGB, HSI, Lab استخراج گردید. با بکار بردن تک مؤلفه‌ی قرمز R موفقیت شناسایی گروه‌های

جدول ۴- نتایج طبقه بندی (درصد) حاصل از میانگین دقت مؤلفه های مورد استفاده به عنوان ورودی مدل طبقه بند

دسته	R	G	B	R,G,B	R/G	R/B	H	S	I	a	b
اناردانه قرمز	۴۵	۹۸	۹۴	۹۸	۸۲	۷۶	۸۰	۱۰۰	۸۰	۹۶	۸۰
اناردانه صورتی	۳۰	۹۸	۸۴	۹۸	۹۶	۸۰	۴۰	۹۰	۷۰	۹۴	۳۰
اناردانه سفید	۵۶	۸۰	۳۴	۷۸	۶۶	۷۶	۷۸	۶۶	۶۰	۷۲	۳۶
غشاء	۳۶	۶۴	۵۲	۷۴	۵۶	۷۸	۶۶	۴۴	۳۸	۶۴	۷۴
جمع	۴۵	۸۵	۶۶	۸۷	۷۵	۷۷/۵	۶۶	۷۵	۶۲	۸۱/۵	۵۵

محیط Lab استفاده گردید. با توجه به اینکه L وابستگی کاملی نسبت به سامانه نورپردازی داشت بنابراین در تحلیل‌ها از تاثیر دادن آن صرف نظر گردید و تنها دو فاکتور a, b بعنوان ورودی در مدل طبقه‌بندی کننده بکار برده شد. میزان موفقیت این روش برای طبقه‌بندی اناردانه‌های قرمز، صورتی، سفید و غشاء با میانگین دقت ۸۹/۱٪ و نرخ خطای بدست آمده ۱۰/۹٪ بدست آمد (جدول ۵).

در مرحله‌ی بعد طبقه‌بندی اناردانه‌ها بر مبنای ترکیب مؤلفه‌های محیط رنگی HSI بعنوان ورودی مدل تحلیل تفکیک خطی مورد استفاده قرار گرفت. در این حالت میانگین دقت طبقه‌بندی ۸۴٪ و عبارتی با خطای ۱۶٪ گروه‌های تعریف شده را طبقه‌بندی کرد (جدول ۵). در ادامه برای دست‌یافتن به مناسب‌ترین دقت طبقه‌بندی از ویژگی‌هایی قابل استخراج از مؤلفه‌های رنگی تشکیل‌دهنده‌ی

جدول ۵- نتایج طبقه بندی با استفاده از مؤلفه های رنگی تشکیل دهنده ی محیط Lab , HSI

دسته	HSI		Lab	
	دقت (%)	خطا (%)	دقت (%)	خطا (%)
اناردانه قرمز	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
اناردانه صورتی	۸۶	۱۴	۹۸/۱۸	۱/۸۱
اناردانه سفید	۷۶	۲۴	۸۳/۶۷	۱۶/۳۶
غشاء	۷۴	۲۶	۷۴/۵۵	۲۵/۴۵
جمع	۸۴	۱۶	۸۹/۱	۱۰/۹

ویژگی‌ها را می‌توان به عدم تفکیک رنگی بر مبنای ویژگی‌های شکلی و اندازه‌ای، نرخ خطای بالا در شناسایی غشاءها نسبت اناردانه‌های سفید و صورتی در ویژگی‌های رنگی و دقت نسبتاً پایین در طبقه‌بندی را می‌توان اشاره کرد. با توجه به قابلیت‌های خاص هر یک از ویژگی‌های استخراج شده تصمیم گرفته شد که از ترکیب همه آنها در ادامه تحلیل و طبقه‌بندی اناردانه‌ها و غشاء استفاده گردد. در این مرحله با توجه به افزایش تعداد ویژگی‌های ورودی مدل طبقه‌بندی، از روش گام‌به‌گام برای رتبه‌بندی ورودی‌ها استفاده گردد تا بهترین ویژگی‌ها بر مبنای تاثیر آنها در نتیجه‌ی پیش‌بینی انتخاب گردند.

در مرحله‌ی پایانی از ۶ ویژگی بافتی بدست آمده از ممان‌های آماری شامل میانگین سطوح خاکستری، انحراف معیار، ممان سوم، همواری، آنتروپی و یکنواختی برای طبقه‌بندی استفاده، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. بر مبنای اطلاعات بدست آمده و نتایج حاصل از جدول ۶، گروه‌های مورد نظر با میانگین دقت ۹۳/۳٪ و نرخ خطای ۶/۵٪ تفکیک شدند. با توجه به نتایج حاصل از طبقه‌بندی بر مبنای روش‌های مختلف طبقه‌بندی اعم از ویژگی‌های اندازه، شکل، رنگ و بافتی ملاحظه می‌شود که شناسایی غشاء نسبت به اناردانه‌ها از دقت کمتری در ویژگی‌های رنگی برخوردار است. این تفاوت در همه روش‌ها به صورت‌های دیگر نمایان می‌باشد. برخی از اشکالات هر کدام از

جدول ۶- نتایج طبقه بندی بر مبنای ویژگی های بافتی مبتنی بر هیستوگرام

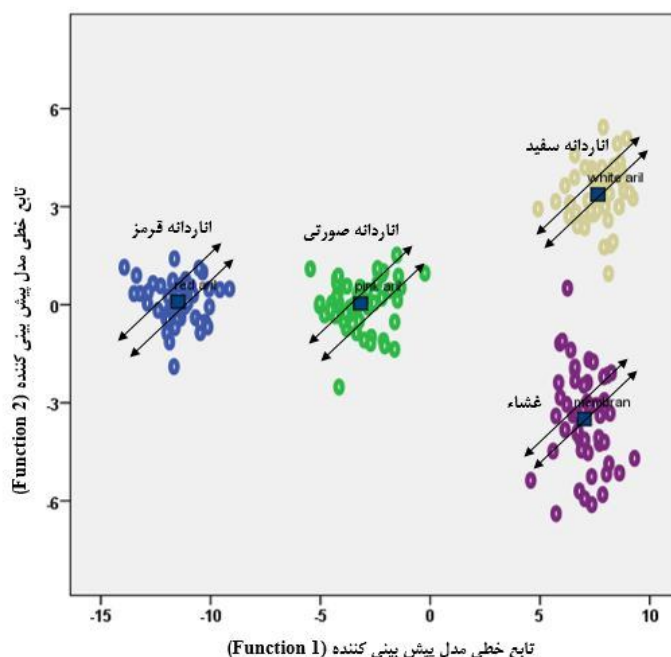
عملکرد	تعداد تصویر ورودی					دسته
	خطا (%)	دقت (%)	غشا	انار دانه سفید	انار دانه صورتی	
	۱/۶۶	۹۸/۳۳	۰	۰	۰	انار دانه قرمز
	۰	۱۰۰	۳	۱	۶۰	انار دانه صورتی
	۱۶/۳۳	۸۳/۳۳	۲	۵۰	۰	انار دانه سفید
	۸/۳۳	۹۱/۶۶	۵۵	۹	۰	غشاء
	۶/۵۸	۹۳/۳	۶۰	۶۰	۶۰	جمع

انتخاب گردید که عبارتند از: مؤلفه ها R, G, B, R/G, S, a، میانگین سطوح خاکستری، انحراف معیار، آنتروپی، طول قطر فرعی، ضریب فشردگی، نسبت مساحت و گردی.

نتیجه گیری

در این مطالعه سعی در ارائه ی یک روش مناسب با کمترین خطا برای کاهش ضایعات و خودکار کردن سامانه های کنترل کیفی در زمینه ی مصرف انار دانه بصورت «آماده - خوردن» می باشد.

نتایج حاصل از ترکیب ویژگی ها را می توان در جدول ۷ مشاهده کرد که میانگین دقت طبقه بندی بیش از ۹۹٪ بدست آمده است. شکل ۴ طبقه بندی گروه ها را بر مبنای ترکیب ویژگی های مستخرج از روی توابع خطی بدست آمده نشان می دهد. محورهای افقی و عمودی نشان دهنده ضرایب عددی هر کدام از گروه ها می باشند. شکل ۴ نتیجه طبقه بندی گروه ها را بر مبنای توابع خطی بمنظور پیش بینی هر کدام از دسته ها از روی ویژگی های ورودی را نشان می دهد. با استفاده از ترکیب ۲۶ ویژگی بعنوان ورودی مدل طبقه بند، ۱۴ ویژگی برتر با استفاده از روش گام به گام برای طبقه بندی گروه ها



شکل ۴- نمودار حاصل از طبقه بندی هر گروه انار دانه و غشاء به روش تحلیل تفکیک خطی. محورهای افقی و عمودی نشان دهنده ی ضرایب تابع خطی حاصل از مدل طبقه بندی پیش بینی کننده، نشان آبی (انار دانه قرمز)، نشان سبز (انار دانه صورتی)، نشان زرد (انار دانه سفید)، نشان بنفش (غشاء)

جدول ۷- نتایج طبقه بندی (درصد) بر مبنای ترکیب ویژگیهای بافتی و رنگی و شکلی و اندازه

دسته	دقت (%)	خطا (%)
اناردانه قرمز	۱۰۰	۰
اناردانه صورتی	۱۰۰	۰
اناردانه سفید	۱۰۰	۰
غشاء	۹۶	۴
جمع	۹۹	۱

ترکیبی موجب افزایش دقت در حد ۹۹٪ و در نتیجه موجب موفقیت در طبقه بندی شد. با این حال به دلیل طولانی شدن محاسبات مربوطه حاصل از ترکیب ویژگیها و کثرت ویژگیهای مدل سعی بر آن گردید تا از روش گام به گام برای ارائه ی بهترین ویژگیها استفاده گردد. در نهایت استخراج ویژگیهای برتر باعث کاهش مراحل استخراج ویژگیها، پردازش و طبقه بندی گردید.

هدف ما ارائه ی مدلی برای طبقه بندی اناردانه های قرمز، صورتی، سفید و غشاء به روش تحلیل تفکیک خطی بود. با استخراج هر کدام از ویژگیهای اندازه، شکل، رنگ و بافتی و همچنین استفاده از هر کدام از این ویژگیها اگر چه موفقیتهای نسبی برای طبقه بندی بدست آمد ولی بهترین دقت مدل طبقه بندی با استفاده از ترکیب خاصی از تعدادی از ویژگیها این هدف میسر گشت. استفاده از روش

منابع

- Balestani, A. M., P. AhmadiMoghaddam, A. M. motlaq&H. Dolaty. 2012. Sorting and Grading of Cherries on the Basis of Ripeness, Size and Defects by Using Image Processing Techniques. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4, 1144-1149.
- Blasco, J., N. Aleixos&E. Molt. 2003. Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit. *Biosystems Engineering*, 85, 415-423.
- Blasco, J., S. Cubero, J. Gómez-Sanchís, P. Mira&E. Moltó. 2009. Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision. *Journal of Food Engineering*, 90, 27-34.
- Donis-González, I. R., D. E. Guyer, A. Pease&F. Barthel. 2014. Internal characterisation of fresh agricultural products using traditional and ultrafast electron beam X-ray computed tomography imaging. *Biosystems Engineering*, 117, 104-113.
- Du, C.-J.&D.-W. Sun. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 230-249.
- ElMasry, G., S. Cubero, E. Moltó&J. Blasco. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 112, 60-68.
- Ercisli, S., B. Sayinci, M. Kara, C. Yildiz&I. Ozturk. 2012. Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing. *Scientia Horticulturae*, 133, 47-55.
- Hernández-Sánchez, N., B. P. Hills, P. Barreiro&N. Marigheto. 2007. An NMR study on internal browning in pears. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 260-270.
- Hu, B. G., R. G. Gosine, L. X. Cao&C. W. de Silva. 1998. Application of a fuzzy classification technique in computer grading of fish products. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 6, 144-152.
- Jackman, P., D.-W. Sun&P. Allen. 2011. Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meats. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 185-197.
- Khazaei, J., N. Ekrami-Rad, M. Safa&S.-Z. Nosrati. 2008. Effect of air-jet impingement parameters on the extraction of pomegranate arils. *Biosystems Engineering*, 100, 214-226.
- Khoshnam, F., A. Tabatabaeefar, M. G. Varnamkhasti&A. Borghei. 2007. Mass modeling of pomegranate (*Punica granatum*L.) fruit with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*, 117, 21-26.
- Liming, X.&Z. Yanchao. 2010. Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 715, 532-539.
- Luo, X., D. S. Jayas&S. J. Symons. 1999. Comparison of statistical and neural network methods for classifying cereal grains using machine vision. *Transactions of the ASAE*, 42(2), 413-419.
- Majumdar, S.&D. S. Jayas. 2000. Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASAE*, 43, 1681-1687.
- Manickavasagan, A., D. S. Jayas&N. D. G. White. 2008. Thermal imaging to detect infestation by *Cryptolestes ferrugineus* inside wheat kernels. *Journal of Stored Products Research*, 44, 186-192.
- Manickavasagan, A., D. S. Jayas, N. D. G. White&J. Paliwa. 2010. Wheat Class Identification Using Thermal Imaging. *Food Bioprocess Technol*, 3, 450-460.

- Melgarejo, P., J. J. Martínez, F. Hernández, R. Martínez-Font, P. Barrows & A. Erez. 2004. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae*, 10(1), 349–353.
- Mousavi Balestani, A., P. Ahmadi Moghaddam, A. Modares motlaq & H. Dolaty. 2012. Sorting and Grading of Cherries on the Basis of Ripeness, Size and Defects by Using Image Processing Techniques. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 16, 1144-1149.
- Ohali, Y. A. 2011. Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. *Journal of King Saud University –Computer and Information Sciences*, 23, 29-36.
- Paulsen, M. R., W. W. Casady, J. B. Sinclair & J. F. Reid. 1992. A trainable algorithm for inspection of soybean seed quality. *Transactions of the ASAE*, 35, 2027-2034.
- Pawar, M. M., S. Bhusari & A. Gundewar. 2012. Identification of Infected Pomegranates using Color Texture Feature Analysis. *International Journal of Computer Applications*, 43, 30-34.
- Riquelme, M. T., P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent & C. Valero. 2008. Olive classification according to external damage using image analysis. *Journal of Food Engineering*, 87, 371–379.
- S. Arivazhagan, R. N. Shebiah, S. S. Nidhyandhan & L. Ganesan. 2010. Fruit Recognition using Color and Texture Features. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 1, 90-94.
- Singh, D. B., A. R. P. Kingly & R. K. Jain. 2007. Studies on separation techniques of pomegranate arils and their effect on quality of anardana. *Journal of Food Engineering*, 79, 671–674.
- Zhang, B., W. Huang, Jiangbo Li, C. Zhao, S. Fan, J. Wu & C. Liu. 2014. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, 62, 326-343.
- Zhang, L. & M. J. McCarthy. 2012. Black heart characterization and detection in pomegranate using NMR relaxometry and MR imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 96-101.

Classification of Pomegranate Arils from Image Features Using Linear Discriminant Analysis

A. Mohammadzadeh¹, M. R. Golzarian^{1*}, M.H. Abbaspour-Fard¹

2014.10.31

2015.03.12

Introduction: Pomegranate fruit as one of the most popular fruits native to Iran, belongs to Punica family (*Punica granatum L.*). Iran with an annual production of about 700 tons is the largest producer of pomegranate fruits in the world. Colorfulness and healthiness are two important features of pomegranates, which cannot easily be controlled. Some negative characteristics of this fruit such as sun burning, cracking and scratching can reduce its economic value. Moreover, separating the arils from membrane (flesh) and sorting them based on their color and size is a laborious task which still is a challenging concern (Blasco *et al.*, 2003). Despite these challenges, the demand for “ready-to-eat” of arils is increasing. Up to now several devices have been proposed to remove the arils from membrane with different operation principles. However, these devices leave some membrane segments with arils and also make it difficult to sort the arils from color and size points of view (Khazaei *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2007). With the visual inspection methods, the external features of Bio-materials (e.g. shape, color and texture) can be evaluated. While for assessing their internal parameters, nondestructive methods such as MRI, X-RAY and NMR are preferred. To classify and identify bio-materials (e.g. fruits), several methods have been examined including Fuzzy technique (Hu *et al.*, 1998), Multilayer (Luo *et al.*, 1999) and Linear Discriminant Analysis (LAD) (Manickavasagan *et al.*, (2010). The primary objective of this research was to discriminate arils from membrane segments. Subsequently, the fruit components were classified into red, pink, white arils and membrane segments, using LAD method. Ultimately, the accuracy of classifications based on different images' features was evaluated.

Materials and methods: Pomegranate fruits of Khazar variety were provided from Kashmar gardens. Prior to imaging step the fruits were categorized in four groups each of 50 samples. The arils were ranked as red, pink and white using human sensory. The images of arils samples were prepared using a Nikon Coolpix digital camera (Nikon co, Japan), in a chamber having six LED lamps, from a distance of 15 cm. During image processing, the images were first converted into grayscale format and then transformed into binary images. Subsequently, several morphological (see table 2) and textural image (see Table 3) features were extracted for classification purpose. For color features three color spaces including RGB, HSI and L*a*b* were examined (see Fig 3). The arils were classified and discriminated from membrane using 12 morphological, 10 color and six textural features. Linear Discriminant Analysis (LAD) was employed for classification based on the mentioned features. The validity of input data was examined using the leave-one-out cross validation method. Statistical analysis was carried out using SPSS ver. 16.

Results and discussion: The classification accuracy of arils based on morphological features was about 97.53% and the membrane segments were discriminated from arils with accuracy of 95.06% (Table 4). The classification with color features provided the accuracy of 45% when the “R” component of the images was considered (Table 5). This is mainly due to similar red band of the arils classes. The accuracy of classification improved when HSI components were used and the accuracy of 84% was achieved (Table 6). The best accuracy of classification with color features observed using L*a*b* color space. In this case the accuracy was 89.1% (Table 6). In the final stage of classification, six textural features obtained from statistical moments including mean grayscale, standard deviation, third moment, evenness, entropy and homogeneity were used. As shown in Table 7 with these components the accuracy of classification improved up 93.3%. Considering the classification with different features (morphological, color and textural) it can be said that, in general, the accuracy of discriminating membranes from arils is less accurate than the accuracy of discrimination between different arils (red, pink and white). This was observed in all methods of classifications with different image features. With regard to the specific functionality of each extracted feature, the combination of the features was used for classification. Due to the increasing number of input features, the stepwise method was used for ranking of input

1, 2 and 3- Associate Professor, MSc Student and Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(* Corresponding Author Email: abaspour@um.ac.ir)

features. Out of 26 input features of classification model, 14 superior features were selected using stepwise method. The results of classification with the combination of different features are shown in Table 8. As it can be seen, the average accuracy of classification with the combination of features improved up to 99%. Fig. 4 shows the classification of the pomegranate components based on the combination of the features, using Linear Discriminant Analysis (LDA) method.

Conclusion: A classification model was employed to classify pomegranate arils and membranes, using Linear Discriminant Analysis method. To improve the accuracy of classification, different image features were extracted and examined. In order to achieve a higher accuracy, the combination of features was also tested. This improved the accuracy of classification up to 99%. Since the combination of features is a costly and time-consuming process, the stepwise method was used to rank and select the superior features before their use in classification step.

Keywords: pomegranate arils, image processing, statistical classification, assessment