

کنترل مراحل رسیدگی گوجه‌فرنگی گیلای پوشش‌دهی شده با ژل آلوه‌ورا با استفاده از سامانه بینایی مصنوعی

علی گنجلو^{1*}، محسن زندی²، ماندانا بی‌مکر¹، سمانه منجم³

1- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

2- استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

3- دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: 98/12/10 تاریخ پذیرش: 99/03/20)

چکیده

کنترل مراحل رسیدگی فراورده‌های کشاورزی طی نگهداری و درجه‌بندی کیفی آنها بر اساس مرحله رسیدگی از اهمیت بالایی برخوردار است. پوشش‌های خوراکی می‌توانند عمر انبارمانی فراورده‌های کشاورزی را افزایش دهند و از آنها طی عملیات جابجایی، نگهداری، فرآوری و عرضه به بازار مصرف محافظت نمایند. هدف از پژوهش حاضر ایجاد سامانه‌ای برای کنترل و جداسازی کیفی گوجه‌فرنگی گیلای در دو حالت با و بدون پوشش ژل آلوه‌ورا بر مبنای سامانه بینایی مصنوعی باشد. برای این منظور نخست خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل اسیدیته قابل تیتر (TA)، مواد جامد محلول کل (TSS) و سفتی بافت (F) گوجه‌فرنگی‌های گیلای در هر دو حالت اندازه‌گیری گردید. براساس این خصوصیات شاخص رسیدگی (RPI) تعیین گردید و نمونه‌ها بر اساس مرحله رسیدگی به دو درجه کیفی MS1 و MS2 طبقه‌بندی شدند. در ادامه با کمک سامانه بینایی مصنوعی با استفاده از دو سیستم تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، شبکه عصبی مصنوعی پس‌انتشار (BPNN) و با کمک خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر به‌صورت مجزا و با هم، نمونه‌ها طبقه‌بندی گردید. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که استفاده از خصیصه‌های رنگی و بافتی باهم سبب طبقه‌بندی با صحت بیشتر می‌گردد. در این میان با کمک 21 خصیصه رنگی و بافتی روش‌های PCA و BPNN قادر به جداسازی نمونه‌ها به ترتیب با دقت 85/72 و 98/21 بودند. صحت بالاتر روش BPNN به سبب عملکرد غیر خطی آن است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش حاکی از آن است که ژل آلوه‌ورا در به‌تاخیر انداختن فرایند رسیدن گوجه‌های گیلای به‌طور موفقیت آمیزی عمل می‌نماید و می‌توان از سامانه بینایی مصنوعی به عنوان یک روش غیرمخرب برای ارزیابی میزان رسیدگی گوجه‌فرنگی گیلای بر اساس خصیصه‌های رنگی و بافتی به‌طور کارآمد استفاده کرد.

کلیدواژگان: گوجه‌فرنگی گیلای، درجه رسیدگی، پردازش تصویر، تجزیه و تحلیل چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی پس‌انتشار.

* مسئول مکاتبات: aganjloo@znu.ac.ir

1- مقدمه

یکی از مباحث کاربردی در زمینه نگهداری و فراوری فراورده‌های کشاورزی بهبود تکنیک‌های سنتی و یا استفاده از تکنیک‌های نوین است. به‌علاوه ارائه فراورده‌هایی با کیفیت بالاتر و قیمت پایین‌تر یکی از راه‌های کاربردی برای رقابت در بازار فراورده‌های کشاورزی است. لذا استفاده از نیروهای انسانی و آزمون‌های تخریبی برای نیل به این اهداف باید محدود گردد. جداسازی و درجه‌بندی کیفی فراورده‌های کشاورزی یکی از کارهایی است که غالباً به روش سنتی و توسط نیروی انسانی انجام می‌پذیرد که عملاً تاثیر بسزایی بر هزینه نهایی دارد. علاوه بر زمان‌بر بودن انجام این فرایند، وجود تفاوت در تصمیم‌گیری به علت تفاوت در مهارت نیروهای انسانی به‌کار گرفته شده و در نتیجه عدم تکرارپذیری در درجه‌بندی توسط انسان به نوبه خود یکی از مشکلات مهم بر سر راه تصمیم‌گیری جامع در این زمینه است؛ چراکه فرایند انتخاب و درجه‌بندی بر اساس مجموعه‌ای از حواس پنج‌گانه صورت می‌پذیرد. درجه‌بندی فراورده‌های کشاورزی براساس مرحله رسیدگی به دلیل ارتباط آن با تغییرات خصوصیات شیمیایی و فیزیکی که به‌طور مستقیم بر انتخاب مصرف‌کننده تاثیرگذار است و همچنین می‌تواند در تعیین زمان مناسب انبارمانی نقش بسزایی داشته باشد، بسیار حایز اهمیت است [1]. بدین منظور مطالعات زیادی جهت بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی حین نگهداری بلند مدت و یا کوتاه مدت میوه‌ها و سبزیجات مختلف به‌منظور تعیین مرحله رسیدگی انجام شده است که تماماً متکی بر استفاده از تکنیک‌های عمدتاً مخرب می‌باشند. به علاوه این تکنیک‌ها زمان‌بر هستند و به مواد و معرف‌های شیمیایی و آماده‌سازی طولانی مدت نیاز دارند. در این راستا فاکتوری تحت عنوان شاخص رسیدگی¹ به‌منظور تعیین درجه رسیدگی برخی از میوه‌ها معرفی شد که عمدتاً تحت تاثیر تغییرات سفتی بافت، و نسبت قند به اسید می‌باشد [2].

مطالعاتی نیز جهت ارزیابی کارآمدی سامانه ماشین بینایی مصنوعی² و تکنیک پردازش تصویر³ براساس تغییرات فیزیکی و شیمیایی برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی کیفیت گیاهان و فراورده‌های کشاورزی صورت پذیرفته است [3]. براساس نتایج به‌دست آمده این تکنیک یکی از کارآمدترین روش‌های دستگاهی غیرمخرب برای بازرسی، جداسازی و درجه‌بندی فراورده‌های کشاورزی است. به‌علاوه، نیاز به زمان تجزیه و تحلیل کم، هزینه کم، دقت و صحت بالا از دیگر مزایای این تکنیک بشمار می‌رود [4].

گوجه‌فرنگی یکی از محبوب‌ترین فراورده‌های کشاورزی است که منبعی غنی از ویتامین‌ها، ترکیبات ضد اکسایش و فیبر بشمار می‌رود [5]. به‌علاوه، کاهش خطر ابتلا به برخی از سرطان‌ها، بیماری‌های قلبی-عروقی و پوکی استخوان با مصرف گوجه‌فرنگی گزارش شده است [6، 7]. براساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد⁴ در سال 2017 سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در جهان معادل 4/8 میلیون هکتار با میزان تولید جهانی معادل 182 میلیون تن بوده است [8]. با توجه به ارزش غذایی گوجه‌فرنگی و لزوم استفاده از آن در رژیم غذایی غذایی حجم صادرات و واردات این فراورده کشاورزی بسیار بالا است [9]. اما متأسفانه بخش بزرگی از این فراورده محبوب به دلیل عدم استفاده از روش‌های مناسب نگهداری حین مرحله پس از برداشت از بین می‌رود. لذا در سالیان اخیر استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی به‌منظور افزایش کیفیت فراورده‌های کشاورزی و مدت زمان ماندگاری آنها در حال مطالعه و توسعه است. توانایی بالای زل گیاه آلوئه‌ورا در تشکیل فیلم به سبب وجود پلی‌ساکاریدهایی نظیر گلوکومانان و گالاکتان، امکان استفاده از آن به عنوان یک پوشش غذایی مناسب را برای میوه و سبزیجات مختلف فراهم کرده است [10].

بررسی درجه رسیدگی گوجه‌فرنگی حین نگهداری به دلایلی از جمله تعیین مدت زمان مناسب انبارش و در اولویت قرار گرفتن برای عرضه به بازار از اهمیت بسزایی برخوردار است [11]. از میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، رنگ یکی از

2. Artificial vision system

3. Image processing

4. Food and Agriculture Organization

1. Ripening index (RPI)

مخلوط یکنواخت حاصل پس از عبور از صافی پارچه‌ای در دمای 75 درجه سلسیوس به مدت 5 دقیقه پاستوریزه شد [18]. در نهایت با افزودن آب مقطر استریل غلظت 75 درصد (حجمی/حجمی) از ژل آلئوئورا تهیه شد.

2-2- پوشش دهی گوجه‌فرنگی‌های گیلای

گوجه‌فرنگی‌های گیلای به مدت پنج دقیقه درون محلول ژل آلئوئورا غوطه‌ور شدند و به‌منظور افزایش کارایی پوشش‌دهی در فواصل معین (هر دقیقه یکبار) درون محلول چرخانده شدند. نمونه‌ها در پایان زمان پوشش‌دهی از محلول خارج شدند و روی یک توری جهت جداسازی محلول اضافی قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در معرض جریان هوا در دمای محیط خشک شدند. در انتها تمامی نمونه‌ها در ظروف یکبار مصرف بسته‌بندی و در دمای محیط (25 ± 1) درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 85 درصد به مدت 24 روز نگهداری شدند و نمونه برداری هر 4 روز یکبار صورت پذیرفت. دما و رطوبت نسبی در طول انبارش به‌طور مداوم کنترل و تنظیم گردید.

2-3- اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل⁵

اسیدیتة قابل تیترا⁶ و سفتی بافت

مواد جامد محلول کل توسط یک رفاکتومتر رومیزی با قرار دادن چند قطره از آب گوجه‌فرنگی گیلای روی منشور آن در دمای محیط اندازه‌گیری شد و نتایج به دست آمده بر اساس درجه بریکس بیان گردید.

اسیدیتة قابل تیترا از طریق تیترا کردن عصاره گوجه‌فرنگی گیلای با سدیم هیدروکسید 0/1 نرمال تا رسیدن به pH معادل 8/2 از طریق رابطه 1 محاسبه شد.

$$\text{رابطه 1} \quad TA (\%) = \frac{(V_{NaOH} \times N_{NaOH} \times M)}{V_J}$$

در این رابطه TA ، V_{NaOH} ، N_{NaOH} و M به ترتیب معادل اسیدیتة قابل تیترا بر حسب درصد، حجم سود مصرفی بر حسب میلی‌لیتر، نرمالیتة سود، میلی‌اکی والان سیتریک اسید (0/0064) و حجم عصاره مصرفی بر حسب میلی‌لیتر می‌باشند.

خصوصیات کیفی مهم فرآورده‌های کشاورزی است که می‌تواند شاخصی برای درجه رسیدگی، اسیدیتة، مزه و میزان قند باشد. از این‌رو تغییرات رنگ به‌طور گسترده به‌منظور ارزیابی کیفیت فرآورده‌های کشاورزی مختلف نظیر سیب و هلو [12-14]، انبه [15]، خیار [16]، پاپایا [4] و گوجه‌فرنگی [17] با استفاده از تکنیک پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه رنگ گوجه‌فرنگی یکی از شاخص‌های مهم جهت ارزیابی کیفیت و درجه رسیدگی توسط مصرف کنندگان محسوب می‌شود لذا در این پژوهش سعی بر این بوده است تا گوجه‌فرنگی‌های گیلای پوشش‌دار شده با ژل آلئوئورا طی مدت زمان نگهداری در دمای محیط از طریق تجزیه و تحلیل تغییرات فیزیکی و شیمیایی و پارامترهای رنگ با استفاده از سامانه ماشین بینایی مصنوعی و تکنیک پردازش تصویر براساس درجه رسیدگی‌شان درجه‌بندی شوند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیری صحیح درباره بهترین زمان نگهداری، عرضه به بازار و مصرف گوجه‌فرنگی گیلای پوشش‌دار شده بدون نیاز به استفاده از تکنیک‌های آزمایشگاهی مخرب کمک شایانی نماید.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد

گوجه‌فرنگی گیلای (*Solanum lycopersicum* L.) مورد استفاده در این پژوهش از بازار محلی زنجان تهیه شد. پس از انتقال به آزمایشگاه گوجه‌فرنگی‌های لک‌دار، آسیب‌دیده و بسیار ریز از سایر نمونه‌ها جدا شدند. گوجه‌فرنگی‌های باقی‌مانده به مدت پنج دقیقه با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند. برای آماده‌سازی ژل آلئوئورا، ابتدا برگ‌های تازه گیاه آلئوئورا از بازار محلی زنجان تهیه شد و در ادامه ضد عفونی و با آب مقطر آبکشی شدند. با استفاده از یک چاقوی دستی قسمت انتهایی برگ‌ها برش داده شد و با قرار دادن قسمت انتهایی آن در آب مقطر ماده تلخ مزه آن (آلئوئن) جدا گردید. ژل آلئوئورا با ایجاد برش طولی در برگ از قسمت میانی جدا گردید. ژل به‌دست آمده با استفاده از یک مخلوط کن خانگی تا رسیدن به محلول یکنواخت مخلوط شد.

5. Total soluble solids(TSS)

6. Titrable acidity (TA)

قابلیت چرخش و تغییر زاویه) انجام پذیرفت که امکان کنترل از راه دور نور درون محفظه فراهم بود.

2-5-2- تصویربرداری

تصویربرداری با کمک دوربین سونی (مدل DSC-H5، ژاپن) که به‌صورت عمود بر نمونه‌ها و در فاصله 30 سانتی‌متری قرار گرفته بود، انجام پذیرفت. تصاویر رنگی (RGB) خام با وضوح 3072×2304 و با قدرت تفکیک افقی و عمودی 72dpi و با فرمت PNG ذخیره گردید و به مراحل بعد ارسال شد.

2-5-3- ارتقاء و پردازش تصویر (تشخیص⁷)

تصاویر گرفته شده معمولاً دارای نویز و انعکاس هستند که این امر سبب می‌شود تا خصوصیات مورد نظر به درستی از تصاویر استخراج نگردند. در مرحله ارتقاء ابتدا پیکسل‌های بیش از حد روشن یا بیش از حد تیره (نویز) تصویر با کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار متلب R2019a (Mathworks، آمریکا) حذف گردید و سپس تصویر از پس‌زمینه جدا شد. برای این منظور ابتدا جزء قرمز تصویر RGB جدا گردید و سپس تصویر به‌دست آمده به تصویر خاکستری⁸ تبدیل شد؛ در ادامه این دو تصویر در هم ضرب شدند تا تصویر جدیدی ایجاد گردد. در نهایت برای حذف نویز از فیلتر میانه⁹ کمک گرفته شد. به‌منظور حذف پیش‌زمینه از روش آستانه‌گیری اوتسو¹⁰ استفاده شد. آستانه‌گیری در حقیقت فرایند تبدیل تصویر RGB به تصویر سیاه و سفید است. در این روش تصویر خاکستری به‌دست آمده از مرحله حذف نویز به تصاویر دودویی¹¹ (صفر و یک) تبدیل گردید (شکل 2). این عمل باعث ایجاد دو تصویر گوجه‌فرنگی گیلاسی و پس‌زمینه می‌گردد. سوراخ‌های موجود در سطح تصویر گوجه که ناشی از انعکاس بود توسط پیکسل‌های با مقدار صفر پر (سیاه) گردید. در ادامه کانال‌های R، G و B استخراج گردید.

برای اندازه‌گیری سفتی بافت از دستگاه بافت‌سنج (STM-5، سنتام، ایران) مجهز به یک نفوذکننده به شکل میله با نوک استوانه‌ای به قطر 5 میلی‌متر با سرعت ثابت 10 میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. حداکثر نیروی ثبت شده به عنوان سفتی بافت برحسب نیوتن گزارش شد. همه آزمون‌ها حداقل با سه تکرار انجام پذیرفت و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش گردید.

2-4- شاخص رسیدگی

به‌منظور ارزیابی جامع پارامترهای فیزیکی و شیمیایی از شاخص رسیدگی به عنوان یک پارامتر استاندارد برای تعیین مرحله رسیدگی استفاده می‌شود [14]. شاخص رسیدگی از طریق رابطه 2 محاسبه گردید.

$$\text{رابطه 2} \quad RPI = \ln \left(100 \times |F| \times \frac{TA}{TSS} \right)$$

2-5- سامانه بینایی مصنوعی

سامانه بینایی مصنوعی که با هدف تقلید از بینایی انسان و به‌منظور بررسی مشکلات طی نگهداری میوه و سبزیجات طراحی گردیده است دارای پنج مرحله اصلی است (شکل 1). تنظیم نور، تصویربرداری، ارتقاء و پردازش تصویر، استخراج خصیصه و طبقه‌بندی مراحل است که به فرآیند جداسازی با دقت و صحت بالا کمک می‌نماید.



Fig 1 Scheme of Artificial vision system (AVS) set-up.

2-5-1- تنظیم نور

مرحله تنظیم نور با کمک محفظه پردازش تصویر (جعبه سفید) با ابعاد 120×50×50 سانتی‌متر مجهز به دو صفحه LED با توان 15 وات در کف و سقف (نور سفید مهتابی) و دو لامپ LED با توان 9 وات در بالا و مقابل هم (نور سفید مهتابی، با

7. Segmentation

8. Gray scale image

9. Medianfilter

10. Otsu thresholding method

11. Binary images

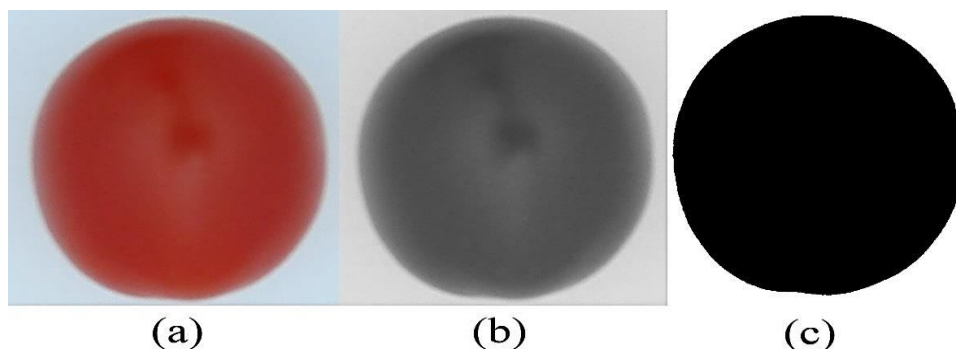


Fig 2 Otsu thresholding method (a) RGB image, (b) Gray scale image and (c) Binary image.

$$\text{رابطه 6} \quad \text{MeanR} = \frac{R}{N}$$

$$\text{رابطه 7} \quad \text{MeanG} = \frac{G}{N}$$

$$\text{رابطه 8} \quad \text{MeanB} = \frac{B}{N}$$

خصوصیات بافتی مورد استفاده در این پژوهش با هدف تشخیص عیوب ظاهری که ناشی از سیاهی یا سفیدی حاصل از کپک و یا هرگونه تغییر رنگ مشابهی است، می باشد. به این منظور چهار خصیصه کنتراست¹³، همبستگی¹⁴، انرژی و همگنی¹⁵ به طور جداگانه برای هر کانال رنگی با استفاده از ماتریس خاکستری هم وقوع (GLCM)¹⁶ تصاویر استخراج گردید و مجموعاً 12 خصیصه بافتی به دست آمد. خصیصه های استخراج شده از GLCM عبارتند از [20، 21]:

$$\text{رابطه 9} \quad \text{Contrast} = \sum_{i,j=1}^N |i-j|^2 P_{ij}$$

$$\text{رابطه 10} \quad \text{Correlation} = \sum_{i,j=1}^N P_{ij} \frac{(i-\mu)(j-\mu)}{\sigma^2}$$

$$\text{رابطه 11} \quad \text{Energy} = \sum_{i,j=1}^N P_{ij}^2$$

$$\text{رابطه 12} \quad \text{Homogeneity} = \sum_{i,j=1}^N \frac{P_{ij}}{1+|i-j|}$$

اگر هر تصویر یک ماتریس با Nx ستون و Ny سطر در نظر گرفته شود، آرایه های آن دارای میزان سطح خاکستری متفاوتی است.

2-5-4- استخراج خصیصه

به منظور طبقه بندی گوجه فرنگی گیلاسی بر اساس درجه رسیدگی می توان مجموعه ای از خصوصیات را انتخاب نمود. به این منظور ویژگی های رنگی و بافتی انتخاب گردید. رنگ معیارهای مهمی است که با تغییرات کیفی میوه ها و سبزیجات به طور معناداری مرتبط است. لذا تغییرات رنگ گوجه فرنگی گیلاسی طی نگهداری ارتباط نزدیکی با تغییرات کیفی آن دارد. رنگ در محیط RGB (قرمز، سبز و آبی) مجموعه ای از خصوصیات معنادار آماری برای تشخیص و جداسازی فراهم می آورد [19]. سه خصیصه رنگی متوسط رنگ (μ)، انحراف معیار (σ) و چولگی¹² هر کانال استخراج شده و مجموعاً 9 خصیصه رنگی به دست می آید [20]:

$$\text{رابطه 3} \quad \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

$$\text{رابطه 4} \quad \sigma = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \mu)^2 \right)^{0.5}$$

$$\text{رابطه 5} \quad \text{Skewness} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \mu)^3}{N \sigma^3}$$

که P_i برابر شدت هر کانال رنگی در هر پیکسل است. به منظور جداسازی گوجه فرنگی گیلاسی، متوسط R، G و B با کمک معادله 6 تا 8 از هر تصویر استخراج می شود و بسته به هر آزمون مقدار آستانه ای با الگوریتم مورد نظر انتخاب و مقدار متوسط با آن مقایسه می گردد [20].

13. Contrast

14. Correlation

15. Homogeneity

16. Gray level co-occurrence matrix (GLCM)

12. Skewness

2-5-5- طبقه‌بندی

برای طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی‌های گیلانی پوشش‌دار شده با ژل آلون‌ه‌ورا طی نگهداری در دمای محیط از خصوصیات رنگی و بافتی به‌دست آمده از تصویر RGB استفاده شد. به این منظور از دو روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)¹⁷ و سپس شبکه عصبی پس انتشار (BPNN)¹⁸ استفاده گردید. علت انتخاب دو روش جداگانه برای بررسی نوع رابطه (خطی یا غیرخطی) بین خصیصه‌ها با درجه رسیدگی می‌باشد. تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی یک روش تشخیص الگو خطی است که برای تجزیه و تحلیل، طبقه‌بندی و کاهش بعد داده‌های عددی استفاده می‌شود و امکان استخراج اطلاعات کاربردی را از آنها فراهم می‌سازد. تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی تنها با استفاده از متغیرهای رنگی انجام پذیرفت تا مشخص گردد که آیا می‌توان گوجه‌فرنگی‌های گیلانی پوشش‌دار شده را با کمک پارامترهای رنگی به‌عنوان یک آزمون غیرمخرب بسته به درجه رسیدگی طبقه‌بندی نمود [22]. شبکه عصبی پس انتشار الگوریتم خود یادگیرنده و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور¹⁹ است که اساساً برای آموزش شبکه استفاده می‌شود. فرآیند ایجاد شبکه عصبی مصنوعی شامل ایجاد پایگاه داده آموزش، ایجاد شبکه، آموزش شبکه و آزمون و اعتبارسنجی آن می‌باشد. سادگی، استفاده گسترده و قابلیت ایجاد الگوی طبقه‌بندی برای داده‌های که رابطه غیر خطی بین ورودی و خروجی آنها وجود دارد، از دلایل انتخاب این نوع از شبکه عصبی مصنوعی است [3]. شبکه عصبی پس انتشار قابلیت محاسبه خطا با وزن‌دهی به آن و نیز بهینه‌سازی عملکرد شبکه از طریق تنظیم این وزن‌ها را دارد تا میزان خطا را به حداقل ممکن برساند [23]. شبکه عصبی مصنوعی با کمک جعبه ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار متلب R2019a (Mathworks، آمریکا) انجام پذیرفت.

به‌منظور ارزیابی سیستم در فرآیند اعتبارسنجی متقابل به‌طور تصادفی 65 درصد تصاویر برای آموزش سامانه، 15 درصد

برای اعتبارسنجی و نیز 20 درصد به‌طور تصادفی برای آزمون سامانه استفاده شد. این فرآیند 40 مرتبه تکرار گردید که در همه آنها 65 درصد تصاویر برای آموزش سامانه، 15 درصد برای اعتبارسنجی و نیز 20 درصد به‌طور تصادفی برای آزمون سامانه اختصاص یافت.

2-6- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل واریانس با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه 24، آمریکا) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و در صورت معناداری اختلافات بین تیمارها ($p < 0.05$) از آزمون تعقیبی دانکن برای مشخص کردن تفاوت معنادار تیمارها استفاده شد. رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار اکسل نسخه 2016 و محاسبه نوار خطا²⁰ با کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه 24، آمریکا) انجام پذیرفت. آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام شدند.

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی تغییرات مواد جامد محلول کل،

اسیدیته قابل تیترو سفتی بافت گوجه‌فرنگی

گیلانی

با توجه به شکل 3 (الف) میزان مواد جامد محلول کل گوجه‌فرنگی‌های گیلانی طی انبارمانی در دمای محیط افزایش یافت به‌طوری که برای گوجه‌فرنگی گیلانی بدون پوشش میزان مواد جامد محلول کل در روز اول و در روز 24 به ترتیب معادل $5/5 \pm 0/10$ و $7/1 \pm 0/11$ درجه بریکس به‌دست آمد. این در حالی است که میزان مواد جامد محلول کل برای گوجه‌فرنگی‌های گیلانی پوشش‌دار شده با ژل آلون‌ه‌ورا در روز اول و روز 24 به ترتیب معادل $5/5 \pm 0/10$ و $6/ \pm 0/12$ درجه بریکس بود. به عبارتی با استفاده از ژل آلون‌ه‌ورا به عنوان پوشش خوراکی طبیعی می‌توان به میزان 9/09 درصد نسبت به نمونه بدون پوشش از افزایش میزان مواد جامد محلول کل جلوگیری نمود. نتایج به‌دست آمده با نتایج تحقیقات مشابه بر

17. Principal component analysis (PCA)

18. Backpropagation neural network (BPNN)

19. Feed-forward artificial neural network

20. Errorbar

روی انگور [18]، توت فرنگی [24] و هلو [25] مطابقت داشت. افزایش مواد جامد محلول کل طی انبارمانی به دلیل تجزیه آنزیمی پلی ساکاریدهای نامحلول و تبدیل به انواع محلول و همچنین شکسته شدن اسید به قند حین تنفس میوه می باشد [14]. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که استفاده از پوشش ژل آلوهورا می تواند تا حدی از افزایش میزان مواد جامد محلول کل جلوگیری نماید.

اسیدیت قابل تیترا گوجه فرنگی های گیلانی در طول انبارمانی در دمای محیط کاهش یافت اما میزان کاهش اسیدیت قابل تیترا در نمونه های پوشش دار شده با ژل آلوهورا نسبت به نمونه بدون پوشش به میزان $14/29$ درصد کمتر بود. براساس نتایج ارائه شده در شکل 3 (ب) میزان اسیدیت قابل تیترا گوجه فرنگی های گیلانی در روز اول معادل $0/84 \pm 0/02$ و در روز 24 نگهداری معادل $0/35 \pm 0/01$ و $0/47 \pm 0/02$ به ترتیب برای گوجه فرنگی های گیلانی بدون پوشش و پوشش دار شده با ژل آلوهورا بود. در طی رسیدگی محصولات کشاورزی اسیدها عمدتاً تجزیه و به قندها تبدیل می شوند [26]. لذا این امر می تواند در افزایش میزان مواد جامد محلول در طی رسیدگی تاثیر بسزایی داشته باشد. نتایج سایر مطالعات نیز حاکی از آن است که با اعمال پوششی از ژل آلوهورا بر میوه انگور و توت فرنگی اسیدیت قابل تیترا طی نگهداری در مقایسه به نمونه بدون پوشش کاهش کمتری می یابد [۱۸، ۲۴]. آنها کاهش شدت تنفس و سرعت تخریب اسیدهای آلی میوه های پوشش داده شده را عامل کاهش شدت افت اسیدیت قابل تیترا نمونه های پوشش دار شده نسبت به نمونه شاهد عنوان کرده اند. سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی نیز در طول انبارمانی در دمای محیط کاهش یافت. همان طور که در شکل 3 (ج) مشاهده می شود سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی بدون پوشش در طی دوره انبارمانی از $13/23 \pm 1/09$ نیوتن به $4/4 \pm 0/98$ نیوتن کاهش یافت در حالی که گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوهورا طی مدت زمان نگهداری مشابه به $6/3 \pm 0/95$ نیوتن کاهش یافت. در نتیجه با اعمال پوشش ژل آلوهورا می توان به میزان $14/36$ درصد از

کاهش سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی پوشش داده شده جلوگیری نمود. کاهش سفتی بافت محصولاتی نظیر سیب [۱۴، ۲۷]، پاپایا [4]، هلو [25]، گوجه فرنگی [28] و آواکادو [۲۹، ۳۰] طی دوره انبارمانی گزارش شده است که پژوهشگران دلیل نرم شدن بافت میوه های فرازگرا²¹ را به طور اختصاصی تخریب بافت در اثر تجزیه پلی ساکاریدهای نامحلول در دیواره سلولی به علت فعالیت آنزیم های نظیر پلی گالاکتورناز و پکتین متیل استراز و از دست رفتن فشار تورژسانس²² داخل سلول ها به دلیل از دست رفتن آب عنوان کرده اند [۲۸، ۳۱]. نتایج به دست آمده از بخش اندازه گیری مواد جامد محلول کل در این پژوهش نیز موید این مطلب است. در این راستا استفاده از پوشش های طبیعی خوراکی نظیر ژل آلوهورا، صمغ کتیرا و کیتوزان به ترتیب میزان نرم شدن بافت محصولاتی نظیر انگور [18]، هلو [25]، گوجه فرنگی [28] و فلفل دلمه ای [32] را از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پکتین و کاهش سرعت واکنش های متابولیک نظیر کاهش سنتز اتیلن طی نگهداری کاهش داده است.

در نهایت شاخص رسیدگی برای گوجه فرنگی های گیلانی بدون پوشش و پوشش دار شده با ژل آلوهورا طی دوره انبارمانی در دمای محیط با در نظر گرفتن تغییرات میزان مواد جامد محلول کل، اسیدیت قابل تیترا و سفتی بافت تعیین گردید. همان طور که در شکل 4 مشاهده می شود شاخص رسیدگی گوجه فرنگی های گیلانی با افزایش زمان انبارمانی در دمای محیط کاهش می یابد. در نمودار تغییرات شاخص رسیدگی دو مرحله شامل روز صفر تا $8 (MS^{23}1)$ و از روز 8 تا روز 24 ($MS2$) برای گوجه فرنگی های گیلانی بدون پوشش و دو مرحله شامل روز صفر تا $12 (MS1)$ و از روز 12 تا روز 24 ($MS2$) برای گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار قابل مشاهده است. در نتیجه اعمال پوشش ژل آلوهورا می تواند روند رسیدگی گوجه فرنگی های گیلانی در دمای محیط را به تعویق بیاورد.

21. Climacteric fruits

22. Turgor pressure

23. Maturity stage

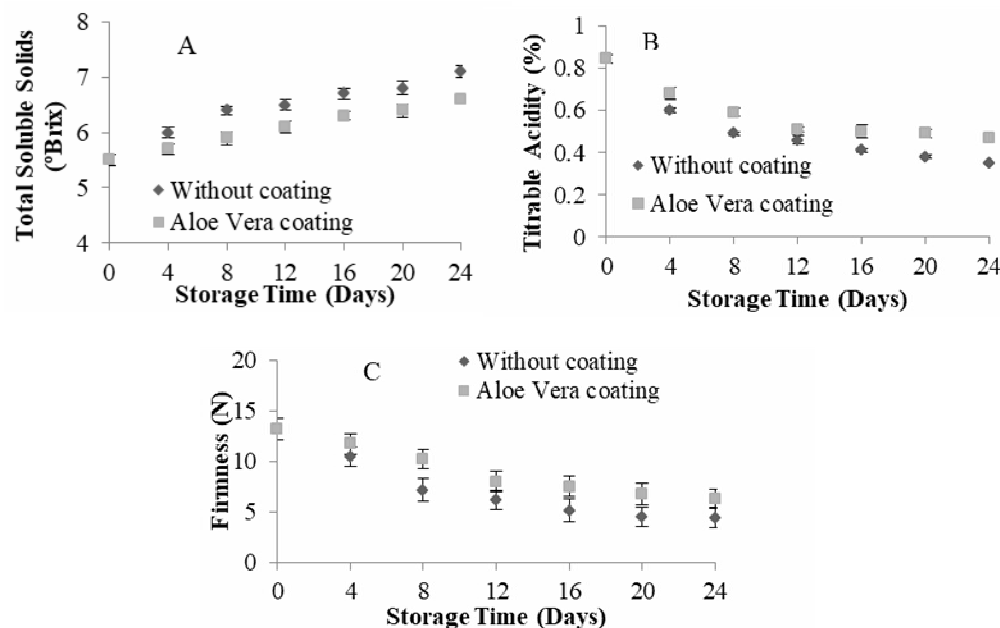


Fig 3 Changes in physicochemical properties of cherry tomatoes without and with *Aloe vera* gel coating during storage at ambient temperature (a) total soluble solids, (b) titrable acidity and (c) firmness.

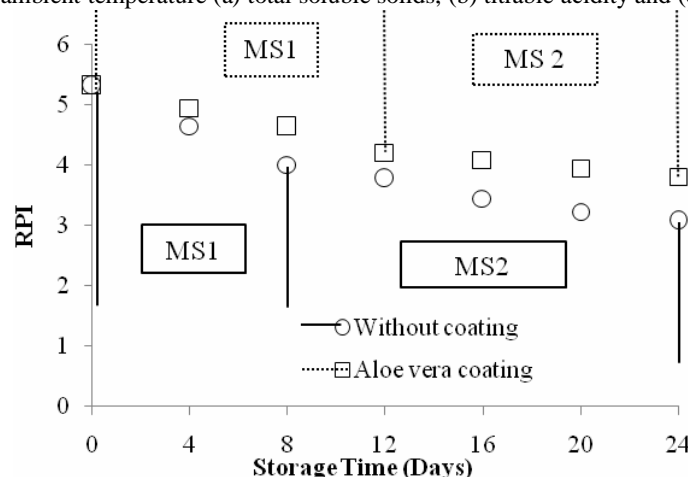


Fig 4 Ripening index (RPI) changes of cherry tomatoes without and with *Aloe vera* gel coating during storage at ambient temperature.

شرایطی را برای الگوریتم طبقه‌بندی ایجاد می‌نماید تا گوجه‌فرنگی‌های گیلانی با موفقیت بالایی بر اساس خصوصیات رنگی و بافتی استخراج شده از تصاویر جداسازی گردند. مجموعاً 168 گوجه‌فرنگی گیلانی (با و بدون پوشش) با دو درجه رسیدگی MS1 (کاملاً سالم) و MS2 (غیرسالم و دارای آسیب ظاهری یا بافتی) برای بررسی مورد استفاده قرار گرفت (شکل 5). خصیصه‌های اصلی رنگی (RGB) حاصل از دو درجه کیفی MS1 و MS2 در شکل 6 نشان داده شده است.

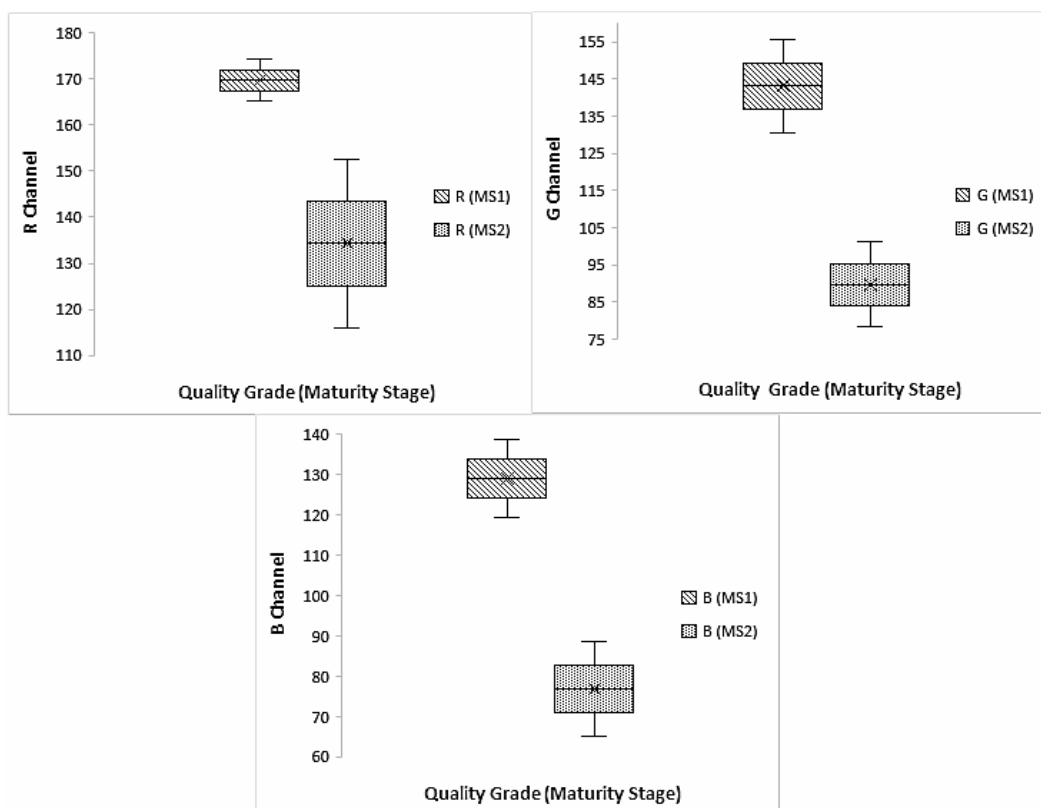
2-3- سامانه بینایی مصنوعی

در بخش قبل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی گیلانی با و بدون پوشش ژل آلون‌ورا طی نگهداری بررسی گردید و با کمک شاخص رسیدگی به دو درجه کیفی MS1 و MS2 طبقه‌بندی شدند. هدف از این بخش، بررسی امکان طبقه‌بندی آنها تنها با کمک خصوصیات رنگی و بافتی حاصل از تصویر است تا بدون انجام آزمون‌های تخریبی تشخیص مرحله رسیدگی فراهم گردد. در حقیقت معیار طبقه‌بندی براساس تصویر از آزمون فیزیکی و شیمیایی حاصل می‌شود و



MS1

MS2

Fig 5 Two ripening stages MS1 and MS2 derived for cherry tomatoes.**Fig 6** R, G and B color channels for two ripening stages MS1 and MS2 derived for cherry tomatoes.

قدرت تفکیک مربوط به استفاده از مجموع خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر بود که در این حالت 54/4 درصد تغییرات توسط اولین مؤلفه اصلی (PC1)، 21/1 درصد تغییرات توسط دومین مؤلفه اصلی (PC2) و 11/8 درصد تغییرات توسط سومین مؤلفه اصلی (PC3) تعیین گردید. اگرچه خصیصه رنگی و بافتی به تنهایی نتوانست به خوبی نمونه‌ها را از هم تفکیک نماید ولی تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی با کمک مجموع این خصوصیات توانست تفکیکی با قدرت تشخیص نسبتاً خوبی انجام دهد. با مشاهده شکل 7 (ج) می‌توان مشاهده نمود که تفکیک به خوبی صورت گرفته است.

3-2-1- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای بررسی توانایی سیستم در تشخیص دو درجه رسیدگی بر روی 84 نمونه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از طبقه‌بندی با تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در یک طرح سه بعدی با کمک خصیصه‌های رنگی، خصیصه‌های بافتی (مستخرج از تصویر) و مجموع خصیصه‌های رنگی و بافتی نشان داد که به ترتیب 79/1، 68/2 و 87/5 درصد تغییرات توسط آنها قابل پیش‌بینی است. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی روش خطی برای کاهش پیچیدگی پایگاه داده‌ها است. همان‌طور که به وضوح در شکل 7 مشاهده می‌شود با کمک ترکیبی از خصیصه‌های رنگی و بافتی، نمونه‌ها به دو گروه مجزا و قابل تفکیک، طبقه‌بندی شده‌اند. بهترین

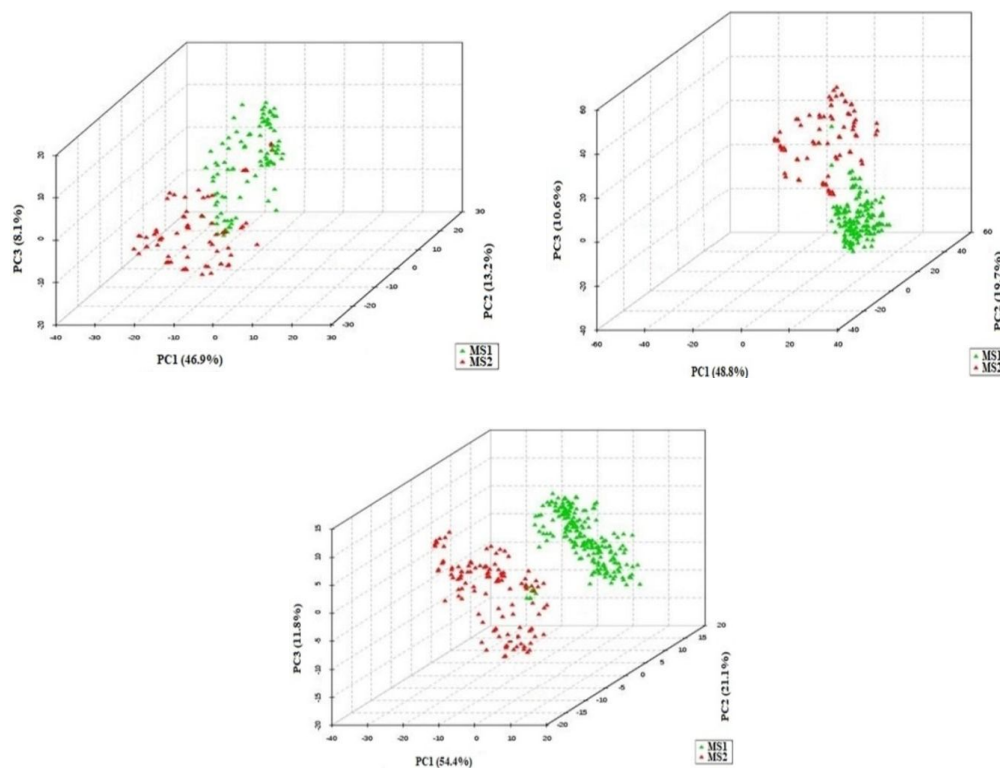


Fig 7 PCA results for cherry tomato (with/without coating) segregation based on ripening stages MS1 and MS2 using (a) color statistical features (b) color texture features and (c) color statistical and texture features.

است. در این ماتریس اعداد موجود بر روی و خارج قطر اصلی به ترتیب نشان‌دهنده گروه‌های صحیح و غلط از نظر طبقه‌بندی می‌باشد و تعداد گروه‌های پیش‌بینی شده و واقعی به ترتیب بر روی ستون‌ها و سطرها است.

اعتبارسنجی روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی با کمک خصیصه رنگی، بافتی و مجموعه خصیصه‌های رنگی و بافتی برای ارزیابی صحت عملکرد آن، با کمک 42 نمونه تصویر از گوجه‌فرنگی گیلاسی با دو درجه رسیدگی انجام پذیرفت که نتایج آن در ماتریس درهم‌ریختگی (جدول 1) نشان داده شده

Table 1 Confusion matrix for classification and validation of results using PCA.

| MSE | R ² | MS2 | MS1 | RPI | PCA | | |
|--------|----------------|--------------|--------------|-----|-----------------|--|--|
| 0.0623 | 0.9031 | 5 | 15 | MS1 | Without Coating | Color statistical features | |
| | | 16 | 6 | MS2 | | | |
| | | 76.19 | 71.14 | | | | |
| 0.0715 | 0.9101 | 5 | 19 | MS1 | With Coating | | |
| | | 11 | 6 | MS2 | | | |
| | | 68.75 | 76 | | | | |
| 0.0431 | 0.9235 | 4 | 16 | MS1 | Without Coating | | |
| | | 17 | 5 | MS2 | | | |
| | | 80.95 | 76.19 | | | | |
| 0.0401 | 0.9365 | 4 | 20 | MS1 | With Coating | Color texture features | |
| | | 13 | 5 | MS2 | | | |
| | | 76.47 | 80 | | | | |
| 0.0342 | 0.9521 | 4 | 18 | MS1 | Without Coating | | |
| | | 17 | 3 | MS2 | | | |
| | | 80.95 | 85.71 | | | | |
| 0.0314 | 0.9498 | 3 | 22 | MS1 | With Coating | Color statistical and texture features | |
| | | 14 | 3 | MS2 | | | |
| | | 88.23 | 88 | | | | |
| | | | | | Accuracy (%) | | |

همان‌طور که در جدول 1 مشاهده می‌گردد، صحت روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی با کمک خصیصه‌های رنگی یا بافتی حاصل از تصویر بالا نبود و خطا در جداسازی نسبتاً زیاد است. فاصله صحت اندازه‌گیری تا 100 درصد شاید به دلیل ارتباط غیرخطی بین خصیصه‌های حاصل از تصویر و درجه رسیدگی باشد؛ با این حال این روش با کمک خصیصه‌های رنگی و بافتی با هم توانست با صحت نسبتاً خوبی نمونه‌هایی که قبلاً با کمک شاخص رسیدگی تفکیک شده‌اند را جداسازی نماید. این تفکیک به‌طور میانگین با درجه صحت 85/72 درصد انجام شد. این روش همچنان توانست تغییر در روز 8 برای نمونه‌های بدون پوشش و تغییر در روز 12 برای نمونه‌های پوشش‌دار را تشخیص دهد. با توجه به احتمال وجود رابطه غیر خطی بین خصیصه‌های استخراج شده از تصویر و شاخص رسیدگی از روش شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار مورد بررسی قرار گرفت.

3-2-2- شبکه عصبی پس انتشار

در روش دیگر مقادیر حاصله از استخراج خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصاویر RGB جهت تشخیص ارتباط و همبستگی با درجه رسیدگی به‌دست آمده از شاخص رسیدگی توسط روش شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار مورد ارزیابی قرار گرفت. ایده اصلی این روش کاهش میزان خطا تا یادگیری داده‌های آموزشی توسط شبکه عصبی مصنوعی است. زمانی‌که

یادگیری سیستم به درستی انجام شده باشد و یادگیری اضافی نیاز نباشد، وزن‌ها ثابت می‌ماند. فرایند یادگیری شبکه عصبی مصنوعی با هدف ایجاد خروجی مطلوب با ورودی مشخص می‌باشد. در نتیجه مقدار خطا از تفاوت بین مقدار واقعی و پیش‌بینی شده به‌دست می‌آید [19]. ورودی‌ها بوسیله تابع انتقال به خروجی متصل می‌گردند. پس از ارزیابی شبکه‌بندی‌های (توپولوژی‌های) مختلف، شبکه پیش‌خور BPNN با تابع انتقال سیگموئید در لایه‌های پنهان و $\tanh x$ برای لایه ورودی و با کمک 21 خصیصه رنگی به عنوان ورودی و 4 لایه پنهان به‌عنوان بهترین توپولوژی انتخاب گردید. این توپولوژی با کمک تمام خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصاویر رنگی توانست طبقه‌بندی را با دقت 98/21 درصد انجام دهد که دقت بسیار بالایی است. از مجموع 168 گوجه‌فرنگی گیلانی (با و بدون پوشش) با دو درجه کیفی MS1 (کاملاً سالم) و MS2 (غیر سالم و دارای آسیب ظاهری یا بافتی)، 126 تصویر برای آموزش سامانه و 42 تصویر برای اعتبارسنجی و آزمون شبکه به‌کار رفت و نتایج بر اساس خصیصه‌های مختلف شامل خصیصه‌های رنگی، خصیصه‌های بافتی و مجموع خصیصه‌های رنگی و بافتی مورد بررسی قرار داده شد (جدول 2). بهترین توپولوژی قبل از آموزش دارای دقت 81/68 درصد بود که این دقت پس از آموزش تا 98/21 درصد افزایش پیدا کرد.

Table 2 Confusion matrix for classification and validation of results using BPNN.

| MSE | R ² | MS2 | MS1 | RPI | BPNN | |
|--------|----------------|--------------|--------------|-----|-----------------|--|
| 0.0210 | 0.9416 | 1 | 10 | MS1 | Without Coating | Color statistical features |
| | | 9 | 2 | MS2 | | |
| | | 90 | 83.33 | | | |
| 0.0234 | 0.9501 | 1 | 12 | MS1 | With Coating | |
| | | 7 | 1 | MS2 | | |
| | | 87.50 | 92.30 | | | |
| 0.0198 | 0.9521 | 1 | 11 | MS1 | Without Coating | |
| | | 9 | 1 | MS2 | | |
| | | 90 | 91.66 | | | |
| 0.0231 | 0.9545 | 0 | 13 | MS1 | With Coating | Color texture features |
| | | 7 | 1 | MS2 | | |
| | | 100 | 92.85 | | | |
| 0.0175 | 0.9768 | 0 | 11 | MS1 | Without Coating | |
| | | 10 | 0 | MS2 | | |
| | | 100 | 100 | | | |
| 0.0162 | 0.9882 | 0 | 13 | MS1 | With Coating | Color statistical and texture features |
| | | 7 | 1 | MS2 | | |
| | | 100 | 92.85 | | | |
| | | | | | Accuracy (%) | |

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از بررسی اثر پوشش ژل آلئوئورا بر شاخص رسیدگی و طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی گیلاسی بر اساس شاخص رسیدگی، طبقه‌بندی با کمک سامانه بینایی مصنوعی انجام پذیرفت. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی نشان داد که نگهداری سبب افزایش میزان مواد جامد کل، کاهش اسیدیته قابل تیتراژ، کاهش شاخص رسیدگی و کاهش سفتی بافت گردید و سرعت این تغییرات در گوجه‌فرنگی گیلاسی پوشش داده شده با ژل آلئوئورا به‌طور چشم‌گیری کمتر بود. گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی با کمک تغییرات شاخص رسیدگی به دو درجه کیفی MS1 و MS2 طبقه‌بندی شدند و نتایج نشان داد که اعمال پوشش ژل آلئوئورا می‌تواند روند رسیدگی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی در دمای محیط را به تعویق بیندازد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان داد که بیشترین دقت طبقه‌بندی (98/21 درصد) مربوط به روش شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار با بهره‌گیری از مجموع خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصاویر RGB بود. در این شبکه 21 خصیصه به‌عنوان ورودی، 4 لایه پنهان و تابع انتقال سیگموئید در لایه‌های پنهان و $\tanh x$ برای لایه ورودی در نظر گرفته شد. اگرچه روش تجزیه و تحلیل چند متغیره با کمک مجموع خصیصه‌های رنگی و بافتی توانست گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی را به دو درجه کیفی طبقه‌بندی نماید ولی دقت آن نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار کمتر بود (85/71). نتایج همچنین حاکی از آن است که استفاده از خصیصه‌های رنگی و بافتی به‌صورت مجزا سبب کاهش دقت می‌شود. این پژوهش ثابت نمود که امکان کنترل درجه رسیدگی و کیفی محصولات کشاورزی مانند گوجه‌فرنگی گیلاسی طی نگهداری با کمک سامانه بینایی مصنوعی فراهم می‌باشد.

5- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر حاصل از طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان با عنوان "استفاده از تکنیک پردازش تصویر برای طبقه‌بندی کیفی گوجه‌فرنگی پوشش‌دهی شده با ژل آلئوئورا طی نگهداری در دماهای مختلف" مورخ 1398/10/23 می‌باشد. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق ما را یاری کردند، سپاسگزاری می‌نمایم.

نتایج جدول 3 نشان‌دهنده موفقیت این شبکه در جداسازی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی با دقت بالایی است که این امر هم در نمونه‌های پوشش داده شده و هم در نمونه‌های بدون پوشش دیده می‌شود. همانند روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی این تکنیک طبقه‌بندی نیز با استفاده از مجموعه خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصاویر RGB توانست نسبت به حالت استفاده از خصیصه‌های رنگی و بافتی به‌طور مجزا جداسازی را با عملکرد بهتری انجام دهد.

3-2-3- مقایسه تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و

شبکه عصبی پس انتشار

همان‌طور که در نتایج قبلی مشخص شد، روش شبکه عصبی پس انتشار در مقایسه با روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی عملکرد بهتری در طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی گیلاسی به دو درجه کیفی (بر اساس نتایج شاخص رسیدگی) داشت و روش شبکه عصبی پس انتشار با کمک خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر توانست نمونه‌ها را با دقت بالای 98 درصد طبقه‌بندی کند (شکل 8). عملکرد بهتر شبکه عصبی پس انتشار در مقایسه با روش دیگر شاید به سبب ایجاد رابطه غیرخطی بین ورودی و خروجی آن باشد، در حالی که روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی دارای رابطه خطی است. این امر نشان‌دهنده ارتباط غیرخطی بین خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر و درجه کیفی گوجه‌فرنگی گیلاسی است. آزمون کای اسکوتر ($p < 0/05$) برای بررسی عملکرد این شبکه برای انواع گوجه‌فرنگی گیلاسی نشان داد که این شبکه به خوبی عمل می‌کند.

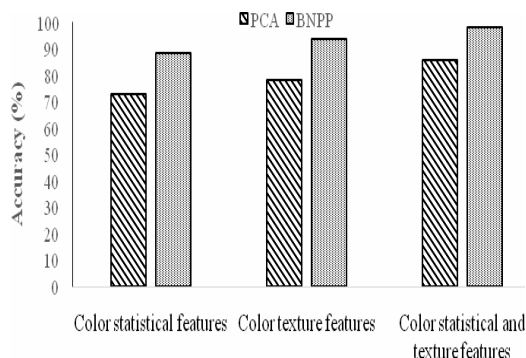


Fig 8 Accuracy level of classification using color statistical features, color texture features and color statistical and texture features through BPNN and PCA methods.

6- منابع

- [11] Zhang. 2015, Predicting fruit maturity stage dynamically based on fuzzy recognition and color feature. In: 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS). IEEE, 944-948.
- [12] Bhatt, A.K., and D. Pant, Automatic apple grading model development based on back propagation neural network and machine vision, and its performance evaluation. *AI & Society*, 2015, 30: p. 45-56.
- [13] Li, C., Q., Cao, and F. Guo, 2009, A method for color classification of fruits based on machine vision. *SEAS Transactions on Systems*, 8: 312-321.
- [14] Cardenas-Perez, S., J., Chanona-Perez, J. V., Mendez-Mendez, G., Calderon-Dominguez, R., Lopez-Santiago, M. J., Perea-Flores, and I., Arzate-Vazquez, 2017, Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. *Biosystems Engineering*, 159:46-58.
- [15] Nagle, M., K., Intani, G., Romano, B., Mahayothee, V., Sardud, and J., Müller, 2016, Determination of surface color of all yellow mango cultivars using computer vision. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9:42 -50.
- [16] Guoxiang, S., L., Yongbo, W., Xiaochan, H., Guyue, W., Xuan, and Z., Yu, 2016, Image segmentation algorithm for greenhouse cucumber canopy under various natural lighting conditions *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9: 130-138.
- [17] Nyalala, I., C., Okinda, L., Nyalala, N., Makange, Q., Chao, K., Yousaf, and K., Chen, 2019, Tomato volume and mass estimation using computer vision and machine learning algorithms: Cherry tomato model. *Journal of Food Engineering*, 263: 288-298.
- [18] Valverde, J.M., D., Valero, D., Martinez-Romero, F., Guillen, S., Castillo, and M., Serrano, 2005, Novel coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 7807-7813.
- [19] Costa, A.Z.da., H.E.H., Figueroa, and J. A., Fracaroli, 2020, Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning. *Biosystems Engineering*, 190: 131-144.
- [1] Magwaza, L.S. and U.L. Opara, 2015, Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products: a review. *Scientia Horticulture*, 184: 179-192.
- [2] Vasquez-Caicedo, A. L., P., Sruamsiri, R., Carle, and S., Neidhart, 2005, Accumulation of all-trans- β -carotene and its 9-cis and 13-cis stereoisomers during postharvest ripening of nine Thai mango cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4827-4835.
- [3] Wan, P., A., Toudeshki, H., Tan, and R., Ehsani, 2018, A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 146: 43-50.
- [4] Pereira, L. F. S., S., Barbon Jr., N. A., Valous, and D. F., Barbin, 2018, Predicting the ripening of papaya fruit with digital imaging and random forests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145: 76-82.
- [5] Rizzolo, A., M., Vanoli, L., Spinelli, and A., Torricelli, 2010, Sensory characteristics, quality and optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy in stored apples. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1): 1-12.
- [6] Bhowmik, D., K.P.S., Kumar, S., Paswan, and S., Srivastava, 2012, Tomato-a natural medicine and its health benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1: 33-43.
- [7] Chang, C.H., H.Y., Lin, C.Y., Chang, and Y.C., Liu, 2006, Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 77: 478-485.
- [8] FAOSTAT, Food and Agriculture Organization (FAO), Statistics, 2017 Ed. <http://www.fao.org/faostat/en>. 2017.
- [9] Van de Poel, B., I., Bulens, M.L.A.T.M., Hertog, L., Van Gastel, M.P., De Proft, B.M., Nicolai, and A.H., Geeraerd, 2012, Model-based classification of tomato fruit development and ripening related to physiological maturity. *Postharvest Biology and Technology*, 67: 59-67.
- [10] Rodriguez Rodriguez, E., J., Darias Martin, and C. Diaz Romero, 2010, Aloe vera as a Functional Ingredient in Foods. *Critical Reviews in Food Science*, Xiao, Q., W. Niu, and H.

- [27] Rutkowski, K.P., B. Michalczuk, and P.,Konopacki, 2008, Nondestructive determination of 'Golden Delicious' apple quality and harvest maturity. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 39-52.
- [28] Breda, C. A., D., LuryMorgado, B.,Garrido de Assiso, andM. C., Teixeira Duarte, 2017, Effect of chitosan coating enriched with pequi (*Caryocarbrasiliense*Camb.) peel extract on quality and safety of tomatoes (*Lycopersiconesculentum* Mill.) during storage. *Journal of Food Processingand Preservation*, 1-8.
- [29] Defilippi, B.G., T. Ejsmentewicz, and M.P., Covarrubias, 2018, Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of 'Hass' avocados (*Perseaamericana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 128: 142-151.
- [30] Sierra, N.M., A., Londono, J.M., Gomez, A.O., Herrera, and D.A., Castellanos, 2019, Evaluation and modeling of changes in shelf life, firmness and color of 'Hass' avocado depending on storage temperature. *Food Science and Technology International*, 1-15.
- [31] Lin, W.C., 2003, Quality of stored greenhouse sweet peppers influenced by storage temperatures and pre-harvest factors. *Journal of Postharvest Technology*, 5: 12-16.
- [32] Mohebbi, M., N., Hasanpour, E., Ansarifar, and M. R., Amiryousefi, 2012, Physicochemical properties of bell pepper and kinetics of its colorchange influenced by *aloe vera* and gum tragacanth coatings during storage at different temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-10.
- [20] Arakeri, M.P., and Lakshmana, 2016, Computer vision based fruit grading system for quality evaluation of tomato in agriculture industry. *Procedia Computer Science*, 79: 426-433.
- [21] Ireri, D., E., Belal, C., Okinda, N., Makange, andC., Ji, 2019, A computer vision system for defect discrimination and grading in tomatoes using machine learning and image processing. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2: 28-37.
- [22] Wen, T., L., Zheng, S., Dong, Z., Gong, M., Sang, X., Long, M., Luo, and H., Peng, 2019, Rapid detection and classification of citrus fruits infestation by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) based on electronic nose. *Postharvest Biology and Technology*, 147: 156-165.
- [23] Kaur, S., A., Girdhar, and J.,Gi, 2018, Computer vision-based tomato grading and sorting. *Advances in Data and InformationSciences*, 38: 75-84.
- [24] Emamifar, A., 2015, Evaluation of *Aloe vera* gel effect as an edible coating on microbial, physicochemical and sensorial characteristics of fresh strawberry during storage. *Innovative Food Technologies*, 2(2): 15-29.
- [25] Hazrati, S., A., BeyraghdarKashkooli, F., Habibzadeh, Z., Tahmasebi-Sarvestani, and A.R., Sadeghi,2017, Evaluation of *Aloe veragel* as an alternative edible coating for peach fruits during cold storage period. *GesundePflanzen*, 69: 131-137.
- [26] Obledo-Vazquez, E.N. and J. Cervantes-Martínez, 2017, Quality, bioactive compounds and antioxidant capacity of selected climacteric fruits with relation to their maturity. *Scientia Horticulture*, 221: 33-42.

Ripening Stages Control of Cherry Tomato Coated with *Aloe Vera* Gel using Artificial Vision System

Ganjloo, A. ^{1*}, Zandi, M. ², Bimakr, M. ¹, Monajem, S. ³

1. Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3. MSc Student of Food Technology, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received: 2020/02/29 Accepted: 2020/06/09)

It is important to control the ripening stages of agricultural products during storage and their quality grading based on their ripening stage. Edible coatings can prolong the storage life of agricultural products and protect them through the handling, storage, processing and marketing. The purpose of the current study was to develop an artificial vision system for quality control and segregation of cherry tomatoes in two different conditions including with and without *Aloe vera* gel coating. For this purpose, physicochemical properties including titrable acidity, total soluble solids and firmness of cherry tomatoes were measured in both conditions. Based on these properties, the ripening index (RPI) was determined and the samples were classified to MS1 and MS2 according to the ripening stage. Subsequently, the samples were classified using color features, color texture features separately and their combination through principal component analysis (PCA) and back propagation neural network (BPNN). Classification results showed that the use of color and color texture features combination made the classification more accurate; PCA and BPNN methods were able to segregate the samples with high accuracy (85.72 and 98.21, respectively) using the 21 color and color texture features. The higher accuracy of the BPNN method is due to its nonlinear performance. The results of this study indicate that *Aloe vera* gel is promising in delaying the ripening process of cherry tomatoes and artificial vision system can be used as a non-destructive method for evaluation of cherry tomato ripening level based on the color and color texture features.

Keywords: Cherry tomato, Degree of maturity, Image processing, Multivariate analysis, Backpropagation artificial neural network.

* Corresponding Author E-Mail Address: aganjloo@znu.ac.ir