یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بررسی اثر پدیده آردی شدن بر خواص مکانیکی میوه سیب

هادی شریفی[۱]، وحید رستم پور[۲]، اسعد مدرس مطلق[۳]

[۱]دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ h.sharifi@urmia.ac.ir
[۲]استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ v.rostampour@urmia.ac.ir
[۳]دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ a.modarres@urmia.ac.ir

چکیده

آردی شدن سیب یک پدیده کیفی نامطلوب است که در برخی میوه‌ها رخ می‌دهد و شناسایی آن از ظاهر میوه امری غیر ممکن است. پدیده آردی شدن باعث تغییر خواص مکانیکی بافت میوه سیب می‌گردد و شناسایی این تغییرات می تواند در انتخاب و توسعه تکنیک های مناسب مخرب و غیر مخرب سورتینگ موثر واقع گردد. بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر پدیده آردی شدن بر تغییرات خواص مکانیکی میوه سیب پرداخته شد. نمونه‌های نیمه آردی و آردی کامل مطابق استاندارد FAIR تهیه شدند. نتایج نشان داد که مقادیر هر پنج شاخص مکانیکی بررسی شده در سطح احتمال ۵٪، برای سیب های تازه بیشتر از سیب های نیمه آردی و آردی کامل بود. ولی فقط مقادیر سه شاخص آب آزاد شده، سفتی و مساحت زیر نمودار بارگذاری دارای اختلاف معنی-دار آماری در سطح احتمال ۵٪، بین نمونه های نیمه آردی و آردی کامل بودند. بنابراین این سه شاخص می‌توانند در توسعه تکنیک های تشخیص و سورتیگ مخرب و غیر مخرب مورد توجه قرار بگیرند.

کلمات کلیدی: سیب، پدیده آردی، خواص مکانیکی

Investigation the effect of mealiness phenomenon on mechanical properties of apple fruit

Hadi sharifi[1], vahid.rostampour[2], Asad Modarres Motlagh[3]

[1]PhD student of Mechanical Biosystem Engineering, Urmia University, h.sharifi@urmia.ac.ir
[2]Assistant Professor, Department of Mechanical Biosystem Engineering, Urmia University, v.rostampour@urmia.ac.ir
[3]Associate Professor, Department of Mechanical Biosystem Engineering, Urmia university, a.modarres@urmia.ac.ir

ABSTRACT

Apple mealiness is an undesirable qualitative phenomenon that occurs in some fruits and it is impossible to identify from the appearance of fruit. The mealiness phenomenon changes the mechanical properties of apple fruit tissue, and identification of these changes can be effective in the selection and development of appropriate destructive and nondestructive sorting techniques. Therefore, in this research, the effect of mealiness phenomena on mechanical properties of apple fruit has been investigated. Semi- mealy and mealy samples were prepared according to the FAIR standard. The results showed that the values of all five investigated mechanical properties at the probability level of 5% were higher for fresh apples than semi-mealy and mealy apples. But, only the values of the three released water indexes, stiffness and area under the loading chart were statistically significant at the 5% probability level, between the semi-mealy and mealy samples. Therefore, these three indicators can be considered in the development of destructive and nondestructive detection and sorting techniques.

Keywords: Apple, Mealiness phenomenas, Mechanical Properties

۱- وحید رستم پور – ارومیه- دانشگاه ارومیه – گروه مکانیک بیوسیستم – ۰۹۱۴۱۸۵۸۱۲۸ v.rostampour@urmia.ac.ir

۱- مقدمه

سیب جز میوه‌های دانه‌دار، متعلق به خانواده گل‌سرخیان، زیر خانواده سیبی‌ها و از جنس مالوس با نام علمی مالوس دمستیکی براخ است . به دلیل تنوع مصرف و کیفیت غذایی بالا، میوه سیب ارزش و محبوبیت خاصی در بین مردم دارد. کیفیت سیب شامل فاکتورهای مختلفی هم چون ویژگی ظاهری، بافت، اسیدیته و محتوای مواد جامد محلول است. در میان این شاخص‌ها بافت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیقات نشان داده است که سیب‌های ترد دارای محبوبیت بیشتری نسبت به سیب‌های با بافت نرم هستند (Watkins et al., 200). بنابراین ضرورت ایجاد سیستم های پایش (مانیتورینگ) و کنترل کیفیت میوه در هنگام برداشت، انبارداری و توزیع محسوس است. سفتی، یک مشخصه بافتی است و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی محسوب می‌شود و جزوء خواص مکانیکی میوه محسوب می گردد. مشخص شدن تغییرات اتفاق افتاده در خواص مکانیکی میوه در اثر پدیده هایی مانند آردی شدن می تواند به انتخاب و توسعه روش های دقیق و صحیح کنترل کیفیت غیر مخرب میوه ها کمک کند. برای مشخص کردن دقیق تغییرات اتفاق افتاده در بافت میوه می توان از روش های مخرب استفاده نمود. اندازه‌گیری تنها یک شاخص و با دقت نسبتاً بالا از مزایای روش‌های مخرب است که موجب کاهش تأثیر پارامترهای دیگر بر پارامتر اندازه‌گیری شده می‌شود. همچنین روش‌های مخرب استاندارد بوده و به‌عنوان مرجع برای روش‌های غیر مخرب استفاده می‌شوند. زمان‌بر بودن، هزینه‌بر بودن و آسیب رساندن به محصول، ازجمله معایب روش‌های مخرب بوده که استفاده از آنها را محدود به کارهای آزمایشگاهی کرده است. در این نوع آزمون، آزمایش‌های مختلف بر روی نمونه‌های استاندارد تهیه شده مورد آزمایش انجام می‌شود و پس ازآنجام آزمون نمونه از بین می‌رود. از انواع آزمون‌های مخرب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: ۱- آزمون کشش ۲- آزمون سختی۳- آزمون ضربه ۴- آزمون سلامت ۵- آزمون خستگی۶- آزمایش‌های مخرب جهت تعیین خواص شیمیایی و غیره. هارکر و هالت برای اندازه‌گیری نیروی بین سلولی میوه سیب در طول دوره انبارداری آزمون کشش را به‌کار بردند. نمونه‌های سیب با سطح مقطع Hشکل تهیه کردند و با سرعت ۲ mm/min تا نقطه گسیختگی تحت کشش قرار دادند. نتایج کاهش حداکثر نیروی کششی بین سلولی در طول دوره انبار داری را نشان داد (Harker & Hallett, 1992). همچنین در سال ۱۹۹۶ تو و بریدمیکر با استفاده از نتایجی که در تحقیق فوق به‌دست آمده بود، در تحقیقی نشان دادند که میزان کمترین کشش بین سلولی که از طریق آزمون کشش به‌دست آمده بود به سیب‌های آردی تعلق گرفت (Tu & De Baerdemaeker et al., 1996). محققین از آزمون‌های مختلف نفوذ، کشش، پیچش، برش و صدای جویدن، برای شناسایی خصوصیات مختلف بافت سیب استفاده کردن و بالاترین ضریب همبستگی را به ترتیب ما بین آزمون نفوذ و ویژگی‌های سفتی، تردی، کرانچی بودن، میزان آب آزاد شده اولیه و سهولت خرد شدن بافت به دست آوردند (Harker et al., 2002). نتایج این تحقیق نشان داد زمانی که سفتی سیب پس از حد معینی روند نزولی به‌خود می‌گیرد، احتمال حالت آردی شدن رو به افزایش می گذارد. با توجه به این نتایج که از آزمون حسی مستخرج کرده‌اند، مقدار حد برای تشخیص سیب‌های آردی را۵۰ نیوتن گزارش کردند (Harker et al., 2002). در تحقیقی به منظور ارزیابی شاخص‌های بافت سیب اندازه‌گیری شده از طریق آزمون حسی، از آزمون فشار مقید استفاده شد. نمونه-های استوانه با قطر و ارتفاع ۱۷ میلیتر از سیب استخراج و در داخل سوراخ یک دیسک فلزی محصور شدند. نمونه‌ها توسط یک پروب با قطری معادل۱۵/۳ میلیتر و تحت سرعت ۲ mm/min به اندازه ۲ میلیتر فشرده شدند. همزمان با آزمون فشار، به منظور جمع‌آوری آب آزاد شده در زیر نمونه‌ها یک کاغذ فیلتر قرار گرفت. پارامترهای مختلفی از نمودار نیرو- جابه‌جایی به‌دست‌آمده از آزمون فشار مستخرج شد. نتایج نشان داد که ماکزیمم نیرو، سفتی، انرژی جذب شده در عملیات بارگذاری (مساحت زیر منحنی نیرو-جابه‌جایی در عملیات بارگذاری،) انرژی پسماند (مساحت زیر منحنی نیرو-جابه‌جایی در عملیات باربرداری) و میزان آب آزادشده، همبستگی بالای ۰/۸ با آزمون‌های حسی ایجاد مینمایند (Barreiro et al.,1998).

در این تحقیق بررسی دقیق و جامعی بر روی تغییرات ایجاد شده در خواص مکانیکی بافت سیب نیمه آردی و آردی کامل در مقایسه با سیب های تازه انجام شد. نتایج این تحقیق می تواند به انتخاب تکنیک های غیر مخرب مناسب ارزیابی پدیده آردی بافت سیب کمک نماید.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق به دلیل اینکه سیب رقم ردلیشس دارای سطح زیر کشت بیشتری در ایران و جهان است و همچنین این نوع سیب نسبت به سایر ارقام در معرض آردی شدن بیشتری قرار دارد، از سیب رقم رد دلیشس استفاده شد. شناخته شده‌ترین استاندارد جهت ایجاد سیب‌های آردی، استاندارد FAIR است (FAIR, 1998). بر طبق این استاندارد سیب‌های آردی و نیمه آردی به شرح زیر ایجاد شدند:

برای ایجاد سیب‌های نیمه آردی نمونه ها به مدت ۱۶روز تحت شرایط دمایی۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد قرار گرفتند و سپس به محیطی با شرایط دمایی بالا (۲۰ درجه سلسیوس) و رطوبت نسبی ۹۵ درصد منتقل شده و به مدت ۱۰ روز نگهداری شدند. برای ایجاد سیب-های آردی کامل، نمونه‌ها تحت شرایط رطوبتی و دمایی بالا (۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد) به مدت ۲۶ روز نگهداری شدند.

پژوهشگاه مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

ازآنجایی‌که آزمون فشار مقید به عنوان بهترین روش مخرب در تشخیص پوکی سیب معرفی شده است، از این آزمون استفاده شد. با استفاده از یک نمونه بردار با قطر داخلی ۱۷ میلیتر یک نمونه استوانه‌ای از سیب خارج شد و سپس در دیسکی با سوراخی به قطر و ارتفاع یکسان ۱۷ میلیتر قرار گرفت. پروب مورد استفاده از جنس استیل با قطر ۱۵/۳ میلیمتر انتخاب شد که در هنگام نفوذ با دیواره‌ئ سوراخ دیسک تماس نداشته باشد. قبل از شروع عملیات بارگذاری زیر دیسک یک کاغذ فیلتر قرار گرفت تا مقدار آب آزاد شده در هنگام بارگذاری از نمونه استوانه به دست آید. عملیات بارگذاری و باربرداری نمونه ها با سرعت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و جابجایی ۲ میلیمتر صورت گرفت. (Barreiro et al,.1998; Huang and lu, 2001) مقادیر نیرو با دقت ۰/۱ گرم نیرو، جابجایی با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر و زمان با دقت ۰/۰۰۱ ثانیه ثبت گردید (شکل ۱). پس از اتمام کار، نمودار نیرو-جابجایی مربوطه در کامپیوتر ذخیره شد و پارامترهای مکانیکی مختلفی به شرح ذیل استخراج شد (Barreiro et al., 199):

الف) سفتی: از شیب منحنی نیرو-جابه‌جایی در فاصله نیروی ۳/۱ تا ۳/۲ ماکزیمم نیرو محاسبه شد.

ب) آب آزادشده: برای محاسبه این شاخص ناحیه خیس شده در کاغذ فیلتر با خودکار مشخص شد و سپس با نرم افزار متلب تفکیک شد و مساحت برحسب سانتیمتر مربع محاسبه شد.

پ) ماکزیمم نیرو: حداکثر نیرو که در طی فشردن نمونه ایجاد می‌شود به‌عنوان ماکزیمم نیرو در نظر گرفته شد.

ت) مساحت زیر نمودار بارگذاری (Areal 1): مساحت زیر نمودار بارگذاری به‌عنوان میزان انرژی لازم برای فشردن نمونه است.

ث) مساحت زیر نمودار باربرداری(Areal 2): این پارامتر بیانگر میزان انرژی باز پس داده شده در طی عملیات باربرداری است.

Figure 1 - Mechanical testing machine

شکل ۱- دستگاه آزمون‌های مکانیکی

برای هر تیمار ۳۰ نمونه در نظر گرفته شده بود و داده‌های بدست آمده از نمونه‌ها با نرم‌افزار SAS مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر شاخص های مختلف را برای سه تیمار سیب‌های تازه، نیمه آردی و آردی کامل نشان می دهد.

جدول ۱- مقادیر آماری شاخص‌های مکانیکی سیب رقم ردلیشس اندازه‌گیری شده در سه سطح تازه، نیمه‌آردی و آردی

Table 1. Statistical values of the mechanical indices of apple cultivars of Red Delicious cultivars measured in three levels of fresh, semi- mealy and mealy

شاخص کیفی	سطح میوه	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار
آب آزاد شده (cm^2)	تازه	۱۴/۱۸	۱۹/۷۳	۱۷/۳۹[a]	۲۱/۰۳
	نیمه‌آردی	۸/۲۱	۱۱/۱۶	۱۰/۰۴[b]	۱/۷۰
	آردی	۱/۱۴	۸/۰۸	۴/۰۹[c]	۱/۵۵
سفتی(N/mm)	تازه	۲۰	۴۸/۳۱	۳۲/۸۲[a]	۱۱/۱۵
	نیمه‌آردی	۱/۶۵	۱۷/۱۱	۱۴/۲۸[b]	۱۲/۹۱
	آردی	۱/۲۵	۱۶/۲۲	۸/۱۴[c]	۱۰/۵۷
ماکزیمم نیرو (N)	تازه	۳۲/۹۶	۵۵/۷۲	۳۸/۲۱[a]	۱۱/۴۵
	نیمه‌آردی	۱۰/۱۲	۱۹/۴۶	۱۰/۶۸[b]	۱۳/۱۴
	آردی	۲/۱۰	۱۷/۱۱	۱۰/۰۴[b]	۱۵/۵۷
مساحت زیر نمودار بارگذاری (mj)	تازه	۱۷/۲۶	۳۲/۶۹	۲۴/۷۳[a]	۱۲/۶۰
	نیمه‌آردی	۶/۴۷	۱۹/۴۷	۱۴/۱۹[b]	۱۳/۱۱
	آردی	۱/۷۷	۱۰/۹۵	۶/۵۴[c]	۸/۰۴
مساحت زیر نمودار باربرداری (mj)	تازه	۸/۰۲	۲۰/۱۳	۱۱/۹۸[a]	۱۰/۸۹
	نیمه‌آردی	۱/۹۵	۳/۲۴	۲/۷۲[b]	۱۲/۴۸
	آردی	۰/۶۶	۵/۹۳	۲/۱۲[b]	۶/۷۷

حروف غیر مشابه به مفهوم اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۵٪ می باشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

۳-۱- شاخص آب آزاد شده

میزان آب آزاد شده از سیب‌های تازه، نیمه آردی و آردی در جدول ۱ نشان داده شده است . چنانکه مشاهده می گردد سیب های تازه دارای بیشترین آب آزادشده (۱۷/۳۹ cm^2)، سیب های آردی دارای کمترین آب آزاد شده (۴/۰۹ cm^2)، و سیب های نیمه آردی بین سطح تازه و آردی قرار گرفتند و مقدار آب آزاد شده این سه تیمار در سطح احتمال ۰/۰۱ دارای اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشد. این اختلاف معنی دار مشاهده شده به این دلیل است که سیب‌های تازه دارای بافتی سفت با سلول‌های شکننده بوده و اعمال نیرو موجب پاره شدن دیواره سلولی و رها شدن محتویات داخل سلول شده است. ولی در نمونه های آردی و نیمه آردی، نیروی بین سلولی کاهش پیدا کرده و همچنین سلول‌ها تردی و شکنندگی خود را از دست داده‌اند. در این حالت اعمال نیرو موجب جدایش سلولی بجای پاره شدن دیواره سلولی شده و در نتیجه آن، محتویات داخل سلول حفظ شده است.

۳-۲- شاخص سفتی

سفتی شاخص کیفی مهمی به شمار می‌آید که توسط بسیاری از محققان برای تشخیص سیب‌های آردی پیشنهاد شده و مورد استفاده قرارگرفته است. همانطور که در جدول۱ قابل ملاحظه است، بیشترین مقدار میانگین شاخص سفتی مربوط به سیب‌های تازه بود که مقدار آن ۳۲/۸۲ نیوتن بر میلی‌متر است. کاهش معنی‌دار شاخص سفتی در سطح احتمال ۰/۵ برای سیب‌های نیمه آردی و آردی نیز به ترتیب برابر با ۱۴/۲۸ و ۸/۱۴ نیوتن بر میلی‌متر بوده است و بین هر سه سطح تازه، نیمه آردی و آردی کامل با یکدیگر معنی دار است.

۳-۳- شاخص ماکزیمم نیرو

نتایج نشان داده شده در جدول ۱ بیانگر این است که مقدار میانگین شاخص ماکزیمم نیرو، برای سیب‌های تازه دارای بیشترین مقدار و برابر با ۳۸/۲۱ نیوتن است. این شاخص برای سیب‌های نیمه آردی ۱۰/۶۸ نیوتن و برای سیب‌های آردی ۱۰/۰۴ نیوتن به دست آمد. چنانکه مشاهده می گردد مقدار این شاخص برای سیب‌های تازه اختلاف معنی‌داری با سیب‌های آردی و نیمه آردی دارد، ولی در بین سیبهای آردی و نیمه آردی این شاخص اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. آردی تر شدن سیب ها و کاهش این شاخص، میتواند به دلیل افزایش میزان تنفس و فعالیت فیزیولوژیکی بالا در میوه سیب باشد.

۳-۴- شاخص مساحت زیر نمودار بارگذاری(Area 1)

چنانکه در جدول ۱ مشاهده می گردد با آرد تر شدن میوه ها و کاهش میزان سفتی بافت میوه میزان انرژی لازم برای فشردن نمونه‌ها (مساحت زیر نمودار بارگذاری) کاهش پیدا می‌کند و این کاهش بین هر سه تیمار میوه های تازه، نیمه آردی و آردی کامل از نظر آماری معنی‌دار می باشد. این کاهش به دلیل کاهش نیروی بین سلولی و مقاومت در برابر تغییر شکل و در نتیجه کاهش انرژی لازم برای فشار مورد نظر بر نمونه ها می باشد.

۳-۵- شاخص مساحت زیر نمودار باربرداری (Area 2)

با آرد تر شدن میوه ها و کاهش میزان سفتی بافت میوه سیب شاخص مساحت زیر نمودار باربرداری نیز مشابه شاخص مساحت زیر نمودار بارگذاری کاهش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۱). ولی میانگین این شاخص فقط در سیب‌های تازه (۱۱/۹۸ میلی ژول) با سیب‌های نیمه آردی و آردی (به ترتیب ۲/۷۲ و ۲/۱۲ میلی ژول) اختلاف معنی دار آماری داشت و بین مقادیر میانگین سیب های نیمه آردی و آردی کامل اختلاف معنی دار آماری مشاهده نشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

۴- نتیجه‌گیری

شاخص‌های مکانیکی آب آزاد شده، سفتی، ماکزیمم نیرو، مساحت زیر نمودار بارگذاری و مساحت زیر نمودار بار برداری در سه وضعیت سیب های تازه، نیمه آردی و آردی کامل با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. از بین این شاخص ها مقادیر شاخص های آب آزاد شده، سفتی و مساحت زیر نمودار بارگذاری برای هر سه تیمار مورد اشاره دارای اختلاف معنی دار آماری بود و می توانند در توسعه تکنیک های تشخیص و سورتیگ مخرب و غیر مخرب مورد توجه قرار بگیرند.

مراجع

Barreiro, P., Ortiz, C., Schotte, S., Andani, Z., Wakeling, I., & Beyt, P. (1998). Comparison between sensory and instrumental measurements for mealiness assessment in apples. A collaborative test. *Journal of Texture Studies*, 29(5), 509-525

Harker, F., & Hallett, I. (1992). Physiological changes associated with development of mealiness of apple fruit during cool storage. *Hort Science*, 27(12), 1291-1294 .

Harker, F., Maindonald, J., Murray, S., Gunson, F., Hallett, I., & Walker, S. (2002). Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. *Postharvest biology and technology*, 24(3), 225-239

Tu, K., & De Baerdemaeker, J. (1996). Instrumental measurements to investigate apple mealy texture. *International agrophysics* .

Huang, M., & Lu, R. (2010). Apple mealiness detection using hyperspectral scattering technique. *Postharvest biology and technology*, 58(3), 168-175

Arefi, A., Moghaddam, P. A., Mollazade, K., Hassanpour, A., Valero, C., & Gowen, A. (2015). Mealiness Detection in Agricultural Crops: Destructive and Nondestructive Tests: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 657-680 .

Watkins, C. B., Kupfennan, E., Rosenberger, D.A. (2004). Apple, In: Gross, K.C., Wang, C.Y., Saltveit ,M.A. (Eds.) *The commercial storage of fruits, vegetables and Florist and Nursery crops*. Department of Agriculture, Agricultural research service, Beltsville, MD, U.S . .

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران