

مقاله پژوهشی

تخمین غیرمستقیم تغییرات جرم و نسبت شکلی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده با ژل آلوه‌ورا به کمک تکنیک پردازش تصویر

علی گنجلو^{۱*}، محسن زندی^۲، ماندانا بی‌مکر^۳، سمانه منجم^۴

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

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان،

ایران

(تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۱۰، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۹/۶/۱۹، تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۱۵)

چکیده

تخمین تغییرات جرم و شکل میوه‌ها و سبزی‌ها به کمک تکنیک پردازش تصویر، یکی از پیشرفت‌های اخیر در زمینه فناوری پس از برداشت است. در این پژوهش، تغییرات جرم و نسبت شکلی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلوه‌ورا (۰/۷٪، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱/۰۰) طی مدت‌زمان نگهداری در دمای محیط، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، پس از پیش‌پردازش تصاویر، خصیصه‌های ابعادی (مساحت، قطر اصلی و فرعی) و نیز نسبت شکلی استخراج و سپس با کمک مدل‌های خطی و منحنی توان رابطه بین خصیصه‌های استخراجی از تصاویر و جرم واقعی مشخص شد. نتایج نشان داد که مدل خطی توانسته است به خوبی تغییرات جرم بر حسب مساحت حاصل از تصویر را مدل نماید ($R^2=0/9895$) که میزان صحت تخمین جرم، برابر با ۰/۹۷۲۹ بود؛ این نتایج، کارایی سیستم در تخمین تغییرات جرم طی نگهداری با میانگین خطای نسبی ۳/۳۵۹٪ را نیز نشان داد. این امر، بیانگر ارتباط بسیار قوی بین خصیصه‌های ابعادی و جرم است. محاسبه نسبت شکلی بر مبنای قطر طولی و قطر عرضی، مشخص کرد که شکل گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده به سبب از دست دادن رطوبت از حالت دوکی، به حالت استوانه‌ای تغییر می‌کند (از نسبت شکلی ۱/۱ تا ۱/۷) که روند این تغییرات، با افزایش غلظت ژل آلوه‌ورا کاهش یافت.

کلیدواژه‌ها: گوجه‌فرنگی گیلاسی، آلوه‌ورا، ماشین بینایی، نسبت شکلی، تغییرات جرم.

۱. مقدمه

از آن، به عنوان پوشش طبیعی خوراکی بر پایه کربوهیدرات استفاده کرد [۶].

علاوه بر لزوم استفاده از فناوری‌های پس از برداشت، ارزیابی کیفیت فرآورده‌های کشاورزی حین مرحله پس از برداشت، امری ضروری برای عرضه فرآورده با کیفیت به مصرف‌کننده است. ارزیابی کیفیت معمولاً با استفاده از قدرت تشخیص و تجربه افراد متخصص صورت می‌پذیرد که در نهایت، منجر به جداسازی و درجه‌بندی فرآورده‌های کشاورزی می‌شود. جداسازی و درجه‌بندی، شامل سه مرحله انتخاب پارامتر، تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی است [۷]. به دلیل احتمال بروز خطای انسانی در حین جداسازی و درجه‌بندی توسط نیروی انسانی و زمان‌بر بودن این فرایندها، استفاده از روش‌های جایگزین سریع، غیر مخرب، با دقت و دارای قابلیت اعتماد بالا، نظیر سامانه‌های ماشین بینایی در حال گسترش است. ماشین بینایی، مبتنی بر تکنیک‌های پردازش تصویر شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که در آن، بینایی انسان شبیه‌سازی می‌شود در نتیجه از آن می‌توان برای کنترل کیفیت، جداسازی و درجه‌بندی فرآورده‌های کشاورزی استفاده کرد [۸]. رنگ، اندازه، شکل و بافت از جمله مهم‌ترین فاکتورهای کیفی هستند که تغییرات آن‌ها حین نگهداری می‌تواند به طور چشمگیری بر قیمت نهایی فرآورده و انتخاب مشتری تأثیرگذار باشد؛ همچنین، تغییر اندازه و خصوصیات ابعادی، به عنوان یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکی فرآورده‌های کشاورزی می‌تواند بر کارایی فرآیندهایی نظیر آنزیم‌بری، فرآیندهای حرارتی و بسته‌بندی تأثیرگذار باشد. روش‌های سنجش این فاکتورها به دو دسته اندازه‌گیری ابعاد (براساس قطر، طول، حجم و غیره) و اندازه‌گیری جرم (روش‌های مستقیم و غیرمستقیم) تقسیم‌بندی می‌شود. اندازه‌گیری مستقیم جرم توسط دستگاه‌های توزین الکترونیکی یا مکانیکی صورت می‌پذیرد در حالی که اندازه‌گیری غیرمستقیم، از طریق تخمین جرم بر اساس اندازه‌گیری ابعاد و با استفاده از روابط ریاضی انجام می‌شود [۹]. اندازه فرآورده‌های کشاورزی تازه، متناظر با حجم، مساحت سطح و وزن آن‌ها است که می‌تواند عاملی

گوجه‌فرنگی، گیاهی علفی و یک ساله از خانواده سولاناسه^۱ است که به عنوان یکی از محبوب‌ترین فرآورده‌های کشاورزی، در مقیاسی وسیع تولید و مصرف می‌شود. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۲، در سال ۲۰۱۷، سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در جهان را معادل ۴/۸ میلیون هکتار و میزان تولید جهانی آن را، معادل ۱۸۲ میلیون تن گزارش کرده است [۱]. گوجه‌فرنگی به عنوان یکی از متداول‌ترین سبزی‌ها در رژیم غذایی انسان، منبعی غنی از ویتامین‌ها، ترکیبات ضد اکسایش و فیبر است [۲]. علاوه بر این، گزارش‌هایی مبنی بر ارتباط کاهش خطر ابتلا به برخی از سرطان‌ها، بیماری‌های قلبی - عروقی و پوکی استخوان با مصرف گوجه‌فرنگی وجود دارد [۳، ۵]. سالانه بخش زیادی از گوجه‌فرنگی، به دلیل عدم استفاده از روش‌های مناسب نگهداری در حین مرحله پس از برداشت، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به شکل ضایعات از بین می‌رود. این امر، باعث کاهش دسترسی مصرف‌کنندگان به این فرآورده کشاورزی محبوب و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. از طرفی، همواره تقاضای مصرف‌کنندگان برای دسترسی به فرآورده‌های کشاورزی با کیفیت، در حال افزایش است. به دلیل ضرورت جلوگیری از هدر رفتن چنین فرآورده‌های با ارزشی، روش‌های متنوعی برای حفظ کیفیت آن‌ها حین مرحله پس از برداشت و افزایش مدت زمان ماندگاری آن‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در این میان، استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی، به عنوان راه حل جایگزین برای عدم استفاده از مواد شیمیایی و همچنین کاهش مصرف مواد سنتزی بسته‌بندی که مشکلات زیست محیطی به همراه دارند در حال تحقیق و توسعه است. آلوه‌ورا^۳ گیاهی با خواص دارویی متعلق به تیره سوسنیان^۴ است. بخش ژل آلوه‌ورا علاوه بر رطوبت، به عنوان جزء اصلی حاوی ترکیبات پیچیده پلی‌ساکاریدی، نظیر پکتین، سلولز، همی‌سلولز، گلوکومانان^۵، آسمانان^۶ و مانوز است که می‌تواند

1. Solanaceae
2. Food and Agriculture Organization
3. *Aloe vera*
4. Liliaceae
5. Glucomanan

۲. مواد و روش‌ها

۱.۱. مواد

گوجه‌فرنگی گیلای تازه مورد استفاده در این پژوهش، از بازار محلی زنجان تهیه شد. نمونه‌های سالم و عاری از هرگونه آسیب‌دیدگی، با اندازه‌ای تقریباً یکسان، از سایر نمونه‌ها جدا و به مدت پنج دقیقه با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند. برگ‌های تازه گیاه آلوئه‌ورا ضدعفونی و با آب مقطر آبکشی شدند. قسمت انتهایی برگ‌ها برش داده شد و ماده تلخ مزه آن (آلوئن) با قرار دادن این قسمت در آب مقطر، جدا شد. ژل تازه آلوئه‌ورا از قسمت میانی جدا و با استفاده از یک مخلوط کن خانگی یکنواخت گردید. این مخلوط یکنواخت، پس از عبور از صافی پارچه‌ای، در دمای 75°C به مدت ۵ min پاستوریزه شد [۱۷]. در نهایت غلظت‌های مختلف ($100\% - 0\% \cdot 1/1$) از ژل آلوئه‌ورا با افزودن آب مقطر استریل به آن تهیه شد.

۲.۲. پوشش‌دهی گوجه‌فرنگی‌های گیلای

گوجه‌فرنگی‌های گیلای به مدت پنج دقیقه درون محلول ژل آلوئه‌ورا با غلظت مد نظر غوطه‌ور شدند و به منظور افزایش کارایی پوشش‌دهی در فواصل معین، درون محلول چرخانده شدند. نمونه‌ها در پایان زمان پوشش‌دهی از محلول خارج شدند و روی یک صفحه توری، جهت جداسازی محلول اضافی قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در معرض جریان هوا، در دمای محیط خشک شدند. در پایان، تمامی نمونه‌ها در ظروف یکبار مصرف بسته‌بندی و در دمای محیط ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$) و رطوبت نسبی 85% به مدت ۲۴ روز نگهداری شدند. نمونه‌برداری در فواصل زمانی مشخص (۴ روز یکبار) صورت پذیرفت. دما و رطوبت نسبی در طول انبارش به‌طور مداوم کنترل و تنظیم شد.

۳.۲. اندازه‌گیری تغییرات جرم

قبل از انجام تصویربرداری، جرم هر یک از نمونه‌ها (جرم ثانویه) بر حسب گرم با استفاده از یک ترازو دیجیتال با دقت $0.1 \pm$ (رادوگ، لهستان) اندازه‌گیری شد. درصد تغییرات جرم نمونه‌ها از طریق رابطه (۱) محاسبه شد.

برای جداسازی و درجه‌بندی آن‌ها باشد [۱۰]. با ثابت در نظرگرفتن دانسیته یک فرآورده کشاورزی با اندازه‌گیری حجم، می‌توان به جرم آن دست یافت [۱۱]. همچنین اندازه‌گیری حجم برای درجه‌بندی فرآورده‌های کشاورزی بر اساس دانسیته و ارزیابی فضای لازم برای انبار و بسته‌بندی آن‌ها، ضروری است [۱۲]؛ لذا از این رویکرد می‌توان برای تخمین جرم فرآورده‌های کشاورزی، بدون نیاز به ابزار اندازه‌گیری مرتبط استفاده کرد [۱۳]. در این راستا، مطالعاتی با هدف توسعه سامانه‌های ماشین بینایی، به منظور ارزیابی حجم، مساحت سطح و جرم فرآورده‌های کشاورزی بر اساس تکنیک‌های پردازش تصویر انجام شده است. ویوک و نکاتیش و همکاران (۲۰۱۵) ارتباط بین جرم میوه‌هایی با محور متقارن نظیر پرتقال، سیب و لیمو را با حجم برآورد شده به روش تکنیک پردازش تصویر مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. نایلا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از ماشین بینایی و الگوریتم یادگیری ماشین به تخمین حجم و جرم گوجه‌فرنگی گیلای پرداختند [۱۵]. کالیکسو و همکاران (۲۰۱۹) نیز توانستند با استفاده از سامانه ماشین بینایی و تکنیک پردازش تصویر، به عنوان یک روش غیر مخرب به تخمین وزن و نسبت شکلی^۱ ملون‌های زرد بپردازند [۱۶]. بر اساس نتایج مطالعات پیشین، به طور موفقیت‌آمیزی می‌توان از سامانه ماشین بینایی، به همراه تکنیک‌های پردازش تصویر و توسعه روابط ریاضی برای ارزیابی جرم و حجم فرآورده‌های کشاورزی استفاده کرد. در این پژوهش، در گام اول تأثیر پوشش‌دهی با غلظت‌های مختلف ($100\% - 0\% \cdot 1/1$) از ژل آلوئه‌ورا بر تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلای حین دوره نگهداری در دمای محیط مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه تلاش شد با استخراج ابعاد هندسی (طول، عرض و مساحت استخراج‌شده از تصویر) و نیز محاسبه شاخص شکلی گوجه‌فرنگی‌های گیلای پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف ژل آلوئه‌ورا در طول مدت نگهداری در دمای محیط، به کمک سامانه ماشین بینایی و تکنیک پردازش تصویر و از طریق توسعه روابط ریاضی، تغییرات جرم آن‌ها به روش غیرمستقیم تخمین زده شود.

1. Shape ratio

پیش‌پردازش وارد شدند. در این مرحله، با کمک جعبه‌ایزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب ابتدا پیکسل‌های بیش از حد روشن یا بیش از حد تیره (نویز) تصویر به کمک فیلتر میانه^۲، بدون آنکه لبه‌های تصویر از بین بروند، حذف شدند (شکل ۲-۱). در ادامه، پس زمینه تصاویر با استفاده از رابطه (۲)، با کمک تکنیک تفریق تصویر حذف شد (شکل ۲-۳):

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{اگر } |g(x, y) - b(x, y)| \leq T \\ g(x, y) & \text{اگر } |g(x, y) - b(x, y)| > T \end{cases} \quad (2)$$

که $f(x, y)$ ، $g(x, y)$ و T به ترتیب تصویر حاصله پس از حذف پس‌زمینه، تصویر اصلی و مقدار آستانه هستند.

در ادامه، از فیلتر گوسین^۳ (۲۰ در ۲۰ پیکسل) برای محو کردن و هموارسازی تصویر استفاده شد (شکل ۲-۴). پس از کاهش نویز تصویر و نیز حذف پس‌زمینه، کانال‌های R ، G و B تفکیک شد و از آنجایی که کانال قرمز رنگ اصلی گوجه‌فرنگی گیلاسی است، این کانال انتخاب شد. در ادامه تصاویر رنگی به تصویر خاکستری^۴ تبدیل شدند (شکل ۲-۵). برای تمایز تصویر با روش اوتسو^۵ [۱۸] تصویر خاکستری تبدیل به تصویر دو دویی^۶ (شکل ۲-۶) و در نهایت، یک تصویر آستانه دو دویی حاصل شد (شکل ۲-۷).

$$(1) \quad 100 \times \text{جرم اولیه} / (\text{جرم ثانویه} - \text{جرم اولیه}) = (\%) \text{ تغییرات جرم}$$

۴.۲. تصویربرداری و پیش‌پردازش

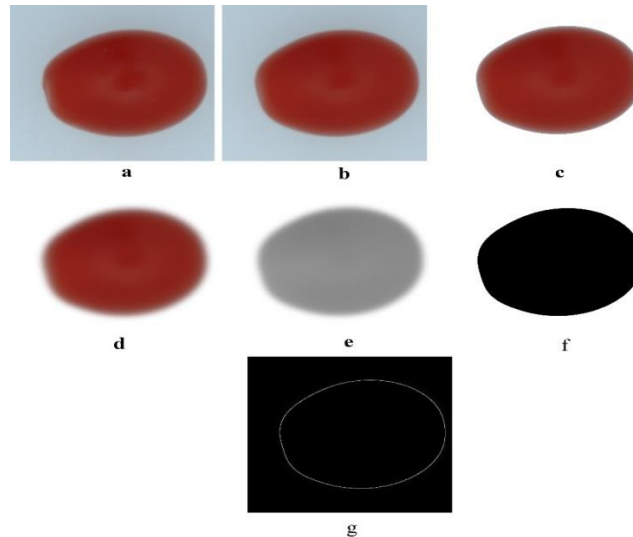
به منظور تصویربرداری از یک محفظه پردازش تصویر (جعبه سفید) دوبعدی^۱ استفاده شد. در این محفظه، نورپردازی با کمک صفحه LED با توان ۱۵ W در سقف (نور سفید مهتابی) و دو لامپ SMD با توان ۹ W در بالا و مقابل هم (نور سفید مهتابی، با قابلیت چرخش و تغییر زاویه) صورت گرفت. زاویه لامپ‌ها به گونه‌ای تنظیم شد که تصاویر گرفته شده کمترین نویز را داشته باشند. دوربین سونی (مدل DSC-H5، ژاپن) به صورت عمود بر نمونه‌ها و در فاصله ۳۰ cm نصب شد. این فاصله سبب می‌شود تا تصویری با وضوح بالا و مناسب برای اندازه‌گیری ابعاد به دست آید. تصویربرداری در حالت اتوماتیک، با حداکثر دیافراگم $f/5.6$ و فاصله کانونی ۱۸ mm انجام پذیرفت. در تصاویر یک خط‌کش به عنوان مقیاس و مرجع اندازه‌گیری برای تبدیل پیکسل به سانتی‌متر قرار داده شد. تصاویر رنگی (RGB) خام با وضوح 3072×2304 و با قدرت تفکیک افقی و عمودی ۷۲dpi و با فرمت PNG ذخیره شد. شماتیک فرآیند تصویربرداری در شکل (۱) نمایش داده شده است. تصاویر RGB به دست آمده (شکل ۲-۸)، به‌منظور حذف نویز و فیلتر کردن رنگ‌های قالب گوجه‌فرنگی گیلاسی، به مرحله



شکل (۱) شکل شماتیک سیستم تصویربرداری
Fig1. Schematic diagram of image acquisition set-up

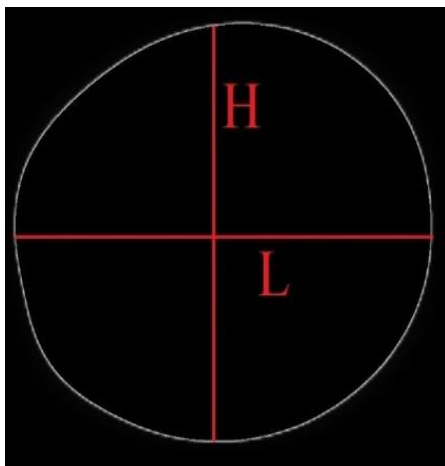
2. Median filter
3. Gaussian kernel filter
4. Grayscale image
5. Otsu's method
6. Binary image

1. Two-dimensional



شکل (۲) تصویر اصلی گوجه فرنگی گیلاسی (تصویر رنگی، a)، تصویر رنگی فیلترشده با فیلتر میانه (۱۰ در ۱۰ پیکسل، b)، تصویر رنگی بعد از حذف پس‌زمینه با کمک تکنیک تفریق تصویر (c)، تصویر رنگی فیلترشده با استفاده از فیلتر گوسین (۲۰ در ۲۰ پیکسل، d)، تصویر خاکستری (e)، تصویر گوجه‌فرنگی گیلاسی آستانه‌گیری شده با روش اوتسو (تصویر دو دویی، f) و تصویر آستانه دو دویی (g)

Fig2. Original image of cherry tomato (RGB image, a), filtered RGB image by median filter (10*10-pixel, b), RGB image after background removing using the image subtraction technique (c), filtered RGB image by Gaussian kernel filter (20*20-pixel, d), gray scale image (e), cherry tomato's image threshold by Otsu method (Binary image, f) and binary thresholding image (g)



شکل (۳) خصیصه‌های استخراج شده از تصویر دو دویی

Fig3. Features extracted from the binary image

جرم (W) گوجه‌فرنگی گیلاسی (بر حسب گرم) حاصل از تصویر با استفاده از همبستگی ریاضی بین جرم واقعی (بر حسب گرم) و مساحت حاصل از تصویر گوجه‌فرنگی گیلاسی (بر حسب سانتی‌متر مربع یا پیکسل مربع) پیش‌بینی شد. در این روش، ارتباط بین سطح، طول و ارتفاع با جرم گوجه‌فرنگی گیلاسی، از طریق مدل‌های ریاضی خطی (رابطه

۵.۲. استخراج خصوصیات شکلی، مساحت و جرم

پس از تصویربرداری و پیش‌پردازش تصاویر در گام اول مساحت گوجه‌فرنگی گیلاسی (A) با دو مقیاس پیکسل مربع و سانتی‌متر مربع محاسبه شد. بدین‌منظور، با کمک تصاویر دو دویی (شکل ۲-f) و با استفاده از جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب سطح اشغال شده توسط گوجه‌فرنگی گیلاسی، بر حسب تعداد پیکسل مشخص شد؛ سپس با کمک خط‌کش مرجع تعداد پیکسل به سانتی‌متر تبدیل و مساحت گوجه‌فرنگی گیلاسی بر حسب سانتی‌متر مربع به دست آمد:

$$(3) \text{ مساحت } (cm^2) = \frac{\text{مساحت} \times 1 \text{ cm}^2}{(\text{تعداد پیکسل در هر سانتی متر مربع})^2} \times (\text{pixel}^2)$$

برای محاسبه جرم ابتدا طول (L) و ارتفاع (H) گوجه‌فرنگی گیلاسی از تصاویر دو دویی استخراج (شکل ۳) و برای محاسبات بعدی طول و ارتفاع از تعداد پیکسل، به سانتی‌متر تبدیل شد:

$$(4) \text{ ارتفاع یا طول } (cm) = \frac{1 \text{ cm} \times \text{ارتفاع یا طول} (\text{pixel})}{\text{تعداد پیکسل در هر سانتی متر}}$$

O_x و O_y برابر مختصات مرکز و θ برابر زاویه است که بین صفر تا π متغیر است. در بین قطرها، بزرگ‌ترین قطر تحت عنوان قطر طولی (LD) تعریف می‌شود و خط مستقیمی که زاویه ۹۰ درجه با قطر طولی دارد، (عمود بر آن است و از مرکز آن می‌گذرد) تحت عنوان قطر عرضی (TD) شناخته می‌شود. با محاسبه قطر طولی و قطر عرضی نسبت شکلی (SR) نیز از نسبت این دو شاخص محاسبه شد [۱۵]:

$$RL = \arccos(\sqrt{x^2 + y^2}) \quad (11)$$

$$SR = \frac{LD}{TD} \quad (12)$$

نسبت شکلی نشان‌دهنده شکل گوجه‌فرنگی گیلاسی است و مقدار نزدیک به یک، نشان‌دهنده شکل دایره‌ای و مقدار بزرگ‌تر از یک نیز نشان‌دهنده شکل بیضی و استوانه‌ای است.

۶.۲. تجزیه و تحلیل آماری

برازش داده‌ها با کمک جعبه‌ابزار برازش داده نرم‌افزار متلب انجام شد. شدت ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته با تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون اندازه‌گیری شد. آمار توصیفی داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ به دست آمد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. بررسی تأثیر پوشش‌دهی با ژل آلون‌ه‌ورا بر درصد تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی

شکل (۴) درصد تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلون‌ه‌ورا، طی دوره نگهداری را نشان می‌دهد. درصد تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلون‌ه‌ورا، طی مدت‌زمان ۲۴ روز نگهداری در دمای محیط به‌طور معناداری ($p < 0.05$) افزایش یافت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اختلاف معناداری در سطح ۵٪ بین درصد تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پوشش‌دار شده با نمونه‌های کنترل طی دوره نگهداری وجود دارد؛ همچنین، غلظت ژل آلون‌ه‌ورا نیز تأثیر معناداری ($p < 0.05$) بر درصد تغییرات جرم

(۵) و منحنی توان^۱ (رابطه ۶) مشخص و در ادامه، با کمک خصوصیات تصویر امکان محاسبه جرم فراهم شد [۱۶-۱۵]:

$$w = a + bA \quad (5)$$

$$w = aL^b \quad (6)$$

ضرایب مدل با کمک تجزیه و تحلیل رگرسیونی خطی تعیین شد (برازش منحنی). برای جلوگیری از بیش‌برازش^۲، تصاویر به دو دسته تقسیم شدند؛ ۷۰٪ آن‌ها برای برازش منحنی و تعیین ثابت‌های مدل و ۳۰٪ باقیمانده تصاویر نیز جهت اعتبارسنجی عملکرد مدل و تعیین خطای پیش‌بینی به کار رفت. عملکرد مدل با کمک ضریب تبیین، خطای جذر میانگین مربعات^۳ (رابطه ۷) و میانگین خطای مطلق^۴ (رابطه ۸) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |W_{estimated,i} - W_{measured,i}|^2}{N}} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |W_{estimated,i} - W_{measured,i}|}{N} \quad (8)$$

تغییرات جرم از طریق جرم‌های پیش‌بینی شده و معادله (۱) محاسبه و با تغییرات جرم واقعی مقایسه شد. برای محاسبه نسبت شکلی (SR)، ابتدا قطر طولی (LD) و قطر عرضی (TD) تصاویر دو دویی (شکل ۳) استخراج و محاسبه شد. برای این منظور، می‌بایست ابتدا مرکز تصویر (O) مشخص شود. جمع تعداد پیکسل در هر جهت (x یا y) مختصات خط و ستون را تعیین می‌کند و رابطه بین مختصات خط و ستون، مختصات مرکز سلولی (O) را مشخص می‌کند. سپس الگوریتم با استفاده از مختصات قطبی، متغیر R را تعیین می‌کند که مقدار این متغیر، در مرکز صفر ($R = 0$) است و مقدار آن به سمت لبه‌ها تا ۱ و ۱- به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد؛ در ادامه فاصله اقلیدسی^۵ بین این دو نقطه (۱ و -۱) که نشان‌دهنده قطر است، محاسبه شد [۱۶].

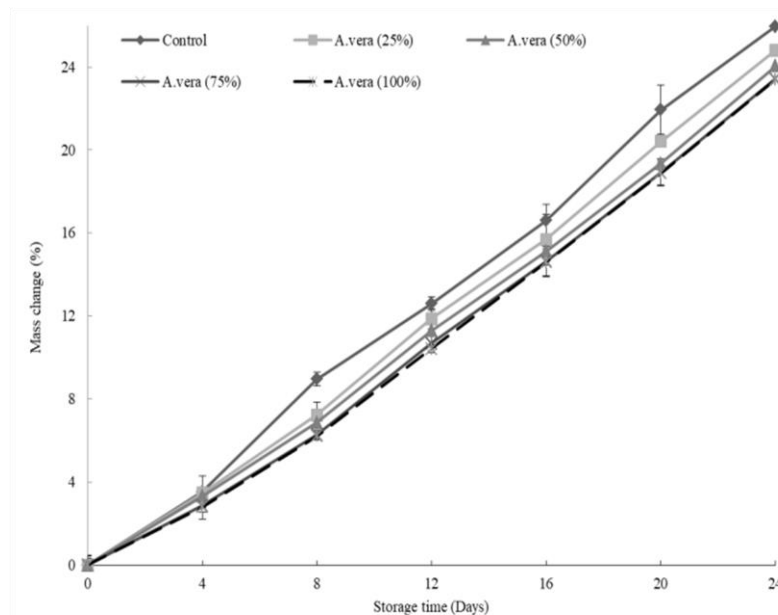
$$x = O_x + R \times \cos(\theta) \quad (9)$$

$$y = O_y + R \times \cos(\theta) \quad (10)$$

1. Power curve
2. Over-fitting
3. Root Mean Square Error (RMSE)
4. Mean absolute error (MAE)
5. Euclidean distance

نگهداری، استفاده کرد [۲۰]. همان‌طور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود، جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلای بدون پوشش، به میزان $1/19 \pm 25/96\%$ جرم اولیه در طی دوره نگهداری کاهش یافت. با پوشش‌دار کردن گوجه‌فرنگی‌های گیلای با غلظت‌های مختلف از ژل آلوتهورا، در انتهای دوره نگهداری، میزان تغییرات جرم در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش، حدود $4/43 - 9/86\%$ کاهش نشان داد. والورده و همکاران (۲۰۰۵)، ارگون و ساتیسی (۲۰۱۲)، حضرتی و همکاران (۲۰۱۷) نیز به ترتیب کاهش میزان تغییرات جرم انگور، سیب و هلو را در اثر اعمال ژل آلوتهورا طی دوره نگهداری گزارش کردند [۱۷، ۲۲]. تأثیر چنین پوشش‌های خوراکی را می‌توان به ویژگی‌های هیگروسکوپیک^۳ آن‌ها نسبت داد که با ایجاد یک سد فیزیکی، می‌توانند انتقال رطوبت بین میوه و محیط اطراف را به تأخیر بیندازند [۲۳].

گوجه‌فرنگی‌های گیلای، طی دوره نگهداری داشت، هرچند که این تفاوت بین غلظت‌های ژل آلوتهورا در سطح ۷۵ و ۱۰۰٪ معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). در طول دوره نگهداری، فرآورده‌های کشاورزی در اثر از دست دادن دو فاکتور، یعنی آب، در پی تعرق^۱ و کربن تثبیت شده، در اثر تنفس^۲، دچار کاهش جرم می‌شوند [۱۹]. میزان از دست رفتن آب، به اختلاف فشار بخار آب بین بافت میوه و محیط اطراف آن بستگی دارد. به طور طبیعی، پوست میوه از انتقال آب بخش درونی به محیط اطراف جلوگیری می‌کند؛ بنابراین با اعمال پوشش بر روی پوست میوه‌ها، می‌توان یک لایه اضافی ایجاد کرد تا از انتقال رطوبت به محیط اطراف به طور کارآمدتری ممانعت کرد. ژل آلوتهورا حاوی مقادیر زیادی از پلی‌ساکاریدها (عمدتاً ترکیبی از گلوکز و اپیمرهای C_2 آن و مانوز) است که می‌توان از آن به عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی بر پایه پلی‌ساکاریدها، جهت کاهش میزان از دست رفتن آب و در نتیجه کاهش جرم میوه‌ها، در طول مدت



شکل (۴) تغییرات جرم گوجه فرنگی‌های بدون پوشش و پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف از ژل آلوتهورا حین نگهداری در دمای محیط

Fig4. Mass changes of uncoated and coated cherry tomatoes coated with different concentrations of *A. vera* gel during ambient temperature storage

3. Hygroscopic properties

1. Transpiration
2. Respiration

ضریب چولگی این داده‌ها صفر نیست و توزیع داده‌ها دارای چولگی مثبت هستند، ولی با توجه به مقدار عددی ضریب چولگی، احتمالاً توزیع داده‌ها نزدیک به توزیع نرمال است. مقادیر میانگین جرم حاصله و نیز جرم هر گوجه‌فرنگی گیلاسی برای پیدا کردن ارتباط آن با ابعاد و خصیصه‌های استخراجی از تصویر استفاده شد.

۳.۲. پیش‌پردازش داده‌ها، تصاویر و استخراج خصیصه‌ها و اطلاعات اولیه

در این مرحله هدف ایجاد شرایط لازم برای تخمین جرم گوجه‌فرنگی گیلاسی با تیمارهای مختلف در طول دوره نگهداری، از تصاویر RGB است. در جدول (۱) آمار توصیفی داده‌های جرم در زمان‌های مختلف ارائه شده است؛ اگرچه

جدول (۱) آمار توصیفی داده‌های استخراجی بر اساس جرم اندازه‌گیری شده گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی

Table 1. Descriptive statistics based on measured mass of cherry tomatoes

Storage time (Days) زمان نگهداری (روز)	Descriptive statistic				
	آمار توصیفی				
	Mean (g) میانگین (گرم)	Standard deviation (g) انحراف معیار (گرم)	Min (g) حداقل (گرم)	Max (g) حداکثر (گرم)	Skewness ضریب چولگی
0	10.44	0.21	10.20	10.70	0.21
4	10.11	0.20	9.91	10.40	0.22
8	9.70	0.23	9.47	10.03	0.26
12	9.25	0.20	9.09	9.56	0.23
16	8.84	0.19	8.67	9.13	0.24
20	8.36	0.21	8.12	8.68	0.26
24	7.90	0.19	7.70	8.19	0.16

سپس با الگوی موجود در تصویر (خط‌کش معیار) مساحت به سانتی‌متر مربع تبدیل شد. نتایج میانگین مساحت تصویر استخراج شده از ۴ تصویر، برحسب پیکسل مربع و سانتی‌متر مربع برای تیمارهای مختلف، طی زمان نگهداری در جدول (۲) نشان داده شده است.

به منظور تخمین جرم از تصاویر، پس از عکس‌برداری و پیش‌پردازش تصاویر، خصیصه‌های مورد نظر شامل طول، ارتفاع، مساحت و نسبت شکلی از تصاویر استخراج شد. در گام اول، مساحت گوجه‌فرنگی گیلاسی ۱۴۰ تصویر (۵ تیمار، ۷ زمان نگهداری و ۴ تصویر (تکرار)) حاصل از تیمارها و زمان‌های نگهداری برحسب پیکسل مربع به دست آمد،

جدول (۲) میانگین مساحت اندازه‌گیری شده بر اساس پیکسل مربع و سانتی‌متر مربع

Table 2. Mean area measurement based on pixel² and cm²

Storage time (Days) زمان نگهداری (روز)	Area (pixel ²) مساحت (پیکسل مربع)					Area (cm ²) مساحت (سانتی‌متر مربع)				
	Concentration of coating based on <i>A. vera</i> gel (%) غلظت پوشش بر پایه ژل آلوئه‌ورا (%)					Concentration of coating based on <i>A. vera</i> gel (%) غلظت پوشش بر پایه ژل آلوئه‌ورا (%)				
	Control (0%) کنترل (۰٪)	25	50	75	100	Control (0%) کنترل (۰٪)	25	50	75	100
0	76415.90	77812.90	75717.40	78511.40	75018.90	7.494	7.631	7.425	7.700	7.356
4	73851.57	75243.68	73328.81	76381.32	73016.86	7.241	7.378	7.190	7.490	7.159
8	69907.00	72452.33	70781.94	73825.23	70587.34	6.853	7.104	6.939	7.239	6.920
12	67270.02	69031.64	67587.56	70521.75	67587.84	6.594	6.767	6.625	6.914	6.625
16	64357.00	66203.27	64846.43	67577.01	64623.96	6.307	6.489	6.355	6.624	6.333
20	60477.81	62701.13	61795.95	64370.69	61553.22	5.925	6.144	6.055	6.308	6.031
24	57557.52	59443.33	58414.51	60992.46	58347.10	5.638	5.823	5.722	5.976	5.715

جذر میانگین مربعات و میانگین خطای مطلق رابطه بین جرم واقعی و خصوصیات حاصل از تصویر (با دو مقیاس سانتی متر و پیکسل) را مدل نمایند؛ با این حال مدل خطی عملکرد بهتری داشت و این امر نیز قابل پیش بینی بود. از آنجایی که در مدل خطی ارتباط بین جرم با مساحت حاصل از تصویر برقرار می شود، از این رو اطلاعات بیشتری نسبت به مدل منحنی توان که ارتباط بین جرم اندازه گیری شده با قطر اصلی است، از تصویر استخراج می شود و در نتیجه دقت پیش بینی بالاتری دارد (ضریب تبیین برابر ۰/۹۸۹۵). نتایج مشابهی مبنی بر بهتر بودن مدل هایی که از مساحت برای تخمین جرم استفاده می کنند، توسط ویازی و همکاران (۲۰۱۵) در تخمین جرم ماهی گزارش شد [۲۴].

نتایج جدول (۲) نشان داد که مساحت گوجه فرنگی های گیلاسی بدون پوشش و پوشش دار شده با غلظت های مختلف از ژل آلونته ورا، طی ۲۴ روز نگهداری در دمای ۲۵ °C، به طور معناداری ($p < 0.05$) کاهش یافت. شدت این تغییرات در نمونه های پوشش دار شده در مقایسه با نمونه کنترل کمتر است.

۳.۳. تخمین تغییرات جرم

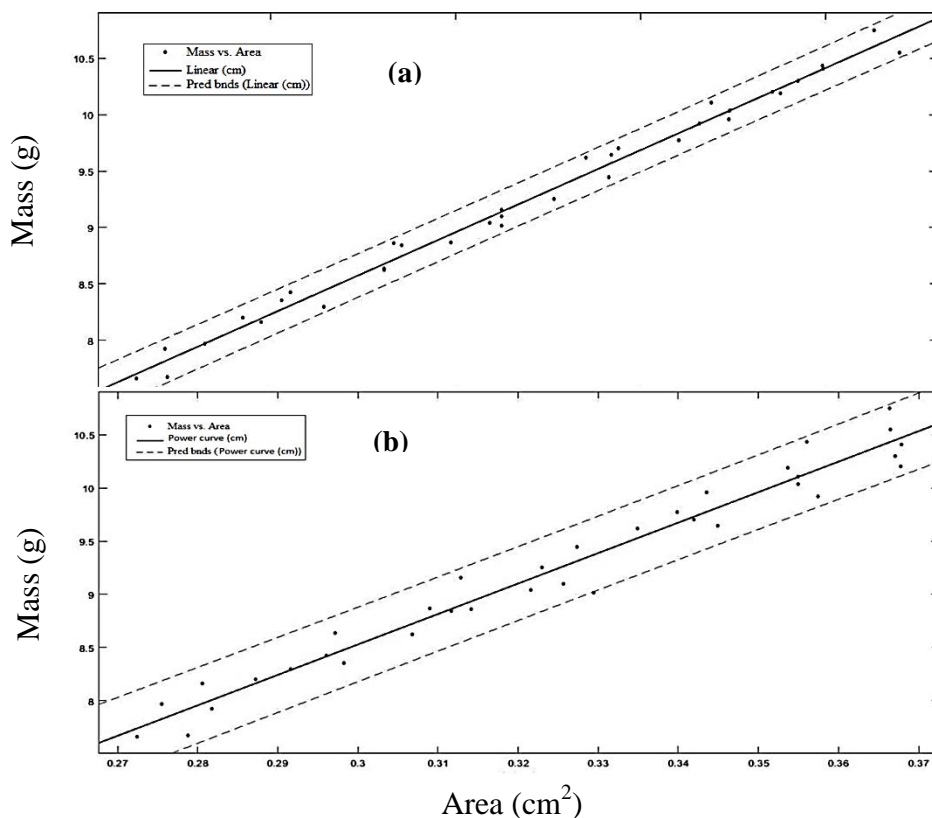
برای تخمین جرم با استفاده از مساحت، ابتدا مدل های خطی و منحنی توان بر داده ها برازش شد تا ثابت های مدل به دست آید. نتایج حاصل از برازش این مدل ها، در جدول (۳) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، هر دو مدل توانستند با بیشترین ضریب تبیین و کمترین خطای

جدول (۳) ضرایب مدل های ریاضی برازش شده از طریق تجزیه و تحلیل رگرسیون
Table 3. Coefficients of the mathematical models fitted by regression analysis

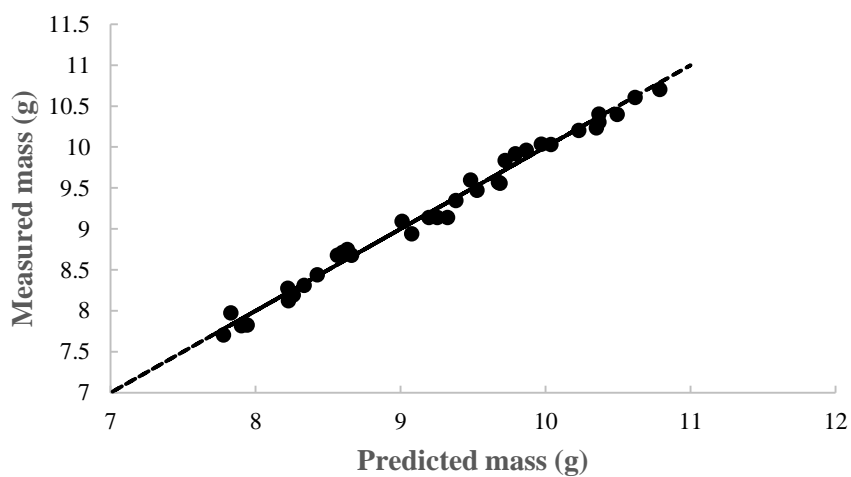
Scale مقیاس	Equation معادله	Model coefficients ضرایب مدل			Statistical values اعداد آماری	
		A	b	R ²	RMSE	MAE
Centimeter سانتی متر	Linear خطی	-0.5079	1.456	0.9895	0.09285	0.06411
	Power curve منحنی توان	28.64	1.006	0.9656	0.1681	0.1043
Pixel پیکسل	Linear خطی	-0.5479	0.0001433	0.9895	0.09285	0.06411
	Power curve منحنی توان	0.00257	1.01	0.9654	0.1687	0.1059

می دهد. همان طور که در شکل مشخص است، همبستگی بالایی بین نتایج پیش بینی شده و واقعی وجود دارد. با توجه به یکنواخت بودن شکل گوجه فرنگی گیلاسی، مدل به خوبی توانسته از روی خصیصه های تصویر، جرم آن را پیش بینی کند که این پیش بینی، با دقت ۰/۹۸۹۵ انجام شد و ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده، برابر ۰/۹۷۲۹ بود.

نمونه ای از ارتباط بین جرم اندازه گیری شده با مساحت حاصل از تصویر و قطر اصلی در مقیاس سانتی متر در شکل (۵) نمایش داده شده است. با توجه به عملکرد بهتر مدل خطی، از این مدل برای تخمین جرم گوجه فرنگی گیلاسی استفاده شد. شکل (۶)، نمودار جرم پیش بینی شده با مدل خطی را در مقابل جرم واقعی (اندازه گیری شده) نشان



شکل (۵) ارتباط بین جرم اندازه‌گیری شده گوجه‌فرنگی گیلاسی و مساحت بر اساس (الف) مدل خطی و (ب) مدل منحنی توان
Fig5. Relation between measured mass of cherry tomato and area within the validation dataset in (a) linear model and (b) power curve model



شکل (۶) جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی تخمین زده شده با استفاده از سانتی‌متر مربع (مدل خطی) در برابر جرم اندازه‌گیری شده
Fig6. Predicted mass of cherry tomatoes using cm² (linear model) vs. measured mass

می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از سیستم ماشین بینایی و تنها با کمک تصاویر دوبعدی میزان جرم و اختلاف جرم طی نگهداری گوجه‌فرنگی گیلاسی را با دقت بالایی تخمین زد؛ از این رو می‌توان از این تکنیک به راحتی در نگهداری میوه و سبزی‌ها و به خصوص گوجه‌فرنگی گیلاسی استفاده کرد. نتایج مشابهی برای تخمین وزن سیب، لیموشیرین، لیمو و پرتقال [۱۴]، نوعی خربزه [۱۶] و انبه [۲۵] گزارش شده است.

پس از تخمین جرم، اختلاف جرم نسبت به جرم اولیه طی زمان نگهداری و برای تیمارهای مختلف محاسبه شد. جدول (۴) اختلاف جرم اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به همراه میزان خطا را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، میزان خطای پیش‌بینی برای تخمین اختلاف جرم طی نگهداری با کمک پردازش تصویر، پایین است. نتایج نشان داد که حداکثر میزان خطای نسبی پیش‌بینی حدود ۶/۹۷۵٪ و میانگین این خطا ۳/۳۵۹٪ بود؛ همچنین

جدول (۴) مقایسه بین اختلافات جرم اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده

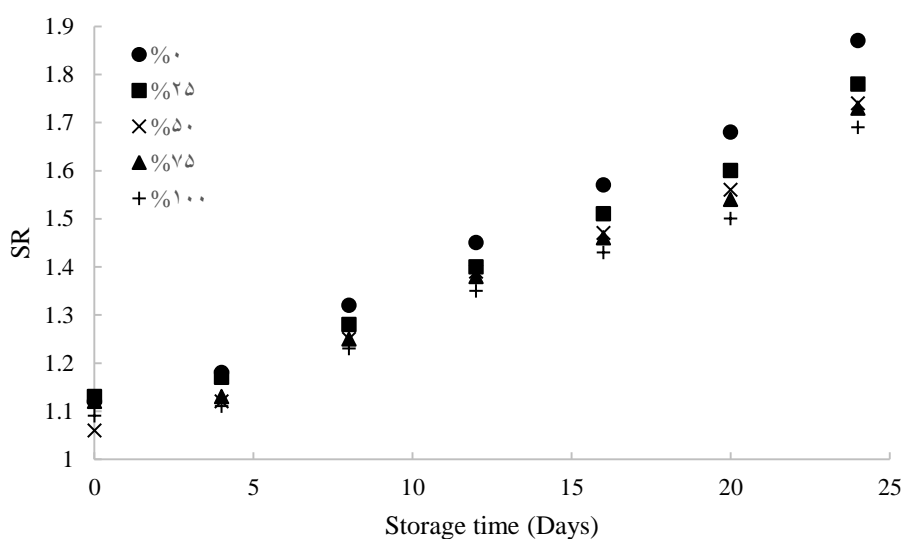
Table 4. Comparison between measured and estimated mass differences

Treatment	Storage time (Days)	Measured mass difference (g)	Estimated mass difference (g)	Error (g)	Relative Error (%)
تیمار	زمان نگهداری (روز)	اختلاف جرم اندازه‌گیری شده (گرم)	اختلاف جرم تخمینی (گرم)	خطا (گرم)	خطای نسبی (%)
Control (0%) (کنترل ۰٪)	0	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.367	0.392	-0.025	6.810
	8	0.932	0.867	0.065	6.975
	12	1.309	1.359	-0.050	3.819
	16	1.726	1.706	0.020	1.158
	20	2.282	2.142	0.140	6.136
25%	24	2.700	2.590	0.110	4.074
	0	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.368	0.353	0.015	4.078
	8	0.767	0.813	-0.046	5.994
	12	1.257	1.237	0.020	1.591
	16	1.662	1.592	0.070	4.212
50%	20	2.163	2.193	-0.030	1.387
	24	2.630	2.790	-0.160	6.084
	0	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.342	0.362	-0.020	5.849
	8	0.707	0.752	-0.045	6.369
	12	1.164	1.109	0.055	4.725
75%	16	1.556	1.646	-0.090	5.783
	20	1.993	2.033	-0.040	2.007
	24	2.477	2.427	0.050	2.018
	0	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.305	0.295	0.010	3.279
	8	0.671	0.706	-0.035	5.217
100%	12	1.144	1.104	0.040	3.497
	16	1.565	1.535	0.030	1.916
	20	2.024	2.084	-0.060	2.964
	24	2.508	2.528	-0.020	0.797
	0	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	0.287	0.297	-0.010	3.489
100%	8	0.634	0.614	0.020	3.152
	12	1.064	1.034	0.030	2.820
	16	1.488	1.558	-0.070	4.704
	20	1.928	2.008	-0.080	4.150
	24	2.387	2.327	0.060	2.514

۴.۳. نسبت شکلی (SR)

هرچه مقدار نسبت شکل به سمت کمتر از یک کاهش یابد، شکل گوجه فرنگی گیلای به دایره نزدیک می‌شود و هرچه این مقدار از ۱/۷ بیشتر شود، گوجه‌فرنگی گیلای، شکل استوانه‌ای خواهد داشت و در فاصله ۱ تا ۱/۷ شکل آن دوکی‌مانند خواهد بود [۱۶]. این نسبت، علاوه بر کنترل تغییرات طی نگهداری میوه و سبزی، این امکان را فراهم می‌آورد تا برای طبقه‌بندی کیفی و درجه‌بندی آن‌ها نیز قابل‌استفاده باشد. کاربرد موفقیت‌آمیز نسبت شکلی، توسط کالسیتو در طبقه‌بندی و جداسازی خربزه [۱۶] گزارش شده است.

نسبت شکلی، یکی دیگر از پارامترهای استخراج‌شده از تصویر است که توانایی توصیف روند تغییرات جرم گوجه‌فرنگی گیلای را طی نگهداری دارد. طی زمان نگهداری گوجه‌فرنگی گیلای، قطر عرضی آن به سبب از دست دادن آب و چروکیدگی، رفته‌رفته کاهش می‌یابد؛ در نتیجه مقدار عددی نسبت شکلی افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، محدوده نسبت شکلی بین ۱/۱ تا نزدیک ۱/۹ متغیر است که نشان‌دهنده شکل استوانه‌ای و دوکی‌مانند گوجه‌فرنگی گیلای است؛



شکل (۷) نسبت شکلی (SR) گوجه‌فرنگی گیلای بدون پوشش و پوشش‌دار شده، حین زمان نگهداری

Fig7. Shape Ratio (SR) of uncoated and coated cherry tomato during storage time

استخراج خصیصه‌های شکلی و ابعاد هندسی بود تا با کمک آن‌ها و با استفاده از الگوریتم‌های ساده ولی دقیق، میزان جرم، اختلاف جرم و نسبت شکلی طی نگهداری گوجه‌فرنگی گیلای پوشش‌دار شده با غلظت‌های مختلف ژل آلون‌ورا را پیش‌بینی کند. نتایج برازش داده‌های مساحت و قطر اصلی با داده‌های جرم نشان داد که اگرچه هر دو مدل خطی و منحنی توان در هر دو مقیاس سانتی‌متر و پیکسل توانستند با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۶۵۶ این ارتباط را تخمین بزنند، ولی مدل خطی به سبب استفاده از مساحت تصویر دارای

۴. نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از مرحله اول پژوهش حاضر، حاکی از افزایش معنادار ($p < 0.05$) تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلای طی دوره نگهداری در دمای محیط بود. اعمال تیمار پوشش‌دهی با ژل آلون‌ورا، توانست تغییرات جرم گوجه‌فرنگی‌های گیلای طی دوره نگهداری را کاهش دهد؛ هرچند که تفاوت معناداری ($p > 0.05$) بین غلظت‌های ژل آلون‌ورا در سطح ۷۵ و ۱۰۰٪ مشاهده نشد. تمرکز بخش دوم این پژوهش بر توسعه یک سیستم پردازش تصویر برای

ماشین بینایی باشد تا تنها با کمک تصاویر دو بعدی و به عنوان روش غیرمخرب تغییرات میوه و سبزی‌ها را طی نگهداری با دقت بالایی پیش‌بینی کند.

قدردانی

مقاله حاضر، نتیجه طرح پژوهشی با عنوان «استفاده از تکنیک پردازش تصویر برای طبقه‌بندی کیفی گوجه‌فرنگی پوشش‌دهی‌شده با ژل آلونته‌ورا طی نگهداری در دماهای مختلف»، مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان، مورخ ۱۳۹۸/۱۰/۲۳ است. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق ما را در این مهم یاری رساندند، قدردانی می‌شود.

عملکرد بهتری بود (ضریب تبیین برابر ۰/۹۸۹۵). همان‌طور که انتظار می‌رفت، تغییر مقیاس تأثیر چندانی بر دقت پیش‌بینی نداشت. اختلاف جرم گوجه‌فرنگی گیلاسی پوشش‌دارشده با غلظت‌های مختلف ژل آلونته‌ورا طی نگهداری با کمک مدل خطی و با حداکثر خطای نسبی حدود ۰/۷٪ و میانگین ۳/۳۵۹٪ پیش‌بینی شد. این نتایج حاکی از آن است که مساحت حاصل از تصویر برای تخمین جرم کافی است و در مقایسه با سایر خصیصه‌های اصلی تصویر عملکرد بهتری دارد. نتایج حاصل از نسبت شکلی نشان داد که این خصیصه طی نگهداری گوجه‌فرنگی گیلاسی بین ۱/۱ تا ۱/۹ تغییر کرده که نشان‌دهنده تغییر شکل آن از حالت دوکی به استوانه‌ای است. این تکنیک می‌تواند اولین قدم به سمت توسعه یک ابزار کنترل خودکار بر پایه سیستم

منابع

- [1] FAOSTAT. Food and Agriculture Organization (FAO), Statistics, 2017 ed. <http://www.fao.org/faostat/en>. 2017.
- [2] Rizzolo, A., Vanoli, M., Spinelli, L., & Torricelli, A. (2010). Sensory characteristics, quality and optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy in stored apples. *Postharvest. Biol. Technol.*, 58 (1), 1-12.
- [3] Bhowmik, D., Kumar, K.P.S., Paswan, S., & Srivastava, S. (2012). Tomato-a natural medicine and its health benefits. *J. Ph. Phy.*, 1, 33-43.
- [4] Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y., & Liu, Y.C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *J. Food Eng.*, 77, 478-485.
- [5] Kumar, K., Paswan, S., & Srivastava, S. (2012). Tomato-a natural Medicine and its health benefits. *J. Ph. Phy.*, 1(1), 24-36.
- [6] Femenia, A., Sanchez, E.S., Simal, S., & Rosello, C. (1999). Compositional features of polysaccharides from Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) plant tissues. *Carbohydr. Polym.*, 39, 109-117.
- [7] Mattone, R., Campagiorni, G., & Galati, F. (2000). Sorting of items on a moving conveyor belt. Part 1: a technique for detecting and classifying objects. *Robot Comput Integrated Manuf.*, 16(2), 73-80.
- [8] Pordarbani, R., Gasemzadeh, H.R., Golzadeh, A.A., & Behfar, H. (2009). Feasibility study of apple quality grading using image processing. *J. Food Res.*, 19(1), 75-85. [In Persian]
- [9] Moreda, G., Ortiz-Cañavate, J., García-Ramos, F.J., & Ruiz-Altisent, M.J. (2009). Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination-a review. *J. Food Eng.*, 92(2), 119-136.
- [10] Omid, M., Khojasteh nazhand, M., & Tabatabaeefar, A. (2010). Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *J. Food Eng.*, 100 (2), 315-321.
- [11] Duzyaman, E., & Duzyaman, B.U. (2005). Fine-tuned head weight estimation in globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Hortscience.*, 40(3), 525-528.
- [12] Jadhav, T., Singh, K., & Abhyankar, A. (2019). Volumetric estimation using 3D reconstruction Method for grading of fruits. *Multimed. Tools. Appl.*, 78, 1613-1634.
- [13] Chopin, J., Laga, H., & Miklavcic, S.J. (2017). A new method for accurate, high-throughput volume estimation from three 2D projective images. *Int. J. Food Prop.*, 20(10), 2344-2357
- [14] Vivek Venkatesh, G., Iqbal, S.M., Gopal, A., & Ganesan, D. (2015). Estimation of volume and mass of axi-symmetric fruits using image processing technique. *Int. J. Food Prop.*, 18(3), 608-626.
- [15] Nyalala, I., Okinda, C., Nyalala, L., Makange, N., Chao, Q., & Yousaf, K. (2019). Tomato volume and mass estimation using computer vision and machine learning algorithms: Cherry tomato model. *J.*

- Food Eng.*, 263, 288-298.
- [16] Calixto, R.R., Pinheiro, Neto, L.G., Cavalcante, TdS., Aragão, M.F., & Silva, EdO. (2019). A computer vision model development for size and weight estimation of yellow melon in the Brazilian northeast. *Sci Hort.*, 256, 108521.
- [17] Valverde, J.M., Valero, D., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2005). Novel coating based on *Aloe vera* gel to maintain table grape quality and safety. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 7807-7813.
- [18] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics.*, 9(1), 62-66.
- [19] Vogler, B.K., & Ernst, E. (1999). *Aloe vera*: a systematic review of its clinical effectiveness. *Br. J. Gen. Pract.*, 49, 823-828.
- [20] Ni, Y.D., Turner, K., Yates, M., & Tizard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp. *Int. Immunopharmacol.*, 4, 1745-1755.
- [21] Ergun, M., & Satıcı, F. (2012). Use of *Aloe Vera* gel as biopreservation for 'Granny Smith' and 'Red Chief' apples. *J. Animal Plant Sci.*, 22(2), 363-368.
- [22] Hazrati, S., Beyraghdar Kashkooli, A., Habibzadeh, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z., & Sadeghi, A.R. (2017). Evaluation of *Aloe Vera* gel as an alternative edible coating for peach fruits during cold storage period. *Gesunde Pflanzen.*, 69, 131-137.
- [23] Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., & Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Crit. Rev Food Sci. Nutr.*, 42, 67-89.
- [24] Viazzi, S., Van Hoestenbergh, S., Goddeeris, B., & Berckmans, D. (2015). Automatic mass estimation of Jade perch scortum barcoo by computer vision. *Aquacult Eng.*, 64, 42-48.
- [25] Utai, K., Nagle, M., Hämmerle, S., Spreer, W., Mahayothee, B., & Müller, J. (2019). Mass estimation of mango fruits (*Mangifera Indica* L., cv. 'Nam Dokmai') by linking image processing and artificial neural network. *Eng. In Agri, Envi. Food.*, 12(1), 103-110.



Research Article

Indirect Estimation of Mass and Shape Ratio Changes of *Aloe vera* gel Coated Cherry Tomatoes Using Image Processing Technique

Ali Ganjloo^{1*}, Mohsen Zandi², Mandana Bimakr³, Samaneh Monajem⁴

- 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. Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran**
- 4. MSc student of Food Technology, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran**

Abstract

Mass and shape ratio changes estimation of fruits and vegetables using image processing technique is one of the latest advances in post-harvest technology. In this study, changes in mass and shape ratio of cherry tomatoes coated with different concentrations of *aloe vera* gel (0, 25, 50, 75 and 100% v/v) during storage time at ambient temperature were investigated. For this purpose, after pre-processing of the images, dimensional features (area, main and sub-diameter) as well as the shape ratio were extracted. Then, the relationship between the extracted features of the images and the actual mass was determined using linear and power curve models. The results showed that the linear model well fitted the mass changes in term of the area of the image ($R^2 = 0.9895$) with the accuracy of 0.9729. The results also revealed the efficiency of this system to estimate mass changes during storage with an average relative error of 3.359%. This indicates a very strong relationship between dimensional and mass characteristics. Shape ratio estimation based on the longitudinal and transverse diameters showed that the shape of the coated cherry tomatoes changes due to the loss of moisture from the spindle to the cylindrical shape (shape ratio from 1.1 to 1.7) which this trend decreased with increasing *Aloe vera* gel concentration.

Keywords: Cherry tomato, *Aloe vera*, Vision machine, Shape ratio, Mass changes.

* Corresponding author: aganjloo@znu.ac.ir