



درجه‌بندی بصری گوجه‌فرنگی گیلایی پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا حاوی روغن شاهدانه با روش‌های تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی

علی گنجلو^{۱*}، محسن زندی^۲، ماندانا بی‌مکر^۱، سمانه منجم^۳

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

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

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فناوری مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

کلمات کلیدی:

پردازش تصویر،

گوجه‌فرنگی گیلایی،

شاخص رسیدگی،

منطق فازی.

DOI: 10.52547/fsct.18.116.143

* مسئول مکاتبات:

aganjloo@znu.ac.ir

در پژوهش حاضر، در قدم اول تاثیر پوشش ژل آلوه‌ورا (۷۵ درصد حجمی/حجمی) حاوی غلظت‌های مختلف از روغن شاهدانه (۱-۵ درصد حجمی/حجمی) بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی گیلایی حین دوره نگهداری در دمای محیط بررسی گردید. نتایج به دست آمده حاکی از توانایی روغن شاهدانه جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی گیلایی حین دوره نگهداری می‌باشد هرچند اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۳ و ۵ درصد مشاهده نگردید ($p > 0.05$). تغییر شیب در روند تغییرات شاخص رسیدگی برای نمونه پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا ۷۵ درصد در روز ۱۲ و برای نمونه پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه در روز ۱۶ رخ داد. با استفاده از یک سامانه پردازش تصویر نیز تغییرات نمونه‌های پوشش‌دار شده بر اساس خصیصه‌های رنگی و بافت حاصل از تصویر بررسی و به روش‌های مختلف درجه‌بندی شدند. نتایج حاکی از آن است که روش‌های تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و شبکه عصبی مصنوعی توانستند گوجه‌فرنگی گیلایی را به دو درجه سالم و معیوب تقسیم نماید که روش شبکه عصبی مصنوعی با کمک خصیصه‌های بافتی نمونه‌ها را با صحت بالاتری درجه‌بندی نمود (۹۷/۴۱ درصد). روش انفیس نسبت به دو روش دیگر قدرت تشخیصی بالاتری داشت و توانست با صحت درجه‌بندی معادل ۹۸/۹۶ درصد نمونه‌ها را به سه درجه سالم، درجه دو و غیرقابل مصرف درجه‌بندی نماید.

۱- مقدمه

گوجه فرنگی جزء خانواده سولاناسه^۱ و یکی از محصولات مهم کشاورزی است [۱]. براساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهان، چین و ایران به ترتیب با تولید بیش از ۶۱ میلیون تن و ۶ میلیون تن در سال ۲۰۱۸ اولین و ششمین کشور تولید کننده گوجه فرنگی در دنیا بودند [۲]. گوجه فرنگی گیلاسی یکی از واریته های گوجه فرنگی و از جمله محصولات کشاورزی فرازگرا^۲ است که در مرحله پس از برداشت متحمل تغییرات شدیدی می شود و لذا عمر پس از برداشت نسبتاً کوتاهی دارد. از روش های معمول برای افزایش طول عمر پس از برداشت گوجه فرنگی که به عنوان یکی از چالش های مهم در مبحث نگهداری پس از برداشت محصولات مطرح است می توان به استفاده از اتمسفر کنترل شده، نگهداری در دمای پایین و رطوبت کنترل شده اشاره نمود که عمدتاً روش های پرهزینه و در برخی موارد حتی ممکن است سرمازدگی گوجه فرنگی را نیز به همراه داشته باشند [۳]. در سالیان اخیر از پوشش های خوراکی طبیعی با منشاء پلی ساکاریدها، پروتئین ها، لیپیدها و یا مخلوطی از آنها به عنوان یک روش موثر برای کاهش سرعت واکنش های تخریبی ویژگی های کیفی محصولات کشاورزی استفاده شده است [۴]. آلوه ورا با نام علمی *barbadensis* *Aloe miller* گیاهی همه ساله و متعلق به خانواده ی لیلیاسه^۳ و از جنس *Aloe* است که دارای برگ هایی سبز رنگ، گوشتی، لکه دار، سفت و با لبه های دندانه دار و بدون کرک است. آلوه ورا محبوب ترین گونه ی جنس آلوه می باشد که بومی آفریقا است و به طور معمول در نواحی گرمسیری رشد می نماید [۵، ۶]. بررسی منابع نشان می دهد از ژل آلوه ورا به دلیل توانایی آن برای تشکیل فیلم خوراکی بر پایه ترکیبات پلی ساکاریدی و ویژگی های ضد اکسایشی، ضد ویروسی، ضد التهابی و ضد میکروبی به طور موفقیت آمیزی با هدف افزایش ماندگاری محصولاتی نظیر سیب [۷]، هلو [۸] و توت فرنگی [۹] استفاده شده است.

نفوذناپذیری نسبت به گازها از عوامل تاثیرگذار بر کارآمدی پوشش های خوراکی هستند که متأسفانه پوشش های بر پایه پلی ساکاریدها خصوصیات نفوذناپذیری ضعیفی در برابر بخار آب دارند. از این رو استفاده از یک ترکیب لیپیدی در ترکیب

4. Cannabidiol
5. Total soluble solids (TSS)
6. Titrable acidity (TA)
7. Ripening index
8. Machine vision system

1. Solanaceae
2. Climacteric
3. Liliaceae

پوشش خوراکی بر پایه پلی ساکاریدها سبب بهبود این ویژگی خواهد شد. روغن شاهدانه غنی از ترکیبات ضد اکسایشی نظیر توکوفرول ها و کاروتن ها است. روغن شاهدانه عمدتاً از اسیدهای چرب غیراشباع به ویژه لینولئیک اسید (6-ω) و آلفا لینولئیک اسید (3-ω) تشکیل شده است که سبب ارزش غذایی منحصر بفرد این روغن نسبت به بسیاری از روغن های مشابه می شود [۱۰]. به علاوه، روغن شاهدانه دارای کانابیدول^۴ است که خواص ضد میکروبی و ضد قارچی آن اثبات شده است [۱۱].

تغییرات وزن، pH، مواد جامد محلول کل^۵، اسیدیته قابل تیتر^۶، رنگ و بافت در اثر تعریق، تنفس، افزایش رسیدگی و پیری از جمله تغییرات فیزیکی و شیمیایی در مرحله پس از برداشت هستند که می توانند بر کیفیت و بازاریابی گوجه فرنگی تاثیر بسزایی داشته باشند [۱۲]. لذا ارزیابی و تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و تغذیه ای حین مرحله پس از برداشت از اهمیت بسزایی برخوردار است. به طوری که با اندازه گیری این تغییرات به عنوان شاخص می توان محصولات کشاورزی را برای ارائه محصولی بازاریابند براساس میزان رسیدگی درجه بندی نمود. به علاوه افزایش توانایی در درجه بندی براساس میزان رسیدگی و در نتیجه تشخیص زمان مناسب برای عرضه محصول به بازار سبب کاهش خسارت به تولیدکنندگان و عرضه کنندگان فرآورده های کشاورزی از این دست می گردد. در برخی مطالعات از شاخص رسیدگی^۷ به عنوان یک خصیصه استاندارد به منظور درجه بندی فرآورده های کشاورزی براساس میزان رسیدگی از طریق ارزیابی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی از جمله نسبت قند به اسید و بافت استفاده شده است [۱۳-۱۵]. این ارزیابی ها را می توان به کمک نیروی انسانی آموزش دیده و با تجربه و یا با تکیه بر روش های آزمایشگاهی انجام داد. ارزیابی های انسانی اغلب با خطا همراه است و به علاوه مستلزم پرداخت هزینه بالا کارگری نیز می باشد [۱۶]. از طرفی روش های آزمایشگاهی نیز نسبتاً پیچیده و زمان بر و عمدتاً مخرب هستند. در نتیجه استفاده از ابزارهای نوین جایگزین ارزان تر، ساده تر و غیرتخریبی برای اندازه گیری تغییرات فیزیکی و شیمیایی محصولات کشاورزی به منظور درجه بندی ضروری است. سامانه بینایی ماشین^۸ از

آمده با استفاده از یک مخلوطکن خانگی (GOSONIC، چین) یکنواخت گردید و پس از عبور از صافی پارچه‌ای در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه پاستوریزه شد [۲۴]. ژل آلوه‌ورا با غلظت نهایی ۷۵ درصد (حجمی/حجمی) با افزودن آب مقطر استریل از ژل خالص تهیه شد. روغن شاهدانه با استفاده از دستگاه پرس سرد استخراج شد و تا زمان اجرای آزمایش در جای خنک و تاریک نگهداری گردید. به‌منظور تهیه ژل آلوه‌ورا حاوی روغن شاهدانه مقدار مشخصی از ژل آلوه‌ورا ۷۵ درصد به‌طور جداگانه با غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد (حجمی/حجمی) از روغن شاهدانه و ۱ درصد توئین ۸۰ (SAMCHUN CHEMICALS، کره جنوبی) به‌عنوان امولسیون‌کننده به کمک یک همزن مغناطیسی (PIT300، ایران) به مدت ۵ دقیقه مخلوط شد و در نهایت توسط یک دستگاه هموژنایزر (MTOPS-SR30، کره جنوبی) با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۵ دقیقه یکنواخت گردید.

۲-۲- پوشش‌دهی گوجه‌فرنگی‌های گیلای با ژل آلوه‌ورا حاوی روغن شاهدانه

گوجه‌فرنگی‌های گیلای به‌طور جداگانه به‌مدت پنج دقیقه درون محلول‌های ژل آلوه‌ورا حاوی درصد‌های مختلف از روغن شاهدانه غوطه‌ور شدند و به‌منظور افزایش کارایی پوشش‌دهی در فواصل معین (هر دقیقه یکبار) درون آن چرخانده شدند. نمونه‌ها در پایان زمان پوشش‌دهی از محلول پوشش‌دهنده خارج شدند و روی یک توری جهت جداسازی محلول اضافی قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در معرض جریان طبیعی 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 ۸۵ درصد به مدت ۲۴ روز نگهداری شدند و نمونه‌برداری هر ۴ روز یکبار صورت پذیرفت. دما و رطوبت نسبی در طول انبارش به‌طور مداوم کنترل و تنظیم گردید.

۲-۳- آزمون‌ها

۲-۳-۱- اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل

مواد جامد محلول کل از طریق قرار دادن چند قطره از عصاره گوجه‌فرنگی گیلای روی منشور یک رفراکتومتر رومیزی (KERN، آلمان) در دمای محیط اندازه‌گیری شد و نتایج به‌دست آمده براساس درجه بریکس گزارش شد.

جمله این ابزارهای نوین درجه‌بندی است که متشکل از دوربین تصویربرداری دیجیتال، سامانه نورپردازی و نرم‌افزار پردازش تصویر می‌باشد [۱۷]. استفاده از این سامانه در سیستم‌های بازرسی منجر به عدم تخریب نمونه، کاهش هزینه و زمان لازم برای دستیابی به پاسخ و عدم اتکا به فرد جهت برآورد تغییرات فیزیکی و شیمیایی در مقایسه با روش‌های متداول می‌گردد [۱۸]. در سالیان اخیر پژوهش‌های متعددی مبتنی بر استفاده از سامانه بینایی ماشین به‌منظور بازرسی برخط^۹ و غیرمخرب در حوزه محصولات کشاورزی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به درجه‌بندی سیب بر اساس میزان صدمات سطحی به کمک تکنیک پردازش تصویر [۱۹]، ارزیابی کیفی میوه‌ها و سبزی‌ها [۲۰] و درجه‌بندی توت‌فرنگی [۲۱]، انبه [۲۲] و سیب [۲۳] براساس میزان رسیدگی، درجه‌بندی پسته‌های بدون پوست [۲۳] اشاره کرد. بررسی منابع در دسترس حاکی از آن است که مطالعه‌ای در زمینه استفاده از ژل آلوه‌ورا حاوی روغن شاهدانه به‌منظور کاهش سرعت واکنش‌های تخریبی ویژگی‌های کیفی و همچنین انجام درجه‌بندی گوجه‌فرنگی‌های گیلای پوشش‌دار شده حین دوره نگهداری براساس میزان رسیدگی به کمک سامانه بینایی ماشین صورت پذیرفته است. از آنجایی‌که پیشرفت و توسعه تکنیک‌های پردازش تصویر و سامانه‌های بینایی ماشین منجر به افزایش امکان‌پذیری استفاده از آنها در خطوط بازرسی به صورت برخط می‌شود. لذا هدف از این پژوهش طراحی و اجرای یک سامانه بینایی ماشین برای بررسی روند رسیدگی و درجه‌بندی گوجه‌فرنگی‌های گیلای پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا حاوی روغن شاهدانه حین دوره نگهداری در دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی مواد اولیه

در این پژوهش گوجه‌فرنگی‌های گیلای سالم، تقریباً یک اندازه و عاری از هرگونه صدمه دیدگی از بازار محلی زنجان تهیه گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت پنج دقیقه با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند. ژل آلوه‌ورا از قسمت میانی برگ‌های تازه گیاه آلوه‌ورا پس از جداسازی ماده تلخ مزه آن (آلوئن) به‌دست آمد. ژل به‌دست

9. On-line inspection

۲-۳-۲- اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراژ

بدین منظور عصاره گوجه‌فرنگی گیلانی پس از صاف شدن با کاغذ صافی با سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال در حضور فنل‌فتالین تا رسیدن به pH معادل ۸/۲ تیتراژ گردید و در نهایت میزان اسیدیته قابل تیتراژ از طریق رابطه ۱ محاسبه شد [۲۵].

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{TA}\% = V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times M / V_j$$

در این رابطه V_j ، N_{NaOH} ، V_{NaOH} ، M و V_j به ترتیب معادل اسیدیته قابل تیتراژ بر حسب درصد، حجم سود مصرفی بر حسب میلی‌لیتر، نرمالیه سود، میلی‌اکی والان سیتریک اسید (۰/۰۶۴) و حجم عصاره مصرفی بر حسب میلی‌لیتر می‌باشند.

۲-۳-۳- اندازه‌گیری سفیدی بافت

سفیدی بافت گوجه‌فرنگی‌های گیلانی در دمای محیط توسط دستگاه بافت‌سنج (STM-5، ستام، ایران) مجهز به یک پروب میله‌ای شکل با قطر ۵ میلی‌متر و سرعت نفوذ در بافت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه اندازه‌گیری و برحسب نیوتن گزارش شد.

۲-۳-۴- اندازه‌گیری شاخص رسیدگی

به‌منظور ارزیابی جامع خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی از شاخص رسیدگی به‌عنوان یک خصیصه استاندارد برای تعیین مرحله رسیدگی استفاده می‌شود [۱۳]. شاخص رسیدگی از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{RPI} = \ln(100 \times |F| \times \frac{\text{TA}}{\text{TSS}})$$

در این رابطه F ، TA و TSS به ترتیب نشان‌دهنده سفیدی بافت، اسیدیته قابل تیتراژ و مواد جامد محلول کل است

۲-۴- سامانه بینایی ماشین

۲-۴-۱- سامانه تصویربرداری، پیش‌پردازش و استخراج خصیصه

سامانه بینایی ماشین مورد استفاده در این پژوهش با بهره‌گیری از سامانه ایجاد شده در پژوهش پیشین [۲۶] و ایجاد تغییراتی در الگوریتم مرحله تشخیص و درجه‌بندی ایجاد گردید (شکل ۱). سامانه بینایی ماشین طراحی شده از یک محفظه تصویربرداری سفید مجهز به سیستم نورپردازی تشکیل شده است که سیستم نورپردازی شامل لامپ‌های LED و SMD ثابت و متحرک با قابلیت چرخش و تغییر زاویه و نیز امکان

کنترل از راه دور می‌باشد. تصویربرداری در این سامانه با کمک دوربین سونی (مدل DSC-H5، ژاپن) و عمود بر نمونه‌ها و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری انجام پذیرفت. به این منظور دوربین در حالت اتوماتیک با حداکثر دیافراگم ۵/۶f و فاصله کانونی ۱۸ میلی‌متری قرار داده شد و تصاویر خام با فرمت PNG و وضوح ۳۰۷۲×۲۳۰۴ و با قدرت تفکیک افقی و عمودی ۷۲dpi به‌دست آمد. تصاویر RGB به‌دست آمده به‌منظور استخراج هرچه بهتر خصیصه‌ها پیش پردازش شدند. بدین منظور ابتدا نویز و انعکاس تصویر با کمک فیلتر میانه^{۱۰} حذف گردید و در ادامه از فیلتر گوسین^{۱۱} برای محو کردن و هموارسازی تصویر استفاده شد. تصویر از پس‌زمینه آن با استفاده از تکنیک تفریق تصویر و با روش آستانه‌گیری اوتسو^{۱۲} جدا گردید و برای ایجاد تمایز، تصویر خاکستری به تصویر دودویی^{۱۳} (صفر و یک) با استفاده از روش اوتسو^{۱۴} تبدیل شد؛ در نهایت سوراخ‌های موجود در سطح تصویر که ناشی از انعکاس نور بود توسط پیکسل‌های با مقدار صفر (سیاه) پر گردید و کانال‌های R، G و B استخراج گردید. در نهایت تصاویر از محیط RGB به مختصات CIE Lab تبدیل شدند و مقادیر L^* ، a^* و b^* به‌دست آمد. تمامی مراحل پیش‌پردازش با کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب (Mathworks) R2019a، آمریکا انجام شد.

مجموعه‌ای از خصیصه‌های رنگی و بافت بعد از پیش‌پردازش تصاویر از آن‌ها استخراج گردید. متوسط رنگ، انحراف معیار، چولگی، متوسط هر کانال رنگی، خلوص رنگ یا کروما^{۱۵} (C^*) و زاویه رنگ^{۱۶} (h^*) خصیصه‌های رنگی بودند (جدول ۱).

هدف از استخراج خصیصه‌های بافتی نظیر کنتراست^{۱۷}، همبستگی^{۱۸}، انرژی و همگنی^{۱۹} تشخیص هرگونه آسیب بافتی ناشی از آسیب فیزیکی، فساد، رسیدگی بیش از حد و هر نوع عیوب ظاهری دیگر بود (جدول ۱).

10. Median filter
11. Gaussian kernel filter
12. Otsu thresholding method
13. Binary image
14. Otsu's method
15. Chroma
16. Hue angle
17. Contrast
18. Correlation
19. Homogeneity

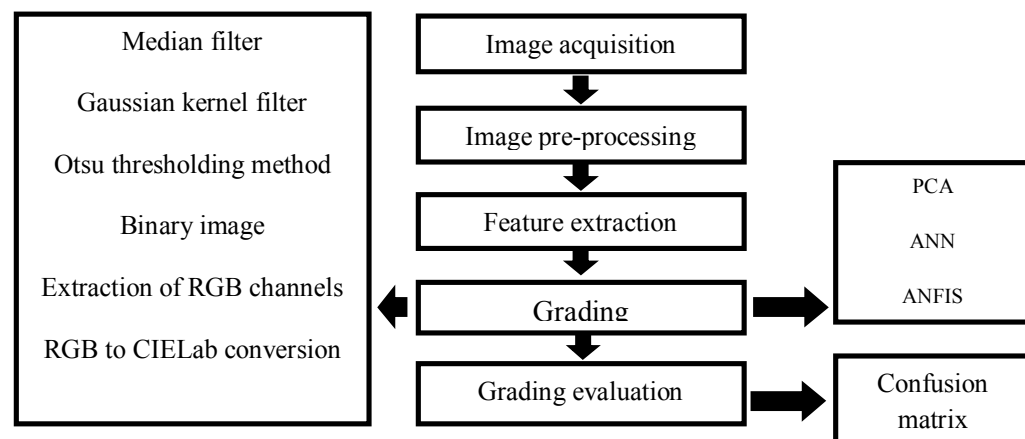


Fig 1 Proposed image processing algorithm.

Table 1 Color statistical and color texture features extracted from images.

Features type	Features name	Equation
Color statistical features	Color mean	$(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$
	Standard deviation	$(\sigma) = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \mu)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$
	Skewness	$\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \mu)^3}{N\sigma^3}$
	Mean R	$\frac{R}{N}$
	Mean G	$\frac{G}{N}$
	Mean B	$\frac{B}{N}$
	Hue angle	$h^* = \arctan(b^*/a^*)$
Color texture features	Chroma	$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
	Contrast	$\sum_{i,j=1}^N i-j ^2 P_{ij}$
	Correlation	$\sum_{i,j=1}^N P_{ij} \frac{(i-\mu)(j-\mu)}{\sigma^2}$
	Energy	$\sum_{i,j=1}^N P_{ij}^2$
	Homogeneity	$\sum_{i,j=1}^N \frac{P_{ij}}{1 + i-j }$

Refrence: [28, 27]

۲-۴-۲- درجه بندی

مصنوعی (ANN)^{۲۱} و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی (انفیس (ANFIS))^{۲۲} مورد استفاده قرار گرفت.

برای درجه بندی گوجه فرنگی های گیلاسی براساس خصیصه های استخراجی از تصاویر سه روش مختلف شامل تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی (PCA)^{۲۰}، شبکه عصبی

21. Artificial neural network (ANN)

22. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)

20. Principal component analysis (PCA)

توابع عضویت نیز به آنها اختصاص داده شد. انفیس از طریق مدل‌سازی غیرخطی فرایندهای فازی‌سازی، استنباط و غیر فازی‌سازی را در پنج مرحله فازی‌سازی خصیصه‌های ورودی، ایجاد پایگاه داده مجموعه فازی، ایجاد پایه قواعد فازی، تصمیم‌گیری و غیر فازی‌سازی خروجی انجام می‌دهد.

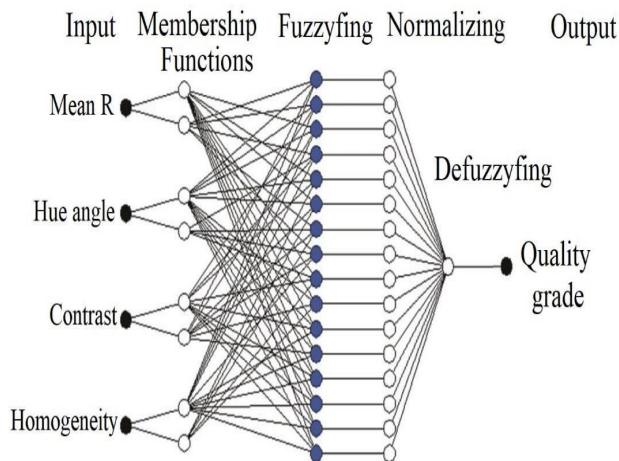


Fig 2 ANFIS structure.

بر اساس مطالعات انجام شده پیشین [۲۶] و نیز آزمون‌های حسی غیررسمی از مصرف کننده سه سطح کیفی برای خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر (کم، متوسط و زیاد) استفاده گردید (شکل ۳) و گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بر اساس درجه کیفی به سه گروه سالم، درجه دو، غیرقابل مصرف تقسیم گردید (شکل‌های ۴ و ۵). در سیستم انفیس طراحی شده در این پژوهش برای مکانیسم استنتاج از روش حداکثری-حداقلی ممدانی با کمک توابع عضویت گاوسی^{۲۷} و دوزنقه‌ای^{۲۸} استفاده گردید. این سیستم ۸۱ قانون براساس توابع عضویت برای ورودی‌ها در نظر گرفته است. به‌عنوان مثال اگر مقدار زاویه رنگ، همبستگی، مقدار متوسط کانال رنگ قرمز و کنتراست متوسط باشد، آنگاه درجه کیفی گوجه‌فرنگی گیلاسی از نوع درجه دو است. قواعدی هم برای خروجی تعریف گردید و توسط غیر فازی‌سازی خروجی به عدد تبدیل گردید. آموزش و تطبیق با انفیس با کمک ترکیبی از الگوریتم پس انتشار خطا و روش حداقل مربعات (الگوریتم یادگیری پیوندی) انجام پذیرفت؛ به‌منظور اعتبارسنجی متقابل ۷۵ درصد داده‌ها به‌طور تصادفی برای آموزش سیستم و ۲۵ درصد از آنها هم برای اعتبارسنجی به‌کار برده شد. پیاده سازی انفیس با کمک جعبه ابزار منطق فازی نرم‌افزار متلب R2019a (Mathworks، آمریکا) انجام شد.

۲-۴-۱- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

تکنیک تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی یک روش تشخیص الگوی خطی است. در این پژوهش با کمک خصیصه‌های رنگی (شامل متوسط رنگ، انحراف معیار، چولگی و متوسط هر کانال) و نیز خصیصه‌های بافت حاصل از تصویر (شامل کنتراست، همبستگی، انرژی و یکنواختی) در ماتریسی با ۱۴۰ مقدار میانگین اقدام به درجه‌بندی گردید. برای این منظور روابط بین متغیرها با کمک مربع پیرسون مشخص شد و سهم متغیرها^{۲۳}، مقادیر ویژه^{۲۴}، بارهای عاملی^{۲۵} و درصد واریانس اجزاء اصلی مشخص گردید. تمامی مراحل با کمک جعبه ابزار مربوطه در نرم‌افزار متلب R2019a (Mathworks، آمریکا) انجام شد.

۲-۴-۲- شبکه عصبی مصنوعی

به‌منظور بررسی ارتباط غیرخطی بین داده‌های ورودی و خروجی از شبکه عصبی پس انتشار (BPNN)^{۲۶} استفاده گردید. طراحی شبکه عصبی در این پژوهش به گونه‌ای است که ورودی آن شامل تمامی خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر و خروجی آن درجه کیفی گوجه‌فرنگی گیلاسی (سالم و معیوب) است. بدین منظور انواع مختلف تابع انتقال در لایه‌های ورودی و پنهان و نیز تعداد لایه پنهان بین ۱ تا ۴ لایه بررسی گردید تا بهترین پیکربندی به‌دست آید. در نهایت به‌منظور اعتبارسنجی متقابل ۶۰ درصد تصاویر به‌طور تصادفی برای آموزش سیستم، ۱۵ درصد از آنها برای اعتبارسنجی و ۲۵ درصد نیز به‌طور تصادفی برای آزمون سامانه به‌کار برده شد و این فرایند با همین نسبت‌ها ۱۰۰ مرتبه تکرار گردید. بررسی شبکه عصبی مصنوعی با کمک جعبه ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار متلب R2019a (Mathworks، آمریکا) انجام شد.

۲-۴-۳- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی (انفیس)

سیستم انفیس از فازی‌سازی جهت توصیف فرایندها استفاده می‌کند [۲۹]. در پژوهش حاضر از قواعد اگر-آنگاه فازی به‌منظور ارزیابی درجه کیفی گوجه‌فرنگی گیلاسی پوشش‌دار استفاده گردید. سیستم انفیس طراحی شده شامل ۴ ورودی (متوسط R، زاویه رنگ، کنتراست و همبستگی) و یک خروجی (درجه کیفی (سالم، درجه دو و غیر قابل مصرف)) است (شکل‌های ۲ و ۵). این خصیصه‌های رنگی و بافت حاصل از تصویر به‌عنوان مجموعه فازی تعریف گردید و

23. Variable contribution

24. Eigen values

25. Factor loading

26. Back propagation neural network (BPNN)

27. Gaussian

28. Trapezoidal

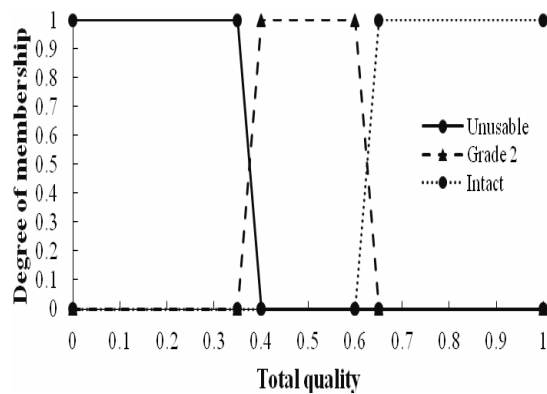


Fig 4 Membership function (output) of cherry tomato quality grades.



Fig 5 Grades of cherry tomatoes based on their quality (For ANFIS).

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار غلظت روغن شاهدانه (در چهار سطح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد) و زمان نگهداری (در هفت سطح صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ روز) و در سه تکرار طراحی گردید و داده‌ها پس از جمع‌آوری با استفاده از نرم‌افزار Minitab (نسخه ۱۷، آمریکا) تجزیه و تحلیل شدند. از آزمون توکی^{۲۹} برای مشخص کردن تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ صورت پذیرفت. آزمون‌ها حداقل با سه تکرار انجام پذیرفت و نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش گردید.

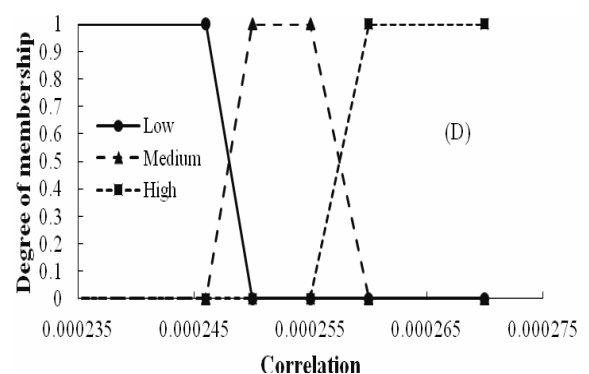
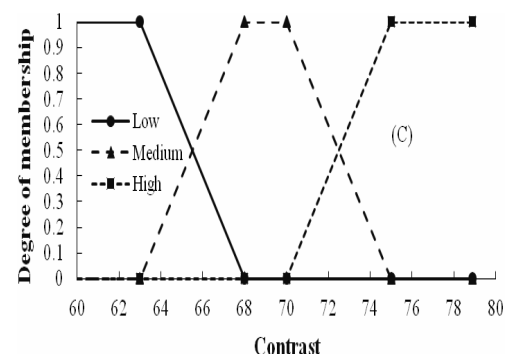
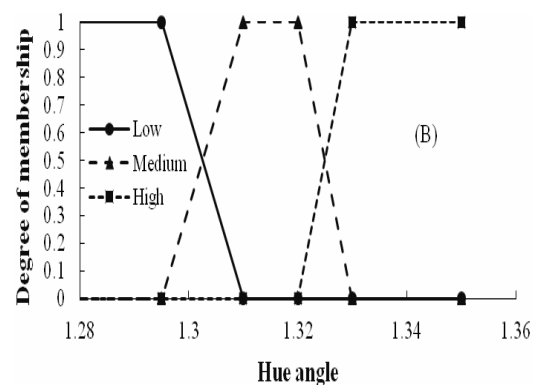
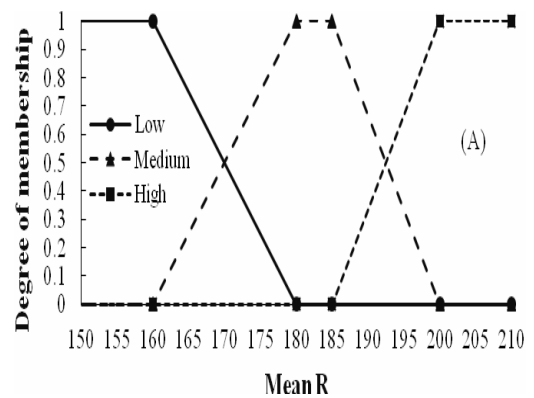


Fig 3 Sample of membership function for (A) Red color, (B) Hue angle, (C) Contrast and (D) Correlation.

29. Tukey's test

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی

گوجه فرنگی گیلانی

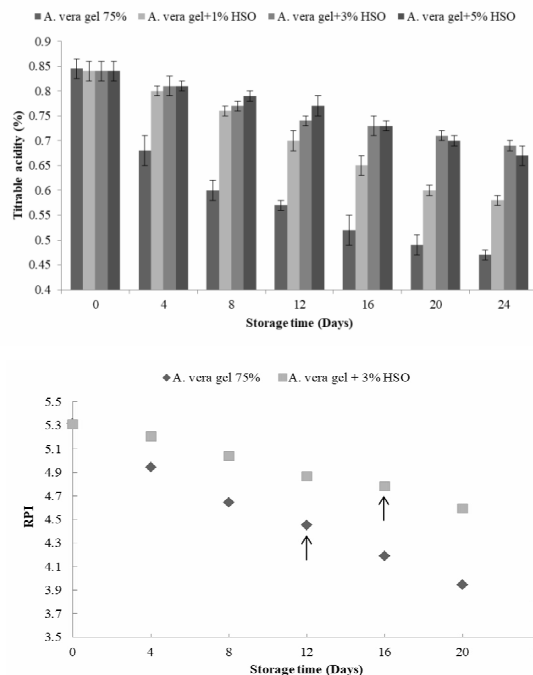
روند تغییرات میزان مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیترو سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد حاوی درصدهای مختلف از روغن شاهدانه در دوره نگهداری به ترتیب در شکل ۶ الف، ب و ج نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده میزان مواد جامد محلول کل گوجه فرنگی های گیلانی حین دوره نگهداری افزایش یافت (شکل ۴- الف). افزایش مواد جامد محلول کل عمدتاً به دلیل افزایش متابولیسم و هیدرولیز نشاسته و پکتین به قندهای ساده تر حین دوره نگهداری رخ می دهد [۱۳]. همان طور که در شکل ۶- الف ملاحظه می شود میزان مواد جامد محلول کل برای گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد به تنهایی در روز اول و روز ۲۴ به ترتیب معادل $5/5 \pm 0/10$ و $6/6 \pm 0/12$ درجه بریکس بود. با افزایش میزان روغن شاهدانه در محدوده ۵-۱ درصد روند افزایشی میزان مواد جامد محلول کل کاهش یافت هرچند که اختلاف معنی داری بین سطوح ۳ و ۵ درصد روغن شاهدانه مشاهده نگردید ($p > 0/05$). نتایج به دست آمده حاکی از آن است که با افزودن روغن شاهدانه به پوشش خوراکی ژل آلوئه ورا به طور کارآمدی می توان روند رسیدگی گوجه فرنگی گیلانی را به تعویق انداخت. دوویل-روزابال و همکاران (۲۰۱۵) با افزودن روغن زیتون به پوشش کیتوزان و نسرين و همکاران (۲۰۲۰) با افزودن روغن نارگیل به پوشش موم زنبور عسل و استفاده به عنوان پوشش به ترتیب برای گوجه فرنگی [۳۰] و لیمو [۳۱] به نتایج مشابهی دست یافتند.

تغییرات اسیدیته قابل تیترو گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد حاوی درصدهای مختلف از روغن شاهدانه حین دوره نگهداری در شکل ۶- ب نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود اسیدیته قابل تیترو تمامی تیمارها در طول دوره نگهداری کاهش یافت اما میزان کاهش اسیدیته قابل تیترو در نمونه های پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد حاوی روغن شاهدانه نسبت به نمونه پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد به تنهایی به طور معنی داری کمتر بود ($p < 0/05$). براساس نتایج ارائه شده در شکل ۶- ب میزان اسیدیته قابل تیترو گوجه فرنگی های گیلانی

پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد به تنهایی معادل $44/38$ درصد و پوشش ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد حاوی روغن شاهدانه در محدوده $31/36 - 18/34$ درصد حین دوره نگهداری کاهش یافت. براساس نتایج آماری تفاوت معنی داری بین سطوح ۳ و ۵ درصد روغن شاهدانه مشاهده نگردید ($p > 0/05$). روند تغییرات اسیدیته در گوجه فرنگی های پوشش دار شده با کیتوزان حاوی روغن زیتون [۳۰] و لیمو های پوشش دار شده با موم زنبور عسل حاوی روغن نارگیل [۳۱] مشابه روند تغییرات اسیدیته در پژوهش حاضر بود. در مطالعات پیشین کاهش شدت تنفس و سرعت تخریب اسیدهای آلی به عنوان عامل کاهش شدت افت اسیدیته قابل تیترو نمونه های پوشش دار شده عنوان شده است [۹].

سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی نیز حین دوره نگهداری در دمای محیط کاهش یافت. همان طور که در شکل ۶- ج مشاهده می شود سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد به تنهایی از $13/23 \pm 1/09$ نیوتن به $6/3 \pm 0/95$ نیوتن کاهش یافت در حالی که سفتی بافت گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد حاوی روغن شاهدانه در پایان دوره نگهداری در محدوده $7/4 \pm 0/79 - 8/11 \pm 0/74$ نیوتن قرار داشت. در نتیجه با افزودن روغن شاهدانه در محدوده ۵-۱ درصد به ژل آلوئه ورا می توان به میزان $14/86 - 28/73$ درصد از کاهش سفتی بافت نسبت به نمونه پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد به تنهایی جلوگیری نمود. تجزیه پلی ساکاریدهای نامحلول در دیواره سلولی به علت فعالیت آنزیم هایی نظیر پلی گالاکتوروناز و پکتین متیل استراز [۳۲] و از دست رفتن فشار تورژسانس^{۳۰} داخل سلول ها به دلیل از دست رفتن آب را می توان دلیلی برای کاهش سفتی بافت طی دوره نگهداری معرفی نمود [۳۱]. از این رو استفاده از پوشش های طبیعی خوراکی نظیر ژل آلوئه ورا حاوی روغن زیتون، موم زنبور عسل حاوی روغن نارگیل به ترتیب میزان نرم شدن بافت محصولاتی نظیر گوجه فرنگی [۳۰] و لیمو [۳۱] را حین دوره نگهداری از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پکتین و کاهش سرعت واکنش های متابولیک نظیر کاهش سنتز اتیلن کاهش داده است. شاخص رسیدگی گوجه فرنگی های گیلانی پوشش دار شده با ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد به تنهایی و ژل آلوئه ورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه حین دوره نگهداری در دمای محیط با در نظر

پوشش‌دار شده با ژل آلونهورا ۷۵ درصد به تنهایی و دو مرحله شامل روز صفر تا ۱۶ و از روز ۱۶ تا روز ۲۴ برای گوجه فرنگی‌های گیلای پوشش‌دار شده با ژل آلونهورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه قابل مشاهده است. در نتیجه افزودن روغن شاهدانه به ژل آلونهورا می‌تواند روند رسیدگی گوجه‌فرنگی‌های گیلای در دمای محیط را به تعویق بیندازد.



گرفتن تغییرات میزان مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتر و سفتی بافت تعیین گردید. همان‌طور که در شکل ۶-د مشاهده می‌شود شاخص رسیدگی گوجه‌فرنگی‌های گیلای با افزایش زمان نگهداری در دمای محیط کاهش می‌یابد. در نمودار تغییرات شاخص رسیدگی دو مرحله شامل روز صفر تا ۱۲ و از روز ۱۲ تا روز ۲۴ برای گوجه فرنگی‌های گیلای

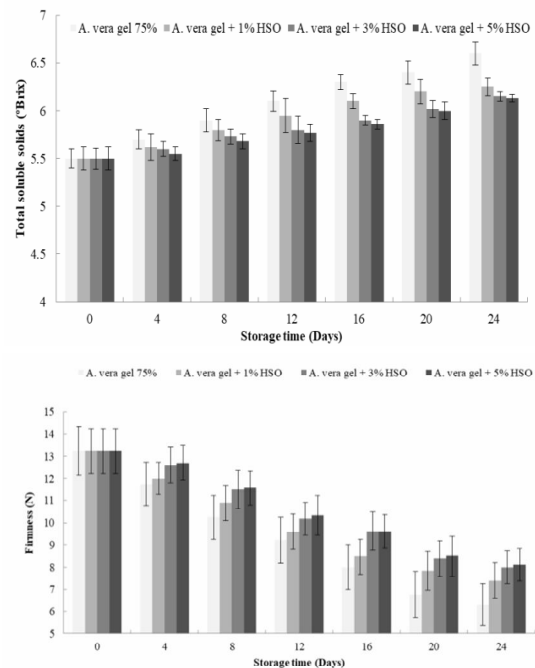


Fig 6 Physicochemical properties of coated cherry tomatoes with *A. vera* and *A. vera* containing 3% hemp seed oil during storage (A) Total soluble solids, (B) Titrable acidity, (C) Firmness and (D) Ripening index.

است ($p < 0.05$)؛ که این امر نشان‌دهنده اثر روغن شاهدانه بر حفظ کیفیت گوجه‌فرنگی گیلای حین دوره نگهداری است. نتایج بررسی تغییرات برخی از خصیصه‌های بافتی حاصل از تصویر (شکل ۸) نیز نشان داد که میزان همبستگی حین دوره نگهداری به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$) و این در حالی است که میزان کنتراست، انرژی و یکنواختی تصویر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$)؛ افزودن روغن شاهدانه (غلظت ۳ درصد) به پوشش توانسته است سرعت این تغییرات را نسبت به نمونه پوشش‌دار شده با ژل آلونهورا ۷۵ درصد به تنهایی به‌طور معنی‌داری کاهش دهد ($p < 0.05$). با دقت بیشتر در شکل‌ها مشاهده می‌گردد که روند تغییرات تقریباً در تمامی خصیصه‌های بافتی و رنگی در نمودار با دو شیب مختلف همراه است که تغییر شیب مشخص برای نمونه با پوشش ژل آلونهورا ۷۵ درصد به تنهایی در روز ۱۲ و برای نمونه با پوشش ژل آلونهورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه در روز ۱۶ اتفاق افتاده است.

۳-۲- استخراج خصیصه‌های رنگی و بافتی

حاصل از تصویر

در گام اول پس از پیش‌پردازش و هموارسازی تصاویر گوجه‌فرنگی گیلای حاصل از تیمارهای مختلف (پوشش ژل آلونهورا ۷۵ درصد به تنهایی و ژل آلونهورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه، خصیصه‌های رنگی و بافتی حاصل از تصویر از آنها استخراج گردید. تغییرات متوسط رنگ هر کدام از کانال‌های رنگی و زاویه رنگ (به عنوان نماینده خصیصه رنگی) و تغییرات خصیصه‌های بافتی به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، مقدار متوسط رنگ‌های سبز، قرمز و آبی با افزایش زمان نگهداری گوجه‌فرنگی گیلای، کاهش یافت و سرعت این تغییرات در نمونه پوشش‌دار شده با ژل آلونهورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه نسبت به نمونه پوشش‌دار شده با ژل آلونهورا ۷۵ درصد به تنهایی به‌طور معنی‌داری کمتر

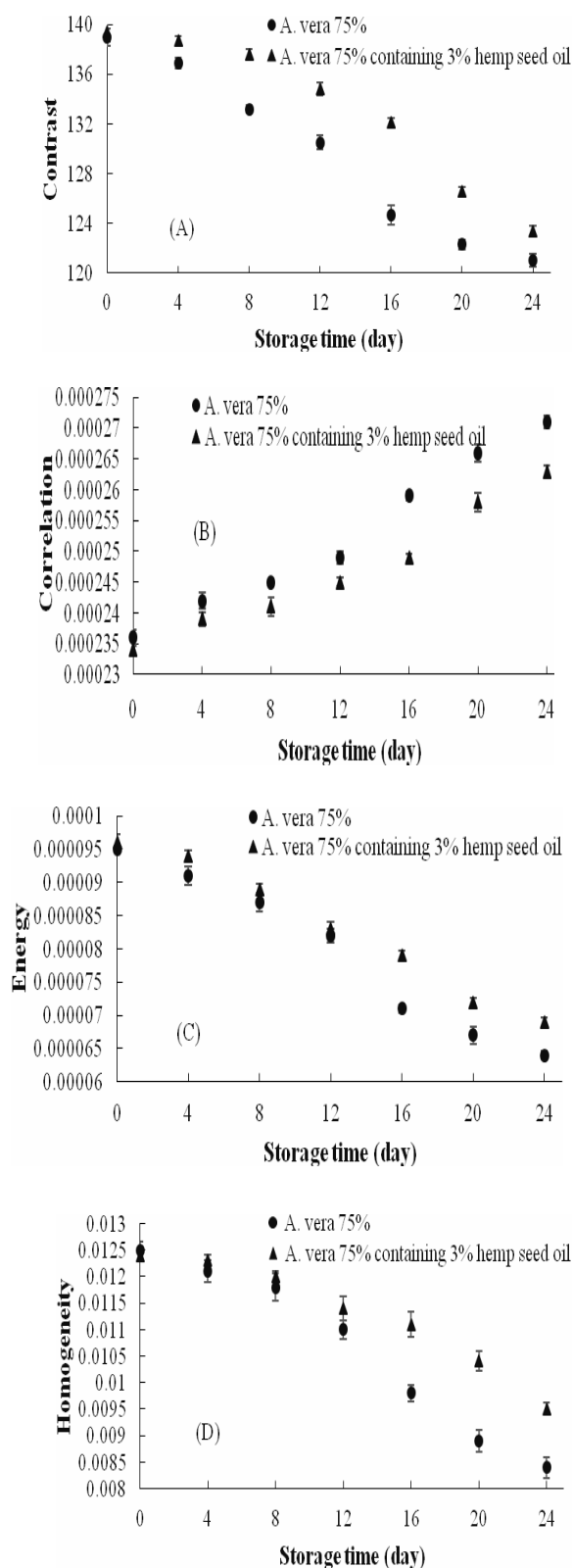


Fig 8 Changes of color texture features of coated cherry tomatoes with *A. vera* and *A. vera* containing 3% hemp seed oil during storage (A) Contrast, (B) Correlation, (C) Energy and (D) Homogeneity.

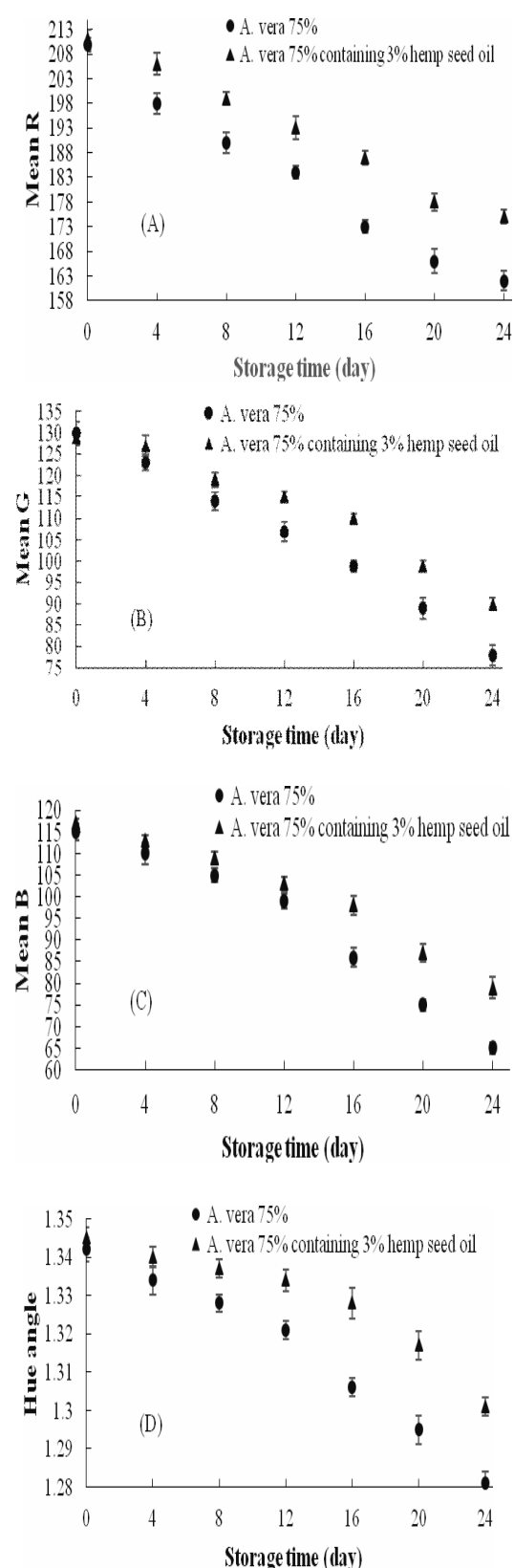


Fig 7 Changes of color statistical features of coated cherry tomatoes with *A. vera* and *A. vera* containing 3% hemp seed oil during storage (A) Mean R, (B) Mean G, (C) Mean B and (D) Hue angle.

۳-۳- درجه بندی

بعد از بررسی تغییرات رنگی و بافتی حاصل از تصویر گوجه فرنگی گیلانی با تیمارهای مختلف حین دوره نگهداری، درجه بندی نمونه ها صورت پذیرفت. گوجه فرنگی های گیلانی با کمک تجزیه و تحلیل چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی به دو درجه کیفی سالم و معیوب تقسیم شدند. در نهایت برای ارتقاء سیستم درجه بندی از انفیس استفاده گردید که توانست نمونه ها را به سه درجه کیفی سالم، درجه دو و غیر قابل مصرف تقسیم بندی نماید.

۳-۳-۱- تجزیه و تحلیل چند متغیره

به منظور درجه بندی با استفاده از سیستم بینایی ماشین، ۱۴۰ تصویر گوجه فرنگی گیلانی در دو وضعیت سالم و معیوب انتخاب گردید. این تصاویر دارای توزیع یکنواختی از تیمارها و زمان های نگهداری مختلف بودند. جدول ۲ تحلیل پیرسون و ارزیابی بین خصیصه های رنگی و بافتی حاصل از تصویر است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود همبستگی معنی داری ($p < 0.05$) بین خصیصه های رنگی (شامل متوسط رنگ، زاویه رنگ و خلوص رنگ) و بافتی حاصل از تصویر (شامل کنتراست، همبستگی، انرژی و یکنواختی) وجود دارد.

Table 2 Pearson correlation matrix for color statistical and color texture features of coated cherry tomatoes using different treatments during storage.

	Color mean	Hue angle	Chroma	Contrast	Correlation	Energy	Homogeneity
Color mean	1						
Hue angle	-0.973**	1					
Chroma	-0.991**	0.965**	1				
Contrast	-0.874**	0.815**	0.831**	1			
Correlation	-0.751*	0.738*	0.794*	0.932**	1		
Energy	0.764*	-0.709*	-0.763*	-0.901**	0.952**	1	
Homogeneity	0.732*	-0.743*	-0.841**	-0.884**	-0.927**	-0.935**	1

* and ** represent significant differences at 95% and 99% of confidence level, respectively.

^{ns} represents no statistically significant.

پس از تعیین همبستگی بین خصیصه ها، تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی انجام گردید و مقادیر ویژه محاسبه شد (جدول ۳). همان طور که در جدول مشاهده می گردد، ۸۳/۱۱ درصد از تغییرات در اولین مولفه اصلی (PC1) و ۱۴/۲۱ درصد تغییرات در دومین مولفه اصلی (PC2) تعیین گردیده است که در مجموع ۹۷/۳۲ درصد تغییرات است. نتایج به دست آمده بدین معنی است که تحلیل مولفه های اصلی توانست

۹۷/۳۲ درصد از تغییرات را توسط خصیصه های رنگی و بافتی حاصل از تصویر توصیف نماید که سهم بالایی است و طبق بیان سایر پژوهشگران، مقادیر بالاتر از ۸۰ درصد از نظر آماری قابل اعتماد است [۳۳]. بیشترین سهم در دومین مولفه اصلی مربوط به انرژی و یکنواختی است که این امر نشان دهنده سهم کم این خصیصه های بافتی حاصل از تصویر در فرایند درجه بندی است.

Table 3 PCA results of color statistical and color texture features.

Factor loading		Variable contribution		Variable
PC2	PC1	PC2	PC1	
0.135	-0.921	6.030	17.435	Color mean
0.221	0.864	4.450	19.947	Hue angle
-0.167	0.902	7.622	14.513	Chroma
0.105	-0.974	5.324	18.341	Contrast
0.241	-0.853	6.302	17.891	Correlation
0.897	0.137	29.110	6.323	Energy
-0.943	0.102	41.162	5.550	Homogeneity
Variance (%)	Variance (%)	Eigen value	Eigen value	PCA data
14.21	83.11	1.624	9.321	

ترتیب بعد از روز ۱۲ و ۱۶ بود که با نتایج نمودارهای خصیصه‌های حاصل از تصویر و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مطابقت داشت.

۳-۲-۳- شبکه عصبی مصنوعی

از شبکه عصبی مصنوعی نیز به‌عنوان روش غیرخطی به‌منظور درجه‌بندی گوجه‌فرنگی‌های گیلانی استفاده گردید؛ درجه‌بندی با کمک خصیصه‌های بافتی، خصیصه‌های رنگی و خصیصه‌های بافتی و رنگی به‌عنوان ورودی به شبکه و با بهره‌گیری از شبکه پس‌انتشار انجام گردید. بدین‌این منظور از ۷۰ تصویر گوجه‌فرنگی گیلانی پوشش‌دار شده با ژل آلئوئورا ۷۵ درصد به تنهایی و ۷۰ تصویر گوجه‌فرنگی گیلانی پوشش‌دار شده با ژل آلئوئورا ۷۵ درصد ۳ درصد حاوی شاهدانه در دو درجه سالم و معیوب استفاده گردید. از ۱۴۰ تصویر موجود، ۸۴ تصویر برای آموزش، ۲۱ تصویر برای اعتبارسنجی و ۳۵ تصویر برای آزمون شبکه به‌کار گرفته شد. با ارزیابی شبکه‌های مختلف، شبکه‌ای با تابع آستانه‌ای سیگموئید اکسون^{۳۱} و تابع آموزش مومنتوم^{۳۲} به‌عنوان بهترین پیکربندی انتخاب گردید. بهترین پیکربندی برای درجه‌بندی با کمک خصیصه‌های بافتی، خصیصه‌های رنگی و خصیصه‌های بافتی و رنگی به ترتیب توسط شبکه‌های با پیکربندی ۱-۳-۸-، ۱-۲-۳-۴ و ۱-۲-۷-۱۲ انجام پذیرفت (جدول ۴). شبکه عصبی مصنوعی توانست نمونه‌ها را با کمک خصیصه‌های بافتی، خصیصه‌های رنگی و خصیصه‌های بافتی و رنگی به ترتیب با صحت ۹۴/۴۲ درصد، ۸۸/۱۶ درصد و ۹۷ درصد درجه‌بندی نماید (شکل ۱۰). همچنین این شبکه قادر بود تا مرحله تغییر درجه کیفی گوجه‌فرنگی گیلانی پوشش‌دار شده را حین دوره نگهداری به درستی تشخیص دهد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد شبکه عصبی مصنوعی زمانی بود که خصیصه‌های بافتی و رنگی با هم به‌عنوان ورودی شبکه باشند.

پس از کاهش بعد داده‌ها توسط تحلیل مولفه‌های اصلی و درجه‌بندی آن‌ها، نتایج درجه‌بندی با نتایج واقعی از طریق ماتریس درهم‌ریختگی مقایسه گردید. نتایج حاصل از این ماتریس، در شکل ۹ نمایش داده شده است. نتایج نشان از صحت نسبتاً خوب این روش درجه‌بندی است. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص شده است، سهم خصیصه‌های بافتی (درجه صحت ۸۶/۶۲ درصد) در درجه‌بندی بیشتر از خصیصه‌های رنگی (درجه صحت ۷۴/۰۷ درصد) است و زمانی که از هر دو خصیصه برای درجه‌بندی استفاده می‌شود، درجه صحت درجه‌بندی افزایش پیدا می‌کند (درجه صحت ۹۰/۵۱ درصد) که این نتایج مشابه پژوهش پیشین است [۲۶]. دقت درجه‌بندی کیفی با کمک خصیصه‌های بافتی، خصیصه‌های رنگی و خصیصه‌های بافتی و رنگی به ترتیب برابر ۰/۹۳۲۱، ۰/۹۴۸۹ و ۰/۹۵۷۴ برآورد گردید. خطای موجود در جداسازی احتمالاً به سبب رابطه غیر خطی بین خصیصه‌های رنگی و بافتی با تغییرات گوجه‌فرنگی گیلانی حین دوره نگهداری می‌باشد [۲۶].

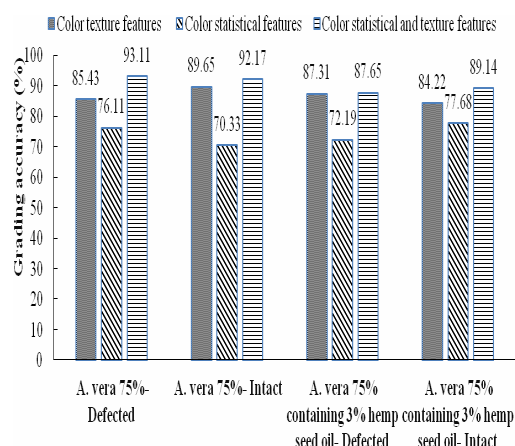


Fig 9 Grading accuracy for coated cherry tomatoes with *A. vera* and *A. vera* containing 3% hemp seed oil based on PCA using color statistical features, color texture features and their combination.

پیش‌بینی تغییرات حین دوره نگهداری برای نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلئوئورا ۷۵ درصد به تنهایی و ژل آلئوئورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه به

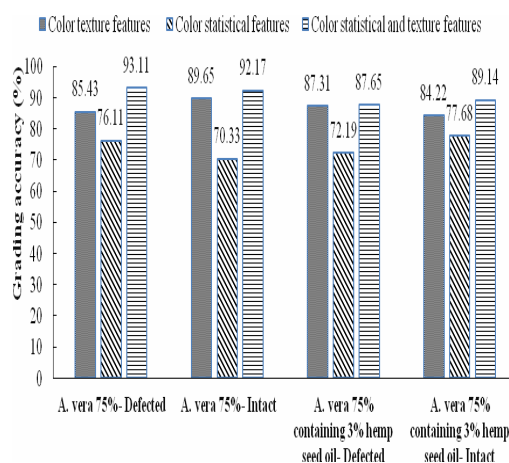
31. Sigmoid axon

32. Momentum

Table 4 Some of the best topologies of ANN for predicting quality grade of cherry tomatoes.

Features	Topology	Training		Testing	
		R ²	RMSE	R ²	RMSE
Color texture	1-3-8-8	0.9351	0.652	0.9743	0.194
	1-4-6-8	0.9287	0.724	0.9691	0.198
	1-4-8	0.9231	0.741	0.9620	0.201
Color statistical	1-2-3-9-4	0.9211	0.734	0.9652	0.209
	1-2-7-4	0.9163	0.754	0.9579	0.217
	1-2-4-4	0.9025	0.803	0.9399	0.226
Color and Texture	1-2-7-12	0.9431	0.602	0.9895	0.183
	1-1-8-12	0.9465	0.610	0.9838	0.188
	1-5-12	0.9287	0.724	0.9621	0.199

به‌طور همزمان از قابلیت و دقت بالاتری در فرایند درجه‌بندی و جداسازی برخوردار است [۳۴]. در سیستم انفیس مانند شبکه عصبی مصنوعی باید بهترین معماری انتخاب گردد. بدین منظور مدل‌های مختلف آن با روش آزمون و خطا طراحی شد تا تعداد قوانین فازی در درجه‌بندی خروجی تعیین گردد. در نهایت سیستمی با ۴ ورودی (متوسط رنگ قرمز، زاویه رنگ، کنتراست و همبستگی) و ۸۱ قانون فازی به‌عنوان بهترین پیکربندی انتخاب گردید. با توجه به دقت و کارایی این سیستم، امکان جداسازی نمونه به سه درجه کیفی سالم، درجه دو و غیر قابل مصرف توسط انفیس فراهم آمد. نتایج حاصل از درجه‌بندی با توابع عضویت گاوسی و دوزنقه‌ای در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد تابع عضویت دوزنقه‌ای برای هر دو تیمار بهترین نتایج را در پی داشت. در مقایسه با نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و شبکه عصبی مصنوعی بیشترین دقت درجه‌بندی مربوط به انفیس بود.

**Fig 10** Grading accuracy for coated cherry tomatoes with *A. vera* and *A. vera* containing 3% hemp seed oil based on ANN using color statistical features, color texture features and their combination.

۳-۳-۳- انفیس

انفیس با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی

Table 5 Precision of ANFIS grading with different membership function for various treatment.

Treatment	Membership function	Sensitivity	Training		Testing	
			R ²	RMSE	R ²	RMSE
<i>A. vera</i> gel	Gaussian	0.932	0.9542	0.243	0.9893	0.104
	Trapezoidal	0.941	0.9711	0.163	0.9921	0.087
<i>A. vera</i> containing 3% hemp seed oil	Gaussian	0.939	0.9632	0.109	0.9901	0.093
	Trapezoidal	0.952	0.9743	0.172	0.9945	0.076

ندارد. این نتیجه حاکی از تاثیر مثبت روغن شاهدانه در نگهداری گوجه‌فرنگی گیلانی است. صحت نتایج با کمک ماتریس درهم‌ریختگی ارزیابی گردید که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. با مقایسه میانگین صحت درجه‌بندی انفیس نسبت به شبکه عصبی مصنوعی و تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی می‌توان دریافت که این روش درجه‌بندی را

مزیت انفیس نسبت به دو روش دیگر درجه‌بندی گوجه‌فرنگی گیلانی به سه درجه کیفی است. نتایج نشان داد که هر سه درجه کیفی در نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلئوئورا ۷۵ درصد به تنهایی وجود دارد و این در حالی است که درجه کیفی غیر قابل پذیرش در نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلئوئورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهدانه وجود

با صحت بالاتری انجام داده و از طرف دیگر قدرت تفکیک بالاتری نیز دارد. از پژوهش‌های پیشین در زمینه درجه‌بندی کیفی با کمک انفیس می‌توان به درجه‌بندی کیفی لیموشیرین و چین دوره نگهداری [۳۵]، درجه‌بندی کیفی گوجه‌فرنگی [۳۴] و سیب [۳۶] اشاره نمود که حاکی از کارایی و عملکرد با دقت و صحت بالای این سیستم است.

Table 6 Confusion matrix for grading and result validation.

Treatment	Grade	Intact	Grade 2	Unusable
<i>A. vera</i> gel	Intact	33	0	0
	Grade 2	1	24	0
	Unusable	0	0	12
Accuracy		97.06	100	100
Mean of grading accuracy		99.02		
<i>A. vera</i> containing 3% hemp seed oil	Intact	44	0	-
	Grade 2	1	25	-
	Unusable	0	0	-
Accuracy		97.8	100	-
Mean of grading accuracy		98.9		

داشت و این درحالی است که قدرت تفکیکی و صحت درجه‌بندی روش انفیس بیشتر از دو روش دیگر بود. نتایج این پژوهش بر امکان استفاده از سیستم‌های ماشین بینایی در درجه‌بندی (با روش‌های مختلف) گوجه‌فرنگی گیلاسی با پوشش‌های مختلف و تشخیص مرحله رسیدگی طی نگهداری صحه می‌گذارد و راه را برای استفاده تجاری آن در سردخانه‌ها و صنایع هموارتر می‌سازد.

۵- 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 گیلاسی پوشش‌دهی شده با ژل آلوه‌ورا طی نگهداری در دماهای مختلف" مورخ ۱۳۹۸/۱۰/۲۳ و بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق ما را یاری کردند، سپاسگزاری می‌نمایم.

۶- منابع

- [1] Zhang, L., F., Chen, P., Zhang, S., Lai, and H., Yang, 2017, Influence of rice bran wax coating on the physicochemical properties and pectin nanostructure of cherry tomatoes. Food Bioprocess and Technology, 10(2): 349–357.
- [2] FAOSTAT. 2018, Food and Agriculture Organization (FAO), Statistics, 2018Ed. <http://www.fao.org/faostat/en>.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر روغن شاهده‌ها بر کیفیت نگهداری گوجه‌فرنگی گیلاسی و استفاده از سامانه بینایی ماشین به منظور بررسی و درجه‌بندی غیر تخریبی آنها طی نگهداری می‌باشد. نتایج نشان داد که افزودن روغن شاهده‌ها به پوشش خوراکی ژل آلوه‌ورا می‌تواند به‌طور کارآمدی روند رسیدگی گوجه‌فرنگی گیلاسی را به تعویق بیناندازد، بطوریکه تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (اسیدیته قابل تیترا، سفتی بافت و میزان مواد جامد محلول کل) و شاخص رسیدگی با سرعت کمتری اتفاق بیفتد. این نتایج همسو با تغییرات خصیصه‌های استخراجی از تصاویر (رنگی و بافتی) بود، به‌گونه‌ای که این خصیصه‌ها در نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا حاوی ۳ درصد روغن شاهده‌ها نسبت به نمونه‌های پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا ۷۵ درصد به تنهایی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) با سرعت کمتری تغییر نمودند. با بررسی بیشتر خصیصه‌های تصویر می‌توان دریافت که همانند خصیصه‌های فیزیکی و شیمیایی روند تغییرات تقریباً با دو شیب مختلف همراه است که تغییر شیب مشخص برای نمونه با پوشش ژل آلوه‌ورا ۷۵ درصد به تنهایی در روز ۱۲ و برای نمونه با پوشش ژل آلوه‌ورا ۷۵ درصد حاوی ۳ درصد روغن شاهده‌ها در روز ۱۶ اتفاق افتاده است. بررسی کارآمدی سه روش درجه‌بندی تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی و انفیس نشان داد که به سبب ارتباط غیر خطی بین خصیصه‌ها، شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی عملکرد موفقیت‌آمیزتری

- [13] 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.
- [14] Vasquez-Caicedo, A.L., P., Sruamsiri, R., Carle, and S., Neidhart, 2005, Accumulation of all-trans-*b*-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.
- [15] Velez-Rivera, N., J., Blasco, J., Chanona-Perez, G., Calderon Domnguez, M.J., Perea-Flores, and I., Arzate-Vazquez, 2013, Computer vision system applied to classification of “Manila” mangoes during ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 7: 1183–1194.
- [16] Brosnan, T., and D.-W., Sun, 2004, Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 3–16.
- [17] Wu, D., and D.W., Sun, 2013, Color measurements by computer vision for food quality control—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 29 (1): 5–20.
- [18] Du, C.-J., and D.-W., Sun, 2004, Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5): 230–249.
- [19] Pordarbani, R., H.R., Gasemzadeh, A.A., Golzadeh, and H., Behfar, 2009, Feasibility study of apple quality Grading using image processing. *Journal of Food Research*, 19(1): 75–85.
- [20] Cubero, S., N., Aleixos, E., Molto, J., Gomez Sanchis, and J., Blasco, 2011, Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5): 829–830.
- [21] Hosseinzadeh Rendi, A., J., Khodaei, and N., Behroozi-Khazaei, 2019, Classification of strawberry based on maturity rate and size using machine vision. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 50(1): 145–154.
- [22] Harna Yossy, E., J., Pranata, T., Wijaya, H., Hermawan, and W., Budiharto, 2017, Mango fruit sortation system using
- [3] Ali, A., M., Maqbool, S., Ramachandran and P.G., Alderson, 2010, Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1): 42–47.
- [4] Cazon, P., G., Velazquez, J.A., Ramírez, and M., Vazquez, 2017, Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68: 136–148.
- [5] Hamman, J.H., 2008, Composition and applications of *Aloe vera* leaf gel. *Molecules*, 13: 1599–1616.
- [6] Rodriguez Rodriguez, E., J., Darias Martin, and C., Diaz Romero, 2010, *Aloe vera* as a functional ingredient in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50: 305–326.
- [7] Ergun, M., and F., Satıcı, 2012, Use of *Aloe vera* gel as biopreservation for ‘Granny Smith’ and ‘Red Chief’ apples. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(2): 363–368.
- [8] Hazrati, S., A., Beyraghdar Kashkooli, F., Habibzadeh, Z., Tahmasebi-Sarvestani, and A.R., Sadeghi, 2017, Evaluation of *Aloe vera* gel as an alternative edible coating for peach fruits during cold storage period. *Gesunde Pflanzen*, 69: 131–137.
- [9] Emamifar, A., 2015, Evaluation of *Aloe vera* gel effect as an edible coating on microbial, physicochemical and sensorial characteristics of fresh strawberry during storage. *Inoovative Food Technologies*, 2(2): 15–29.
- [10] Frassinetti, S., E., Eleonora Moccia, L., Caltavuturo, M., Gabriele, V., Longo, L., Bellani, G., Giorgi, and L., Giorgetti, 2018, Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 262: 56–66.
- [11] Leizer, C., D., Ribnicky, A., Poulev, S., Dushenkov, and I., Raskin, 2000, The composition of Hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *Journal of Nutraceuticals, Functional & Medical Foods*, 2(4): 35–53.
- [12] Zapata, P.J., F., Guillén, D., Martínez-Romero, S., Castillo, D., Valero, and M., Serrano, 2008, Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7): 1287–1293.

- [30] Dovale-Rosabal, G., A., Casariego, T.Y., Forbes-Hernandez, and M.A., Garcia, 2015, Effect of chitosan-olive oil emulsion coating on quality of tomatoes during storage at ambient conditions. *Journal of Berry Research*, 5: 207–218.
- [31] Nasrin, T.A.A., M.A., Rahman, M.S., Arfin, M.N., Islam, and M.A., Ullah, 2020, Effect of novel coconut oil and beeswax edible coating on postharvest quality of lemon at ambient storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2: 100019.
- [32] Sams, C.E., 1999, Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 249–254.
- [33] Nordey, T., M., Léchaudel, M., Génard, and J., Joas, 2014, Spatial and temporal variations in mango colour, acidity, and sweetness in relation to temperature and ethylene gradients within the fruit. *Journal of Plant Physiology*, 171(17): 1555–1563.
- [34] Goel, N., and P., Sehgal, 2015, Fuzzy classification of pre-harvest tomatoes for ripeness estimation—An approach based on automatic rule learning using decision tree. *Applied Soft Computing*, 36: 45–56.
- [35] Zandi, M., A., Ganjloo, M., Bimakr, N., Nikoomanesh, and N., Moradi, 2021, Application of neural-fuzzy inference system (ANFIS) and fuzzy logic for prediction of physicochemical changes and classification of coated sweet lemon during storage (In Persian). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, In Press.
- [36] Papageorgiou, E.I., K., Aggelopoulou, T.A., Gemtos, and G., Nanos, 2018, Development and evaluation of a fuzzy inference system and a neuro-fuzzy inference system for grading apple quality. *Applied Artificial Intelligence*, 32: 253–280.
- neural network and computer vision. *Procedia Computer Science*, 116: 596–603.
- [23] Nouri-Ahmadabadi, H., M., Omid, S.S., Mohtasebi, and M., Soltani Firouz, 2017, Design, development and evaluation of an online grading system for peeled pistachios equipped with machine vision technology and support vector machine. *Information Processing In Agriculture*, 4: 333–341.
- [24] 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.
- [25] AOAC., 1995, Official Methods of Analysis, 16ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- [26] Ganjloo, A., M., Zandi, M., Bimakr, and S., Monajem, 2020, Ripening stages control of cherry tomato coated with *Aloe vera* gel using artificial vision system. *Food Science and Technology*, 17(105): 135–149.
- [27] 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.
- [28] Costa, A.Z.d., H.E.H., Figueroa, and J.A., Fracarolli, 2020, Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning. *Biosystems Engineering*, 190: 131–144.
- [29] Rad, S.J., M., Kaveh, V.R., Sharabiani, and E., Taghinezhad, 2018, Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat and Mass Transfer*, 54(11): 3361–3374.



Visual grading of cherry tomatoes coated with *aloe vera* gel containing hemp seed oil using principal component analysis, artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system methods

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

ABSTRACT

In the present study, in the first step, the effect of *Aloe vera* gel (75% v/v) coating containing different concentrations of hemp seed oil (1-5% v/v) on some physicochemical properties of cherry tomatoes during storage at room temperature was investigated. The results revealed the ability of hemp seed oil to improve the physicochemical properties of cherry tomatoes during storage, although no significant difference was observed between 3 and 5% levels of hemp seed oil ($p > 0.05$). Slope change in the ripening index trend occurred for *A. vera* gel (75% v/v) coated sample on day 12 and for *A. vera* gel containing 3% hemp seed oil coated sample on day 16. Using an image processing system, the changes of the coated samples were evaluated based on the color statistical and color texture features extracted from the images and were graded through different procedures. The results showed that the principal component analysis (PCA) and artificial neural network (ANN) methods were able to divide the cherry tomatoes into intact and blemished grades which the ANN method was graded samples using color texture features with higher accuracy (97.41%). The adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) method had higher diagnostic power than the other two methods and was able to grade the samples into three grades including intact, grade 2 and unusable with accuracy of 98.96%.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2020/ 08/ 17
Accepted 2021/ 04/ 25

Keywords:

Image processing,
Cherry tomato,
Ripening index,
Fuzzy logic.

DOI: 10.52547/fsc.18.116.143

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