

اثر اندازه محصول بر ویژگی های مکانیکی و بافت داخلی کدو

آرش حاجی صادقیان^{۱*}، عباس همت^۲، مسیح نصری^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،
a.hajisadeghian@ag.iut.ac.ir

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده:

مطالعه‌ی خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی جهت بهینه سازی فرایند برداشت و نگهداری ضروری می‌باشد. به منظور استخراج خواص مکانیکی کدو شامل تنش های بیشینه، کرنش شکست، انرژی کرنش بیشینه یا چقرمگی و مدول الاستیسیته ظاهری در سه سایز و سه موقعیت نمونه گیری و ارتباط نتایج با لایه های بافتی درونی، آزمایش های فشار و برش توسط دستگاه جامع کشش فشار انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش سایز، تنش بیشینه در برش و فشار جهت ایجاد گسیختگی افزایش می یابد. همچنین افزایش سایز، با کاهش در چقرمگی همراه است. به علاوه، در هر سایز با حرکت از ته به سر، تنش گسیختگی کاهش می یابد که تغییرات طولی بافت را نشان می دهد. بررسی مدل هنری برای نتایج آزمون فشار نشان داد ضریب جمله خطی (الاستیک) مدل با افزایش سایز کاهش می یابد. استخراج مدول الاستیسیته مماسی و سکانتی بیشینه به کمک برآزش مدل هنری در نرم افزار متلب، کاهش هر دو مدول الاستیسته را با افزایش در سایز محصول به دست می دهد که نشان دهنده کاهش سفتی محصولات با سایز بزرگ می باشد. نقطه گسیختگی نظری به کمک ضرایب هنری جهت مقایسه با کرنش شکست استخراج شد. رابطه ی استخراج شده بین مدول الاستیسیته و ضریب جمله خطی در مدل هنری، یک رابطه خطی با دقت بالا ($R^2=0.78, 0.88$) می باشد. رابطه بین مدول الاستیسته سکانتی و مماسی تقریباً خطی ($R^2=0.98$) است. مقادیر تنش برشی

محاسبه شده با آزمایش فشاری و آزمایش برش مستقیم در سطح ۱٪ معنی دار نبود که موید دقت آزمایشات بود.

واژه های کلیدی: آزمون برش، بافت کدو، دایره موهر، مدل هنری، مدول الاستیسیته



مقدمه:

جهت تعیین کیفیت محصولات کشاورزی، تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی را همواره مورد توجه کارشناسان کشاورزی و صنایع غذایی قرار داده است. این موضوع به ویژه از نظر تاثیر ماشین‌های کشاورزی بر محصول در مراحل مختلف شامل برداشت، حمل و نقل، ذخیره سازی و فرآوری و به منظور کاهش ضایعات و افزایش کیفیت نهایی محصول از اهمیت بالایی برخوردار است [Pitt and Chen, 1983]. شناخت ساختمان ماده مقدمه ای بر تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ماده می باشد [Lewis and Ellis, 1989]. تا کنون روش‌های مختلفی برای شناسایی خواص بافت مواد بیولوژیک مورد استفاده قرار گرفته است از جمله: روش مکانیکی، صوتی و الکترومغناطیسی.

روش‌های مکانیکی به دلیل سادگی و شباهتی که به مراحل مختلف از برداشت تا فرآوری دارند عمومیت یافته اند. توجه به این نکته ضروری است که بسته به شرایط بارگذاری، ماهیت ماده و فرضیات تحقیق با گستره وسیعی از پارامترها روبه رو هستیم که جهت کاربرد مفید در محاسبات مهندسی و بهینه سازی ماشین‌آلات و مراحل مختلف توزیع محصول باید شرایط آزمایش مکانیکی به دقت تعریف شود (توکلی هسجین، ۱۳۸۲). همچنین به علت ماهیت ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی و وابستگی به نرخ بارگذاری شرایط آزمایشات باید در شرایط کنترل شده انجام شود. رسیدگی میوه‌ها و سبزیجات آنها که در برخی محصولات مانند کدو که با اندازه محصول رابطه دارد، بر روی خواص مکانیکی ماده اثر گذار است. آسیب مکانیکی در انواع میوه و سبزی پدیده ای است ناخواسته که افزایش میزان فساد و کاهش کیفیت محصول را به همراه دارد [افکاری سیاح و همکاران، ۱۳۸۷]. شاخص سفتی و مقاومت بافت محصولات کشاورزی در مقابل اعمال فشار از خصوصیات مکانیکی محصول محسوب شده و امروزه شاخص سفتی به عنوان یک روش ساده و سریع در تعیین برخی خصوصیات بافت محصول پس از برداشت، نظیر میزان رسیدگی محصول، مورد استفاده قرار می گیرد. آبوت ولو آزمایشاتی را برای تعیین تاثیر جهت و موقعیت نمونه گیری بر روی چهار خاصیت مکانیکی شامل تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری سیب انجام دادند [Abbott and Lu, 1996].



خواص نامتجانس سیب‌ها بیشتر در قسمت‌های میانی آنها دیده شد تا در نقاط پایینی و فوقانی آن‌ها. فریدلت و آدریان برخی از ویژگی‌های مکانیکی هلو، گلابی، زردآلو و سیب را تعیین کردند [Fridlet and Adrian, 1968]. اهداف تحقیق حاضر عبارتند از:

(۱) استخراج و مقایسه خصوصیات مکانیکی کدو در سه سایز مختلف (۲) مدل‌سازی مکانیزم گسیختگی در کدو با مدل هنری (۳) ارتباط نتایج حاصل با تغییرات در بافت داخلی ماده.

مواد و روش:

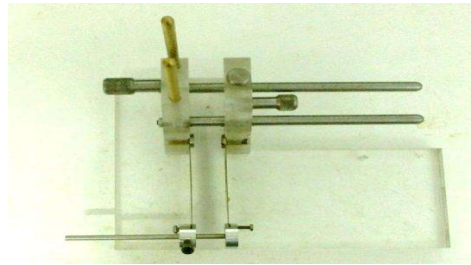
کدوی خورشتی تازه از بازار اصفهان تهیه شد. کدو در سه اندازه مختلف قطری و بدون هیچ‌گونه آسیب و صدمه مکانیکی ظاهری به تهیه شد. قبل از شروع آزمایش، ابعاد قطری هر کدو از سه ناحیه مختلف به منظور محاسبه قطر متوسط با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد.

به منظور بررسی خواص مکانیکی کدو، از دستگاه جامع کشش فشار STM 20 واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. ظرفیت لودسل متصل دستگاه ۵۰ کیلوگرم بود. جهت انجام تست فشاری غیر محصور، نمونه‌های استوانه‌ای از سه ناحیه مختلف هر کدو (سر، وسط و ته) با یک نمونه گیر استیل به قطر خارجی ۱۵.۳۳ میلی‌متر و قطر داخلی ۱۳.۳۳ میلی‌متر تهیه و بین دو فک دستگاه قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱: نمونه‌گیری محصول

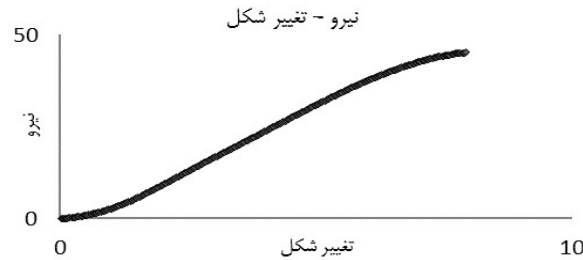
همچنین طول نمونه‌ها به کمک یک دستگاه برش با دو تیغه موازی قابل تنظیم به اندازه یک و نیم برابر قطر استوانه‌ها برای جلوگیری از خمش (کمانش)، اطمینان از مسطح بودن سطوح نمونه‌ها و عدم ایجاد تنش برشی تنظیم شد (شکل ۲). طول هر نمونه ۲۰ میلی‌متر بود.



شکل ۲: دستگاه تنظیم طول نمونه ها

آزمون فشاری در شرایط شبه استاتیکی با سرعت 10 mm/min تا فروپاشی کامل نمونه انجام و نمودار نیرو- تغییر شکل توسط دستگاه رسم شد. به کمک نرم افزار اکسل پارامترهای: تغییر شکل در نقطه گسیختگی، تنش لازم برای گسیختگی، ذرانرژی لازم برای گسیختگی (چقرمگی) و ضریب کشسانی ظاهری بررسی شد.

همچنین، با توجه به معادله هنری برای مواد سلول دار، ضرایب معادله توسط نرم افزار متلب استخراج شد. معادله هنری به صورت $F = cx^3 + bx^2 + ax + a_0$ می باشد که در آن ضریب a_0 به دلیل عدم وجود پیش تنش در جابه جایی صفر، برابر با صفر لحاظ می شود [Henry et al., 2000]. همچنین، جمله cx^3 بیانگر شکست یا گسیختگی در ماده، جمله bx^2 بیانگر رفتار ویسکوز و عبارت ax بیانگر رفتار الاستیک در ماده (جمله خطی معادله) می باشد. ضریب a همواره مثبت بوده زیرا می بایست با ازدیاد در جابه جایی، نیرو افزایش یابد. با توجه به علامت ضرایب b و c در معادله ۴ حالت برای نمودار نیرو- تغییر شکل پدید می آید که متداول ترین نوع نمودار در مواد سلول دار حالت $b > 0$ و $c < 0$ می باشد که در حقیقت ضریب b دیکته کننده شیب ابتدایی نمودار و ضریب c دیکته کننده شیب انتهایی نمودار یا شکست در ماده می باشد (شکل ۳). با توجه به روابط (۱ تا ۵) نقطه عطف نمودار و ضرایب کشسانی مماسی بیشینه و سکانتی بیشینه قابل محاسبه هستند:



شکل ۳: نمودار نیرو-تغییر شکل

$$E_{\text{tangen}} = df/dx = a + 2bx + 3cx^2 \quad (1)$$

$$d^2f/dx^2 = 2b + 6cx = 0 \quad \longrightarrow \quad x = -b/3c \quad (2)$$

با قرار دادن رابطه (۲) در رابطه (۱) مقدار مدول الاستیسیته مماسی بیشینه به دست می آید.

طبق رابطه (۳) با فاکتورگیری رابطه (۴) که نشان دهنده معادله مدول الاستیسیته سکانتی است به دست می آید:

$$F = x(a + bx + cx^2) \quad (3)$$

$$E_{\text{SECANT}} = F/x = a + bx + cx^2 \quad (4)$$

حال با مشتق گیری از رابطه (۴) داریم:

$$x = -b/2c \quad (5)$$

با جایگذاری رابطه (۵) در معادله (۴) مقدار مدول الاستیسیته سکانتی بیشینه به دست می آید.

آزمون برش^۱ به کمک میز برش مخصوص برای اعمال نیروهای برشی و تعیین مقاومت برشی برای محصولات کشاورزی توسط

دستگاه جامع کشش- فشار استفاده می شود. قسمت های مهم این دستگاه در (شکل ۴) نشان داده شده است. به منظور بارگذاری

عمودی روی نمونه چارچوبی آهنی در قسمت بالای نمونه و روی آن قرار میگیرد و در زیر وزنه گذاشته می شود. با توجه به

آزمایشات اولیه تاثیر بار عمودی بر مقاومت برشی به دلیل تراکم پذیری کم نمونه ها (عدم فرو رفتن ذرات نمونه درهم) معنی دار

نبود. در نمودار ترسیم شده توسط دستگاه جامع کشش- فشار، قله ی نمودار (بیشینه نمودار) ماکزیمم نیروی برشی نمونه می باشد

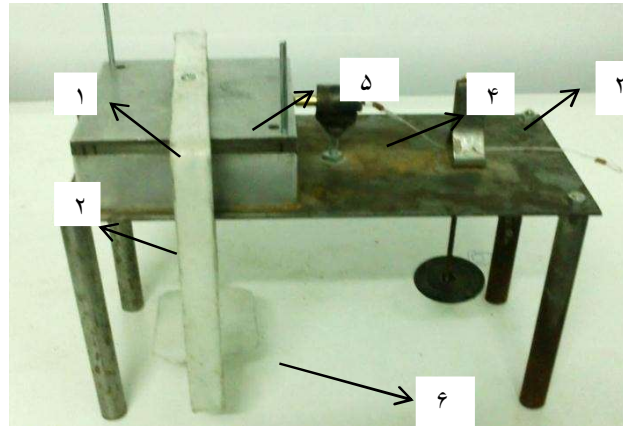
که به دلیل اصطکاک بین دو فک اندکی با واقعیت اختلاف دارد که برای از بین بردن اثر اصطکاک، دستگاه بدون نمونه بارگذاری

و از نیروی بیشینه کم شد. همچنین جابه جایی به دلیل افزایش طول نخ کشنده هنگام بارگذاری اندکی بیشتر می باشد که قابل

¹ Shear test



اغماض است. قرارگیری نمونه های استوانه ای جهت بررسی اثر قطر محصول بر ویژگی های برشی کدو با قرار دادن میز در زیر دستگاه جامع کشش- فشار در ۱۰ تکرار از سه ناحیه مختلف کدو انجام شد. نمودارها تا نقطه گسیختگی نمونه ترسیم و تحلیل شدند.



شکل ۴: قسمت های مختلف میز برش: (۱) فک بالایی (۲) فک پایینی (۳) قرقره (۴) راهنما (۵) محل قرارگیری نمونه (۶) محل قرارگیری وزنه

نتایج و بحث:

قطر متوسط کدو با محاسبه قطر میانگین از سه ناحیه مختلف طبق (جدول ۵) می باشد:

جدول ۵: قطر متوسط کدو

سایز کوچک (میلی متر)	سایز متوسط (میلی متر)	سایز بزرگ (میلی متر)
۳۳/۵۸	۴۵/۱۳	۵۳/۰۸

با تحلیل نقاط ماکزیمم نمودار نیرو- تغییر شکل، مقدار تنش بیشینه، کرنش بیشینه و نقطه گسیختگی نظری استخراج شد (جدول ۶).



جدول ۶: نیروی بیشینه کدو

سایز	تنش بیشینه (کیلو پاسکال)	کرنش بیشینه	کرنش گسیختگی نظری
سایز کوچک	۲۶۷/۳۹	۰/۳۴	۰/۲۳
سایز متوسط	۱۵۶/۴	۰/۳۵	۰/۳۷
سایز بزرگ	۱۳۵/۱۱	۰/۳۷	۰/۳۰۷

با افزایش قطر متوسط محصول، تنش بیشینه کاهش یافته زیرا از سفتی بافت و تراکم آن کاسته می‌شود. بنابراین در شرایط انبارداری یا حمل و نقل حساسیت کدوهای با سایز بزرگ به مراتب بیشتر از سایز های کوچک می‌باشد. با توجه به عکس های گرفته شده از لحظه شکست در سایزهای مختلف، می‌توان گفت سایز کوچک رفتاری شبیه مواد ترد^۲ دارد زیرا شکست در زاویه ۴۵ درجه رخ می‌داد اما سایز متوسط و بزرگ رفتاری شبیه مواد نرم^۳ نشان داد و نمونه در حین بازگذاری حالت بشکه ای پیدا می‌کرد و شکست در زاویه مشخصی نبود بلکه حالت وارفتگی یا فروپاشی تدریجی داشت (شکل ۷).



شکل ۷: گسیختگی ترد (سمت راست)، گسیختگی فشاری (سمت چپ)

همچنین با افزایش سایز، شکست در کرنش بیشتری رخ می‌دهد که به افزایش حالت الاستیک و انعطاف پذیری بیشتر سایزهای بزرگ مربوط می‌شود. نقطه گسیختگی نظری در ماده نقطه ای است که ماده از درون دچار گسیختگی و پارگی سلولی می‌شود در حالی که این گسیختگی بروزی ناچیز در بیرون ماده دارد. این نقطه ($b/2$) در کرنشی کمتر از کرنش بیشینه رخ می‌دهد که برای

² Brittle

³ ductile



سایز کوچک ۳۲/۳۵٪، برای سایز متوسط ۲۲/۸۵٪ و برای سایز بزرگ ۱۷/۰۲٪ کمتر از نقطه گسیختگی نهایی می‌باشد. بنابراین،

مقدار تنش و کرنش بحرانی برای انجام هرگونه محاسبات، باید قبل از این دو مقدار در نظر گرفته شود.

با محاسبه سطح زیر نمودار تا نقطه گسیختگی (ماکزیم نمودار) توسط نرم افزار متلب، چگرمگی یا انرژی کرنش تا نقطه شکست

محاسبه شد (جدول ۸).

جدول ۸: انرژی کرنش

سایز کوچک (ژول)	سایز متوسط (ژول)	سایز بزرگ (ژول)
۷۸۷/۲۸	۴۱۰/۲۲	۳۵۹/۶

مقدار انرژی لازم جهت گسیختگی با افزایش سایز کاهش می‌یابد.

از جمله شاخص‌های فیزیکی در تعیین بلوغ یا رسیدگی محصولات باغبانی اندازه و شکل می‌باشد. اندازه محصول در تعیین بلوغ میوه‌ها گاهی بی‌ارزش است اما در سبزی‌هایی مثل کدو که در ابتدای دوره تکامل برداشت می‌شوند، مهم است. بزرگی بیش از اندازه استاندارد، نشانه رسیدگی بیش از حد و کوچکی نشانه نابالغ بودن سبزی‌ها است. بنابراین، تغییرات بافت، به خصوص در کدو رابطه‌ی عمیقی با اندازه محصول دارد.

با بررسی تغییرات بافت هر سایز از قسمت بالا یعنی سر محصول به ته (قسمت متصل به ساقه) اطلاعات (جدول ۹) برای تنش

بیشینه سایز کوچک به دست آمد:

جدول ۹: تغییرات تنش بیشینه در طول محصول

سر محصول (کیلوپاسکال)	قسمت میانی محصول (کیلوپاسکال)	قسمت انتهایی محصول (کیلوپاسکال)
۲۲۹/۰۳	۲۵۷/۹	۳۱۵/۲۴



همان گونه که مشاهده می شود با حرکت از انتهای کدو به قسمت سر آن، مقدار تنش بیشینه جهت گسیختگی کاهش می یابد که بیانگر نزول سفتی در طول محصول می باشد. با توجه به مقایسه دو به دوی تیمارها به کمک آزمون تی جفت نشده در سطح احتمال ۱٪ اختلاف تنش معنی دار نبود. بنابراین می توان محصول را جهت مدل سازی به صورت متجانس^۴ در طول محصول در نظر گرفت.

با استخراج ضرایب مدل هنری برای مواد سلول دار توسط نرم افزار متلب، اطلاعات زیر حاصل شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: ضرایب مدل هنری

سایز	a	b	c
کوچک	۳/۴۰۶	۱	-۰/۱۰۵
متوسط	۱/۲۵۲	۱/۲۱۵	-۰/۱۱۱
بزرگ	۰/۸۳	۰/۸۶	-۰/۰۷

ضریب a که بیانگر رفتار ماده سلول دار در ناحیه الاستیک است (شیب نمودار در قسمت ابتدایی) با افزایش سایز محصول، کاهش می یابد. در حقیقت با افزایش قطر کدو، از رفتار الاستیک ماده (نیرو متناسب با تغییر شکل) فاصله می گیریم و از مقاومت اصلی ماده که در اثر تراکم سلول ها رخ می دهد، کاسته شده و نیاز به نیرو و انرژی کمتری جهت ایجاد گسیختگی در ماده خواهیم داشت.

با توجه به ضرایب مدل هنری، نقطه عطف نمودار، ضریب کشسانی مماسی بیشینه و سکانتی بیشینه محاسبه شد (جدول ۱۱).

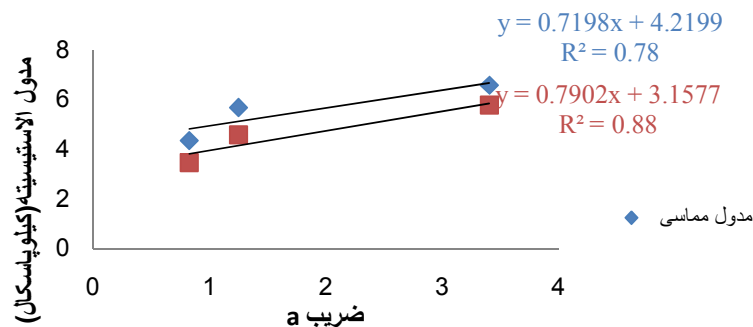
جدول ۱۱: نقطه عطف، مدول الاستیسته

سایز	نقطه عطف (میلی متر)	مدول مماسی بیشینه (کیلوپاسکال)	مدول سکانتی بیشینه (کیلوپاسکال)
کوچک	۳/۱۷۵	۶/۵۸	۵/۷۸
متوسط	۳/۶۵۶	۵/۶۸	۴/۵۷
بزرگ	۴/۰۷۹	۴/۳۵	۳/۴۶

⁴ homogeneous

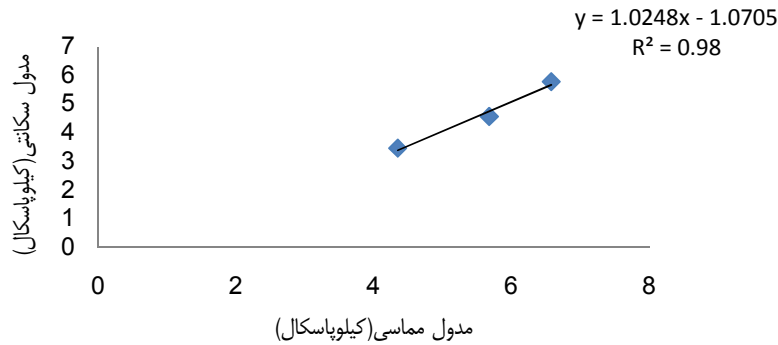


از مقایسه داده های (جدول ۱۱) این نتایج استنباط می شود که با افزایش سایز کدو، مدول الاستیسیته کاهش می یابد که در واقع از کاهش سفتی بافت محصول (نرم شدن) و افزایش حساسیت به صدمات مکانیکی خبر می دهد. در واقع می توان گفت سایزهای بزرگ تر مانند یک فنر با سختی کمتر عمل کرده که شکست در کرنش های بالاتر و حرکت نقطه عطف به مقادیر بالاتر را می توان به سختی کمتر و قابلیت انعطاف بیشتر این فنر نسبت داد. نقطه عطف ماده بیشترین مقاومت در برابر تغییر شکل را نشان می دهد. هر چه نقطه عطف نمودار به نقطه شکست ماده نزدیک تر شود تعداد المان هایی در درون ماده که به شکست می رسند بیشتر از المان هایی است که به تنش بیشینه می رسند. بنابراین، وقوع شکست در ماده نزدیک تر خواهد بود. (شکل ۱۲) تغییرات مدول مماسی و سکانتی را در برابر هم نشان می دهد که بیانگر یک رابطه به معادله $y = 1.0248x - 1.0705$ می باشد که با دقت بالایی ($R^2=0.98$) خطی است.



شکل ۱۲: رابطه مدول مماسی و سکانتی

به دلیل اثر ضریب جمله خطی در مدل هنری بر مقاومت ماده در برابر شکست، با استخراج یک رابطه رگرسیونی از نمودار تغییرات ضریب a نسبت به مدول الاستیسیته مماسی و سکانتی بیشینه، این دو پارامتر با برازش یک خط مرتبط شدند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: تغییرات ضریب a با مدول الاستیسیته

در آزمون برش، با تحلیل داده‌ها و نمودارها نتایج (جدول ۱۴) به دست آمد:

جدول ۱۴: نتایج تست برش

تنش برشی بیشینه (کیلو پاسکال)	سایز
۸۰/۳۳	کوچک
۶۵/۲۶	متوسط
۶۲/۱۷	بزرگ

همان‌طور که مشاهده شد با افزایش سایز محصول، نیروی برشی بیشینه افزایش می‌یابد.

با فرض سطوح بارگذاری به عنوان سطوح اصلی تنش، از نسبت تنش‌های برشی بیشینه به تنش‌های فشاری بیشینه با توجه به

دایره موهر در (شکل ۱۶) خواهیم داشت (شکل ۱۵):

شکل ۱۵: نسبت تنش برشی به فشاری بیشینه

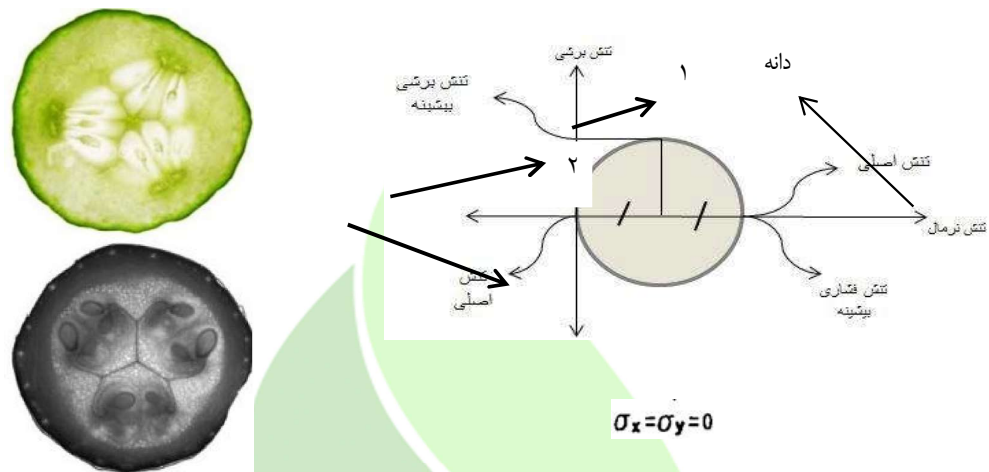
نسبت تنش برشی به فشاری (بیشینه)	سایز
۰/۴۲	کوچک
۰/۵۵	متوسط
۰/۶	بزرگ

مشاهده می‌شود نسبت تنش‌ها بیشینه طبق دایره موهر باید ۰/۵ باشد که همخوانی خوبی با نتایج به دست آمده دارد.



همان گونه که از دایره موهر (شکل ۱۵) مشخص می شود تنش در راستای دو محور X و Y صفر (ماس به مبدا) می باشد و فقط

تنش در راستای محور بارگذاری یعنی محور Z که همان تنش اصلی است عمل میکند.



شکل ۱۶: دایره موهر

به کمک آزمون تی جفت نشده (unpaired t-test) تفاوت بین تنش برشی بیشینه و نصف تنش فشاری بیشینه در سطح احتمال

۱٪ برای هر سه سایز کدو دار نبود. بنابراین سطوح بارگذاری سطوح اصلی تنش بوده اند و آزمایشات همخوانی خوبی با

دایره موهر دارند.

ساختار میوه ها و برخی سبزیجات از جمله کدو که البته از نظر یک گیاه شناس میوه محسوب می شود از دو قسمت پیرابر^۵ و

دانه^۶ تشکیل می شود که پیرابر از سه قسمت اصلی ساخته می شود:

(۱) برون بر^۷ یا اپیدرم خارجی

(۲) میان بر^۸ یا پارانشیم بین برون بر و درون بر

⁵ Pericarp
⁶ seed
⁷ exocarp



(۳) درون بر^۹ یا اپیدرم داخلی

۳

با توجه به بررسی های انجام شده بر روی سه سایز مختلف مشاهده می شود که با افزایش سایز کدو، تعداد دانه های میانی زیاد شده که افزایش فضای خالی در بافت محصول را به دنبال دارد که کاهش مقاومت محصول یا مدول الاستیسیته را می توان به آن نسبت داد. همچنین میتوان استنباط کرد که با افزایش در سایز، اندازه سلول های محصول بزرگ تر می شوند که با افزایش خلل و فرج ماده و کاهش مقاومت همراه است زیرا مایعات و هوای داخلی، توانایی کمی برای مقاومت در برابر گسیختگی دارند. استنباط دیگر حاکی از این است که با افزایش سایز محصول، فشار مایع داخل سلول زیاد شده که فشار زیادی را بر دیواره سلولی وارد می کند و با اعمال تنش خارجی کمتری نسبت به سایزهای کوچک تر پاره شده و ماده به گسیختگی می رسد. دلایل فوق میتواند عواملی باشد که نشان دهنده حساسیت بالاتر سایزهای بزرگ در تحمل تنش های خارجی دارد. همچنین اندازه گیری چگالی در سه سایز مختلف نشان دهنده کاهش چگالی با افزایش سایز می باشد بدین معنی که ماده حالت توخالی پیدا می کند در نتیجه مقاومت ماده کاهش می یابد. این فضاهاى خالی در درون بافت ماده، اجازه فرو رفتن سلولها در هم را فراهم میکند که شکست در کرنش های بالاتر را برای سایز بزرگ به دنبال خواهد داشت.

با افزایش در سایز کدو، بیشترین تغییرات در میان بر و درون بر ایجاد می شود. این گونه به نظر می رسد که با افزایش سایز، ابعاد درون بر افزایش می یابد که میتوان کاهش سفتی ماده را به آن نسبت داد. بنابراین، مطالعه بر روی اندام های داخلی و نحوه تغییرات تحقیقات بیشتری را در آینده طلب می کند.

منابع

[۱] افکاری سیاح، ا، اسماعیلیان، م، مینایی، س، پیرایش، ع. ۱۳۸۷. تاثیر بارهای مکانیکی بر آسیب های وارد بر سیب پس از مرحله ی انبارداری. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. شماره ۳: ۳۷-۴۴.

[۲] توکلی هاشجین، ت. ۱۳۸۲. مکانیک محصولات کشاورزی. تالیف سیتیگی، گ. چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان.

8 mesocarp

9 endocarp



[3] Abbott, J. A., and R. Lu. 1996. Anisotropic Mechanical Properties of Apple. Trans. Of the ASAE 1451-1459.

[4] Chichester, L., and E. Horwood. 1989. Physical Properties of Food and Food Processing Systems. 1st Edn.

[5] Fridlet, R. B., and P.A. Adrian. 1966. Mechanical Properties of peaches, Pears, Apricots, and Apples. Trans. ASAE 135-138.

[6] Henry, Z. A., and H. Zhang., and D. O. Onks. 2000. New Model for Elastic Behavior of Cellular Material. Journal of Agricultural Engineering Research 76: 399-408.

[7] Pitt, R.E., and H.L. Chen. 1983. Time-dependent aspects of the strength and rheology of vegetative tissue. Trans. ASAE, 26(4): 1275-1280.



Effect of size on mechanical properties and texture of squash

Arash hajisadeghian^{1*} Abbas hemmat² Masih nasri¹

1-MSc student, , Department of Biosystems Engineering, Isfahan university of technology
a.hajisadeghian@ag.iut.ac.ir

2- Professor, Department of Biosystems Engineering, Isfahan university of technology

Study of physi and mechanical properties of fruits and vegetables is necessary for optimizing harvest and post-harvest processes. To extract the mechanical properties of squash such as maximum stress, rupture strain, toughness and apparent modulus of elasticity, Compression and shear tests was done in three sizes and three sampling positions with universal test machine and there is good correlation between measured parameters and internal texture. With increasing size, increasing shear and compression strength and decreasing toughness was observed. In addition, in each size from bottom to head, strength decrease and it demonstrates that texture will change in the length. The coefficient of linear term in henry model decrease with increasing size. Tangential and secant modulus of elasticity from henry model was extracted by MATLAB software. Both modulus decreases with increasing size. Therefore, it expresses less stiffness in larger sizes. Theoretical rupture point was extracted for comparison with rupture strain. There was a good correlation between modulus of elasticity and the coefficient of the linear term ($R^2=0.78, 0.88$) in henry model. A good correlation between tangential and secant modulus of elasticity was observed ($R^2=0.98$). According to the Mohr circle and loading on principal surface of stress, the difference between the maximum shear stress and half of the maximum compressive stress was not significant at the 1% level, which confirms the accuracy of the experiments.

Keywords: Henry model, modulus of elasticity, Mohr's circ , Shear test, Squash Texture