نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

بررسی پدیده آردی شدن در میوه سیب رقم رد دلیشس از طریق تکنیک بایواسپکل

آرمان عارفی[1*]، پرویز احمدی مقدم[1]، کاوه ملازاده[2]،علی حسن‌پور[1]، اسعد مدرس مطلق[1]

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

نویسنده مسئول: arman.arefy@gmail.com و arefi.arman@yahoo.com

چکیده

آردی شدن یک پدیده منفی است که در برخی میوه‌ها از جمله سیب اتفاق می‌افتد. شناسایی سیب‌های آردی از روی ویژگی‌های ظاهری امری غیر ممکن است. از این رو بکارگیری روش‌های غیرمخرب نوری همواره مورد توجه محققان بوده است. در تحقیق حاضر از تکنیک نوری بایواسپکل به عنوان یک روش جدید در تشخیص آردی شدن میوه سیب رقم رد دلیشس استفاده شد. برای ایجاد سیب‌های آردی، نمونه‌ها تحت شرایط دمایی ۲۰ ^{o}C و رطوبت نسبی ۹۵ درصد قرار گرفتند. تصاویر بایواسپکل از نمونه‌های آردی و غیرآردی در دو طول موج ۶۸۰ و ۷۸۰ نانومتر تحصیل شد و ویژگی مومنت سکون به عنوان فعالیت بایواسپکل از تصاویر استخراج شد. سپس به منظور تفکیک نمونه‌ها به سه دسته تازه، نیمه آردی و آردی نمونه‌ها تحت آزمون مخرب فشار مقید قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین فعالیت بایواسپکل بترتیب برای سیب‌های تازه، نیمه آردی و آردی بدست آمد.

کلمات کلیدی: ارزیابی غیرمخرب، بافت، ویژگی مومنت سکون، پس از برداشت

۱- مقدمه

میوه‌ها جزء اصلی مواد غذایی مورد نیاز برای تامین ویتامین‌ها و مواد معدنی مورد نیاز بدن هستند و افزایش آگاهی در این مورد موجب افزایش تقاضا برای آن شده است. از جمله مسائل مهم در ارتباط با میوه‌ها، فرایند کاهش کیفیت آن‌ها پس از برداشت می‌باشد. دغدغه‌های مصرف کنندگان در ارتباط با تهیه محصولات با کیفیت بالا، تعریف استانداردهای سطح بالایی را برای کیفیت و سلامتی محصولات غذایی از طرف کشورهای وارد کننده به دنبال داشته که به موجب آن رقابت سنگینی در بین کشورهای تولید کننده شکل گرفته است. لذا برای تسخیر بیشتر بازارهای جهانی محصولات کشاورزی و توانایی رقابت با سایر کشورها، باید در جهت پذیرش و توسعه بیشتر فناوری‌های پس از برداشت گام برداشت. یکی از ویژگی‌های درونی مهم در میوه سیب، آردی شدن[1] می‌باشد. سیب‌های آردی شده دارای بافتی نرم و خشک بوده که مصرف کنندگان تمایلی به مصرف آن‌ها ندارند. از این رو تشخیص آردی شدن در سیب به عنوان یک ویژگی منفی همواره مورد توجه محققان بوده است. نمونه‌های سیب

[1] Mealiness

رقم Top-Red برای تفکیک بر اساس خاصیت آردی شدن با استفاده از تکنیک MRI مورد مطالعه قرار گرفتند (Barreiro et al., 1999). آزمون‌های سفتی و فشار به عنوان روش‌های مخرب در تعیین آردی شدن میوه سیب بکار گرفته شدند. نتایج آماری حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر MRI برای هر دو حالت سیب آردی و سیب تازه بودند. در سال‌های بعد، توانایی روش MRI در دسته‌بندی میوه‌های سیب آردی شده مورد ارزیابی قرار گرفت (Barreiro et al., 2000). نتایج نشان داد که تکنیک MRI قادر بود تا سیب‌ها را با دقتی معادل ۸۷/۵ درصد به سه دسته سیب تازه، نیمه آردی و آردی شده تفکیک کند. برای تشخیص ویژگی آردی شدن در سیب رقم رد دلیشس از تکنیک تصویربرداری پس‌پراکنش فراطیفی استفاده شد (Huang and Lu, 2010). پروفیل پس‌پراکنش طیفی در محدوده طول موج ۶۰۰-۱۰۰۰ نانومتر برای میوه‌های سیب که تحت شرایط سردخانه‌ای (۴ درجه سلسیوس) و غیر سردخانه‌ای (۲۰ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ٪۹۵) نگهداری شده بودند، تحصیل شد. تحصیل تصاویر از سیب‌ها در فاصله زمانی ۰-۵ هفته انجام شد. میانگین شدت نور در هر طول موج به عنوان ویژگی تصاویر فراطیفی در نظر گرفته شد. برای تعیین خاصیت آردی شدن در سیب‌ها، ویژگی سختی و میزان آب خارج شده از نمونه‌های استوانه‌ای سیب در حین تست فشار اندازه‌گیری شد. مدل‌های خطی توسعه داده شده بر اساس PLS[۲] نتوانستند همبستگی نسبتاً پایینی با ویژگی‌های سختی و میزان آب آزاد شده (به ترتیب r<=۰/۷۶ و r<=۰/۵۴) ایجاد کنند. تکنیک‌های مورد استفاده در بررسی پدیده آردی شدن، تکنیک‌های نسبتاً گران قیمتی هستند. تحقیق حاضر قصد دارد توانایی تکنیک بایواسپکل[۳] را به عنوان یک روش جدید و ارزان قیمت در بررسی سیب-های آردی شده رقم رد دلیشس مورد ارزیابی قرار دهد. از آنجاییکه تاکنون هیچگونه گزارشی در این زمینه ارائه نشده است، یافته‌های تحقیق حاضر می‌تواند به نوبه خود حائز اهمیت باشد.

۲- مقدمه‌ای کوتاه بر تکنیک بایواسپکل

زمانیکه یک سطح در معرض نور لیزر قرار گیرد، فوتون‌های پس‌پراکنش یافته از سطح جسم به صورت دانه-های گرانوله‌ای بر روی صفحه تصویر ظاهر می‌شوند. چنین ساختاری را الگوی نقطه‌ای[۴] می‌نامند. عامل اصلی تشکیل الگوی نقطه‌ای، وجود اختلاف فاز تصادفی بین امواج برگشتی از جسم تحت تابش نور متمرکز لیزر است. زمانیکه صفحه پخش کننده نور یک جسم غیر زنده باشد، تصاویر نقطه‌ای در طول زمان تقریباً بدون تغییر باقی خواهند ماند. اما اگر جسم پخش کننده نور یک بافت زنده باشد (مانند محصولات کشاورزی)، زمانیکه به سطح بافت منتشر کننده نور نگاه کنیم، مشاهده خواهد شد که فوتون‌های برگشتی در سطح جسم درست مانند آب در حال جوش هستند. این بدان معنی است که تصاویر نقطه‌ای تهیه شده در طول زمان تغییر خواهند کرد. این تصاویر، تصاویر بایواسپکل نامیده می‌شوند (Zdunek et al., 2007).

[۲] Partial least squares

[۳] Biospeckle

[۴] Speckle pattern

۳- مواد و روش ها

۳-۱- تهیه نمونه‌های سیب

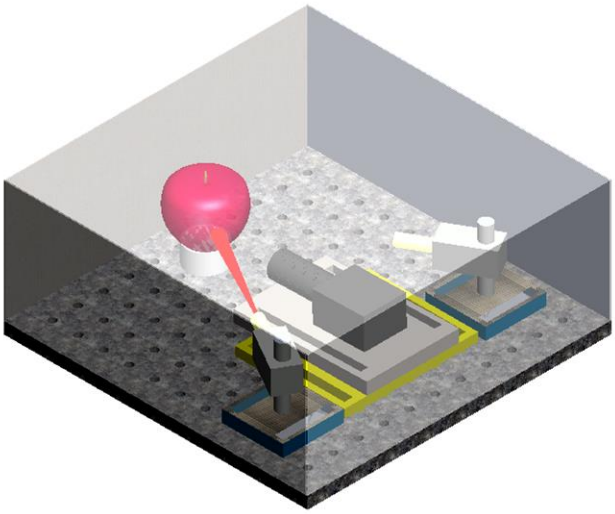
نمونه‌های سیب رقم رد دلیشس از باغی واقع در شهرستان اشنویه تهیه شد. نمونه‌ها از لحاظ رنگ نسبتاً یکنواخت بودند و با کمترین اثر ناشی از فشار دست برداشت شدند. به منظور ایجاد سطوح آردی، میوه‌های سیب تحت شرایط FAIR نگهداری شدند (FAIR, 1998).

- سیب‌های تازه: سیب‌هایی هستند که تحت شرایط ۳ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد برای ۲۶ روز نگهداری شوند.
- سیب‌های نیمه‌آردی: سیب‌هایی هستند که برای ۱۶ روز تحت شرایط ۳ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شوند و سپس به مدت ۱۰ روز تحت شرایط ۲۰ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شوند.
- سیب‌های آردی: سیب‌هایی هستند که تحت شرایط تحت شرایط ۲۰ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد برای ۲۶ روز نگهداری شوند.

در تحقیق حاضر سیب‌هایی که تحت شرایط صفر درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۵ درصد برای مدت ۳۰ روز قرار گرفته بودند به عنوان سیب‌های تازه تلقی شدند.

۳-۲- تهیه تصاویر بایواسپکل از نمونه‌های سیب

شماتیکی از مجموعه تصویربرداری بایواسپکل در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا نمونه‌های سیب بترتیب شماره‌گذاری شدند. هر نمونه در معرض نور لیزر ۶۸۰ نانومتر قرار گرفت. پس از تحصیل ۵۰۰ فریم تصویر، پیکسل‌های مربوط به ستون وسط هر کدام از ۵۰۰ فریم استخراج شد. با قرار دادن این ستون از پیکسل‌ها در کنار یکدیگر، تصویر جدیدی به نام THSP تشکیل شد که در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. برای فراخوانی دوربین، تحصیل و ذخیره تصاویر از نرم‌افزار مهندسی MATLAB استفاده شد. با فرض یکنواخت بودن نقاط مختلف یک سیب بر روی محور استوایی آن و همچنین به دلیل زمان‌بر بودن آزمایش، تصاویر تنها از یک محل تهیه شد. نمونه‌ای از تصاویر THSP تحصیل شده در طول موج ۶۸۰ نانومتر در شکل ۲-الف نشان داده شده است. بعد از تهیه تصاویر، لیزر ۶۸۰ نانومتر خاموش و تصویربرداری با لیزر ۷۸۰ نانومتر انجام گرفت (شکل ۲-ب).

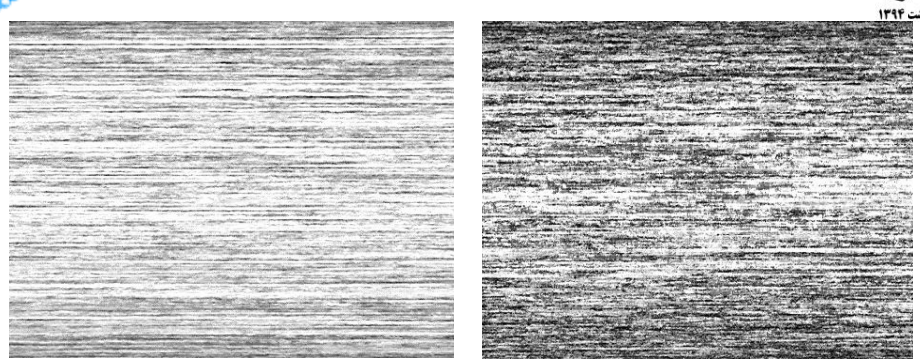


شکل ۱- شماتیک مجموعه تصویربرداری بایواسپل.

۳-۳- انجام آزمون مخرب فشار مقید[۵]

اگرچه انتظار می‌رود که بیشتر سیب‌های نگهداری شده تحت شرایط دمایی ۲۰ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد آردی شده باشند، اما انجام آزمون مخرب جهت شناسایی سیب‌های آردی شده امری ضروری محسوب می‌شود (Barreiro et al., 1998). آزمون مخرب فشار مقید به عنوان یکی از آزمون‌های مخرب برای تشخیص سیب‌های آردی همواره مورد توجه محققان بوده است. نمونه‌های استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۱۷ میلیمتر از سیب‌ها استخراج شد. نمونه‌ها در داخل یک دیسک قرار گرفتند و توسط یک پروب استوانه‌ای با قطر ۱۵/۳ میلیمتر به میزان ۲/۵ میلیمتر فشرده شدند (شکل ۳). سرعت بارگذاری و باربرداری ۲۰ mm/min بود. به منظور جمع‌آوری آب آزاد شده در حین عملیات فشردن نمونه، در زیر نمونه‌های استوانه‌ای سیب یک عدد کاغذ فیلتر قرار گرفته بود (شکل ۳). سختی (N/mm) به عنوان شیب نمودار نیرو-جابه‌جایی و مساحت خیس شده کاغذ فیلتر (cm^2) به عنوان دو پارامتر اصلی در شناسایی سیب‌های آردی مورد استفاده قرار گرفت. سیب‌هایی که دارای سختی کمتر از T_1 و مساحت خیس شده کمتر از T_2 بودند به عنوان سیب آردی در نظر گرفته شدند. سیب‌های تازه در نظر گرفته شدند که دارای سختی و مساحت خیس شده بزرگتر از T_1و T_2 بودند. اگر سختی نمونه‌ها بزرگتر از T_1 و مساحت خیس شده کمتر از T_2 بود و یا اگر سختی کمتر از T_1 و مساحت خیس شده بزرگتر از T_2 بود، میوه‌ها به عنوان سیب نیمه آردی در نظر گرفته می‌شدند.

[۵]Confined compression test



ب الف

شکل ۲- الف) تصویر THSP حاصل از طول موج ۶۸۰ نانومتر، ب) تصویر THSP حاصل از طول موج ۷۸۰ نانومتر

شکل ۳- آزمون مخرب فشار مقید

۴- نتایج و بحث

۴-۱- شناسایی سیب‌های آردی و غیر آردی از طریق مقادیر T_1 و T_2

به منظور یافتن مقادیر آستانه‌ای T_1 و T_2، روش دسته‌بندی Self organizing maps (SOM) مبتنی بر شبکه‌های عصب مصنوعی بدون ناظر مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های نگهداری شده تحت شرایط دمایی ۲۰ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به عنوان ورودی SOM مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر آستانه‌ای T_1=۲۰ و T_2=۵ بدست آمد. قبلاً مقادیر T_1=۴۰ و T_2=۵ (Huang and Lu, 2010) و T_1=۲۰ و T_2=۴ (Valero et al., 2005) توسط محققان گزارش شده بود. دسته‌بندی سیب‌های نگهداری شده تحت شرایط دمایی ۲۰ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد با استفاده از مقادیر آستانه‌ای T_1=۲۰ و T_2=۵ نشان داد که بیشتر از ۴۵ درصد سیب‌ها، آردی، ۳۷ درصد نیمه‌آردی و تنها کمتر از ۱۸ درصد تازه باقی مانده بودند. مقادیر آماری مربوط به شاخص سختی و میزان رطوبت آزاد شده برای سیب‌های تازه، آردی و نیمه آردی در جدول ۱ آورده شده است. نتایج بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار شاخص سختی و میزان رطوبت آزاد شده بین گروه‌های مختلف بود.

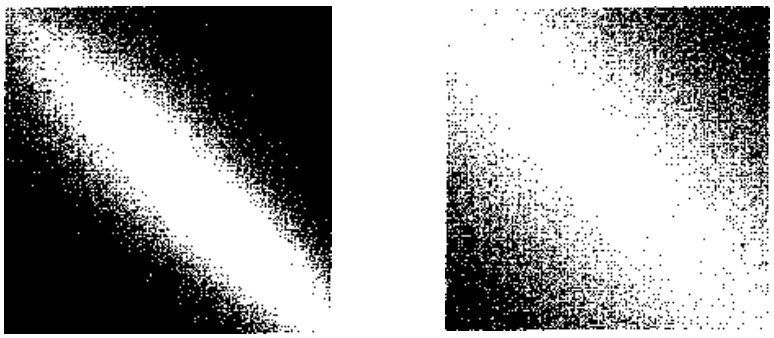
جدول ۱- مقادیر آماری پارامترهای مخرب سختی و رطوبت آزاد شده اندازه‌گیری شده برای سیب‌های تازه، نیمه‌آردی، و آردی.

کلاس	سختی (N/mm)	رطوبت آزاد شده (cm^2)
سیب تازه	۳۲/۹^{a}	۸/۶^{a}
سیب نیمه‌آردی	۲۴/۳^{b}	۴/۵^{b}
سیب آردی	۱۱/۷^{c}	۳/۴^{c}

حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بین مقادیر میانگین است.

۴-۲- بررسی فعالیت بایواسپکل

اندازه‌گیری کمی میزان پراکندگی پیکسل‌های غیر صفر در اطراف قطر اصلی ماتریس هم‌وقوعی از طریق ویژگی مومنت سکون انجام می‌شود. با افزایش فعالیت بایواسپکل، مقدار مومنت سکون افزایش پیدا کرده و کاهش این ویژگی بیان‌گر کاهش فعالیت بایواسپکل است. نتایج نشان داد که تعداد پیکسل‌های غیر صفر پراکنده شده در اطراف قطر اصلی ماتریس هم‌وقوعی برای طول موج ۶۸۰ نانومتر بیشتر از طول موج ۷۸۰ نانومتر بود (شکل ۴). این بدان معنی است که در طول موج ۶۸۰ نانومتر، پدیده بایواسپکل از فعالیت بیشتری برخوردار بوده است.تغییرات فعالیت بایواسپکل مربوط به سیب‌های تازه، نیمه آردی، و آردی در جدول ۲ آورده شده است. بیشترین فعالیت بایواسپکل برای سیب‌های تازه بدست آمد، زیرا سیب‌های تازه حاوی مقدار زیادی نشاسته هستند. فعالیت بایواسپکل برای سیب‌های نیمه آردی و آردی کاهش پیدا کرد. علت اصلی کاهش فعالیت بایواسپکل به تغییرات فیزیولوژیکی بر می‌گردد که در میوه سیب اتفاق می‌افتد. در طول فرایند رسیدگی، نشاسته هیدرولیز شده و تبدیل به کربوهیدرات‌های ساده‌تری همچون گلوکز می‌شود (Szymanska-Chargot et al., 2012). بنابراین کاهش فعالیت بایواسپکل می‌تواند ریشه در این تغییرات داشته باشد.



ب الف

شکل ۴- الف) ماتریس هم‌وقوعی حاصل از طول موج ۶۸۰ نانومتر، ب) ماتریس هم‌وقوعی حاصل از طول موج ۷۸۰ نانومتر

جدول ۲- مقادیر آماری پارامترغیرمخرب مومنت سکون اندازه‌گیری شده برای سیب‌های تازه، نیمه‌آردی، و آردی.

کلاس	طول موج ۶۸۰ نانومتر ($\times ۱۰^{۴}$)	طول موج ۷۸۰ نانومتر ($\times ۱۰^{۴}$)
سیب تازه	۴۱^{a}	۷/۸^{a}
سیب نیمه‌آردی	۳۳^{b}	۶/۵^{b}
سیب آردی	۳۲/۴^{b}	۶/۹^{b}

حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بین مقادیر میانگین است.

۵- نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، حاکی از ارتباط قابل قبول بین ویژگی آردی‌شدن و فعالیت بایواسپکل بود. نتایج این تحقیق می‌تواند نوید دهنده قابل اعتماد بودن تکنیک بایواسپکل و بکارگیری آن در کنار سایر روش-های غیرمخرب نوری در آینده نزدیک باشد.

منابع

Barreiro, P., Ortiz, C., Ruiz-Altisent, M., De Smedt, V., Schotte, S., Andani, Z., Wakeling, I. and Beyts, P.K. 1998. Comparison between sensory and instrumental measurements for mealiness assessment in apples: a collaborative experiment. Journal of Texture Study, 29: 509–525.

Barreiro, P., Ruiz-Cabello, J., Fernández-Valle, M.E., Ortiz, C. and Ruiz-Altisent, M. 1999.Mealiness assessment in apples using MRI techniques. Magnetic Resonance Imaging, 17:275–281.

Barreiro, P., Ortiz, C., Ruiz-Altisent, M., Ruiz-Cabello, J., Fernández-Valle, M.E., Recasens, I. and Asensio, M. 2000. Mealiness assessment in apples and peaches using MRI techniques. Magnetic Resonance Imaging, 18: 1175–1181.

FAIR, 1998. Mealiness in fruits. Consumer perception and means for detection. Contract No. FAIR-CT95-0302, 4th Framework Program, European Commission, Directorate-General XII. B-1049 Brussels.

Huang, M. and Lu, R. 2010. Apple mealiness detection using hyperspectral scattering technique. Postharvest Biology and Technology, 58: 168–175.

Szymanska-Chargot, M., Adamiak, A. and Zdunek, A. 2012. Pre-harvest monitoring of apple fruits development with the use of biospeckle method. ScientiaHorticulturae, 145: 23–28.

Valero, C., Barreiro, P., Ruiz-Altisent, M., Cubeddu, R., Pifferi, A., Taroni, P., Torricelli, A., Valentini, G., Johnson, D. and Dover, C. 2005. Mealiness detection in apples using time resolved reflectance spectroscopy. Journal of Texture Study, 36: 439–458.

Zdunek, A., Muravsky, L., Frankevych, L. and Konstankiewicz, K. 2007. New nondestructive method based on spatial-temporal speckle correlation technique for evaluation of apples quality during shelf-life. International Agrophysics, 21: 305–310.

Study of mealiness phenomenon in Red delicious apple using biospeckle technique

Abstract

Mealiness is an undesirable quality attribute occurred in some fruits such as apple. Since it is not possible to detect mealy apples by external features, optical tests have been of significant interest. In present study, biospeckle technique was used to identify mealy apples cultivar of 'Red delicious'. To induce mealiness, apples were stored under conditions of Temp. 20 ºC and R.H. 95%. Biospeckle images were acquired at 680 nm and 780 nm, and Inertia moment was computed as biospeckle activity. Results showed that the highest biospeckle activities were observed for fresh, semi-mealy and mealy apples, respectively.

Keywords: Non-destructive evaluation, Texture, Inertia moment, Postharvest.