مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۷ / شماره ۲۸/ پاییز ۱۳۸۵

مقایسهٔ خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم هندوانه چارلستون‌گری و کریمسون‌سوئیت*

حسن صدرنیا، علی رجبی پور، ارژنگ جوادی، علی جعفری و یونس مستوفی**

* برگرفته از رساله دکتری با عنوان «تعیین خواص مکانیکی هندوانه و تحلیل سه بعدی پراکندگی تنش با استفاده از روش اجزاء محدود»

** به ترتیب دانشجوی مقطع دکتری، دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران، نشانی: کرج، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران، تلفن: ۲۸۰۸۱۳۸ (۰۲۶۱)، پیام نگار: arajabi@ut.ac.ir، استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران و استادیار گروه باغبانی دانشکده علوم باغبانی و گیاهپزشکی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۸٤/۸/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۱/۱۹

چکیده

هندوانه از نظر وزن و حجم بزرگترین میوه است و همین امر موجب بروز معضلاتی در حمل و نقل این محصول می‌شود. تحقیق حاضر به منظور تعیین و مقایسهٔ خواص فیزیکی و مکانیکی ارقام و اندازه‌های مختلف این محصول جهت دسترسی به پارامترهای مورد استفاده در حمل و نقل، انبارداری، برداشت و جابه‌جایی صورت گرفته است. آزمایش‌ها در قالب دو طرح آزمایشی جداگانه برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی هندوانه انجام شد. برای تعیین خواص فیزیکی هندوانه از آزمایش فاکتوریل ۳×۲ (۳ اندازه × ۲ رقم) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تکرار استفاده گردید. همچنین برای تعیین خواص مکانیکی این محصول از آزمایش فاکتوریل ٤×۳×۲ (٤ موقعیت نمونه × ۳ اندازه × ۲ رقم) در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. متغیرهای جرم، حجم، ابعاد، چگالی، ضریب کرویت، و میانگین هندسی قطرها برای تعیین خواص فیزیکی و متغیرهای تنش و کرنش گسیختگی، مدول الاستیسیته، و چقرمگی نیز برای تعیین خواص مکانیکی هندوانه اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS V.9 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش اندازهٔ هندوانه، ضریب کرویت و چگالی در هر دو رقم کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار چگالی ۰/۹٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط به رقم چارلستون‌گری در اندازهٔ کوچک و کمترین چگالی ۰/۹۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط به رقم کریمسون‌سوئیت در اندازهٔ بزرگ است. مقایسهٔ پارامترهای مختلف خواص مکانیکی دو رقم هندوانهٔ چارلستون‌گری و کریمسون‌سوئیت نشان می‌دهد که خواص مکانیکی هندوانه تحت تاثیر اندازه و رقم به طور معنی‌داری تغییر می‌کند.

واژه های کلیدی

بافت محصولات کشاورزی، پوست، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، هندوانه

مقدمه

ایران با تولید ۲/۱۵ میلیون تن هندوانه در سال، رتبهٔ سوم را بعد از کشورهای چین و ترکیه در تولید این محصول به خود اختصاص داده است (Anon, 2005). از طرف دیگر، هندوانه دومین محصول صادراتی ایران در بخش میوه و سبزی‌های تازه است. با توجه به شرایط مناسب اراضی کشور برای کشت هندوانه، روند تولید این محصول طی سال‌های اخیر فزونی داشته است (Anon, 2003)، همچنین محبوبیت جهانی برای مصرف این محصول رو به افزایش است (Diezma-Iglesias *et al*., 2004). بنابراین، هندوانه می‌تواند جایگاه خاصی در بخش صادرات محصولات کشاورزی کشور داشته باشد (در حال حاضر کمتر از ۲ درصد تولید هندوانه صادر می‌گردد در صورتی که این مقدار برای سیب در حدود ۱۵ درصد است). هندوانه جزء

خانواده کدوییان[1] و بزرگترین میوه از نظر وزن و حجم است که همین امر موجب بروز معضلاتی در حمل و نقل این محصول شده است. هر چند برخلاف سایر میوه‌ها، صدمات مکانیکی وارد شده به هندوانه در مراحل مختلف جابه‌جایی و انبارداری، به دلیل پوست ضخیم اطراف آن، غالباً به صورت لهیدگی بافت داخلی بروز می‌کند که در ظاهر میوه مشخص نمی‌شود. در حالی که در اکثر میوه‌ها به لحاظ پوست نازک میوه، آسیب‌های مکانیکی به صورت کوفتگی[2] با تغییر رنگ بافت در سطح میوه به راحتی قابل مشاهده است. در نتیجه تشخیص آسیب‌دیدگی در هندوانه بسیار مشکل‌تر از سایر میوه‌هاست. در این تحقیق، تعیین و مقایسهٔ خواص مکانیکی و فیزیکی ارقام و اندازه‌های مختلف این محصول جهت دسترسی به پارامترهای مورد استفاده در حمل و نقل، انبارداری، برداشت و جابه‌جایی مورد نظر بوده است.

غالب تحقیقات گذشته در زمینهٔ خواص فیزیکی هندوانه و محصولات مشابه آن (خانوادهٔ Melon شامل طالبی، خربزه، دستانبو و...) در ارتباط با روش‌های تعیین رسیدگی میوه به صورت غیر مخرب متمرکز بوده است (Nourain *et al*., 2005; Rosenfeld *et al*., 1991; Cooke, 1972; Sugiyama, 1998). یکی از متداول‌ترین روش‌های غیر مخرب تعیین رسیدگی میوه، اندازه‌گیری فرکانس موج بازتابیده شده از میوه و سپس به دست آوردن رابطهٔ آن با مدول الاستیسیته و سطح رسیدگی است.

جریموپاس و همکاران (Jarimopas *et al*., 2005) دستگاه الکترونیکی برای اندازه‌گیری حجم هندوانه طراحی، و پس از ساختن ارزیابی کردند. این محققان حجم هندوانهٔ اندازه‌گیری‌شده با دستگاه الکترونیکی و روش معمول اندازه‌گیری را به روش جابه‌جایی آب با یکدیگر مقایسه و گزارش کردند که در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد این دو روش با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

نوراین و همکاران (Nourain *et al*., 2005) مقدار مدول الاستیسیتهٔ قسمت‌های مختلف بافت داخلی، میانی، و خارجی طالبی رقم هانگ‌گوا[3] را اندازه‌گیری کردند. در تحقیقات آنان، مقدار مدول الاستیسیته قسمت خارجی ۱/٤٥، قسمت میانی ۱/۰۵، و قسمت داخلی ۰/۹ مگاپاسگال گزارش شده است.

دیزما و همکاران (Diezma *et al*., 2004) روشی را جهت تشخیص کیفیت داخلی هندوانه‌های بدون دانه[4] ارائه دادند. نتیجهٔ مطالعات آنها نشان داد که پاسخ ضربه می‌تواند در تشخیص عیوب هندوانه از قبیل بیش رسیدگی، کوفتگی در اثر ضربه و پوکی بافت داخلی[5] به کار رود.

لوریر و همکاران (Laurier *et al*., 2004) نیروی برشی قسمت‌های مختلف میوهٔ هندوانه را اندازه‌گیری کردند. دراین تحقیق نیروی برشی بافت قرمز هندوانه ۲۰ نیوتن و قسمت پوست میوه هندوانه ۵۰ نیوتن گزارش شده است.

چن و همکاران (Chen *et al*, 1996) مقادیر مدول الاستیسیتهٔ استاتیکی خربزه را با استفاده از روش آزمون تک‌محوری به دست آوردند. نتایج نشان داد برای خربزه‌های مختلف مدول الاستیسیته به طور معنی‌داری از قسمت داخلی تا پوست افزایش می‌یابد. در این تحقیق، روند تغییرات مدول الاستیسیته در نزدیکی لایهٔ داخلی، نسبت به تغییرات آن در نزدیکی لایهٔ خارجی، بیشتر گزارش شده است.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (Anon, 1996) استاندارد ویژگی‌های هندوانه را تهیه و در آن نمونه‌برداری، آزمون، نشانه‌گذاری، و ویژگی‌های محصول هندوانه استاندارد را بیان کرده است. مطابق این استاندارد هندوانه جهت عرضه به بازار باید عاری از آسیب‌دیدگی ناشی از عوامل مکانیکی مانند شکستگی، ترکیدگی و له‌شدگی باشد. در صورت مشاهده حتی یک مورد هندوانهٔ آسیب دیده در نمونهٔ به دست آمده از محموله، کل محموله مردود خواهد بود. مهم‌ترین ارقام تجاری هندوانه ایران رقم‌های چارلستون‌گری، فرفاکس، شوگر بی‌بی، و جابونی در این استاندارد ذکر شده است.

1- Cucurbitaceae
2- Bruising
3- Huang gua
4- Seedless
5- Hollow Heart

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، دو رقم هندوانه به نام‌های چالستون‌گری[1] و کریمسون‌سوئیت[2] با نظر کارشناسان مرکز تحقیقات سبزی و صیفی وزارت جهاد کشاورزی جهت آزمایش انتخاب شدند. این دو رقم در حال حاضر در ایران و سایر نقاط جهان بالاترین سطح زیر کشت را دارند (Anon, 2005; Anon, 1978). نمونه‌ها از مزرعه بخش جوادآباد شهرستان ورامین در اواخر تیرماه ۱۳۸٤ تهیه و با انتقال و مستقیم آنها به سردخانهٔ گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، در دمای ۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند. طبق استاندارد آزمون مواد غذایی انجمن مهندسی کشاورزی آمریکا[3] جهت دستیابی به نتایج قابل قبول (Anon, 2003)، ۲۰ تکرار برای هر آزمایش در نظر گرفته شد. در مجموع، ٦۰ عدد هندوانه به طور تصادفی برای هر رقم انتخاب شد؛ ۲۰ هندوانهٔ دارای بالاترین وزن در طبقه بزرگ (A)، ۲۰ هندوانهٔ بعدی دارای وزن بالاتر در طبقه متوسط (B)، و ۲۰ هندوانهٔ دارای کمترین وزن در طبقه کوچک (C) قرار داده شدند. به عبارت دیگر مشخصات هر طبقه معرف یک سوم کل جمعیت رقم است. برای کل آزمایش‌ها، ۱۲۰ عدد هندوانه (تکرار ۲۰× اندازه ۳× رقم ۲) تهیه شد.

- تعیین خواص فیزیکی

برای تعیین خواص فیزیکی هندوانه، از آزمایش فاکتوریل ۳×۲ (۳ اندازه × ۲ رقم) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تکرار استفاده شد. خواص فیزیکی شامل ابعاد هندسی، حجم واحد، و جرم واحد برای هر یک از هندوانه‌ها اندازه‌گیری و سپس ضریب کرویت، چگالی، و میانگین هندسی قطرها محاسبه شد. ابعاد هندسی هندوانه‌ها در سه جهت عمود بر هم a، b، و c تعیین شد، که به ترتیب بزرگترین قطر، بزرگترین قطر عمود بر a، و بزرگترین قطر عمود بر a و b هستند. ابعاد فوق به کمک کولیس با دقت ۰/۰۵ میلی‌متر و با عرض دهانه حداکثر ۵۰۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقادیر میانگین هندسی قطرها و ضریب کرویت از روابط زیر استخراج شد:

$$\text{میانگین هندسی قطرها} = \sqrt[3]{abc} \qquad (۱)$$

$$\text{ضریب کرویت} = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a} \qquad (۲)$$

برای تعیین جرم، از ترازوی دیجیتالی با دقت ۵ گرم استفاده شد. حجم هندوانه‌ها، براساس نیروی وارده بر اجسام شناور درون آب به دست آمد. بدین صورت که ابتدا ظرف مناسب محتوی آب را روی ترازو گذاشته و عدد روی ترازو قرائت گردید (m_1) سپس هندوانه به آرامی درون آب قرار داده و با نگهدارنده‌ای به زیر سطح آب فرو برده شد. پس از به تعادل رسیدن آب درون ظرف، عدد ترازو قرائت گردید (m_2). حجم هندوانه از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

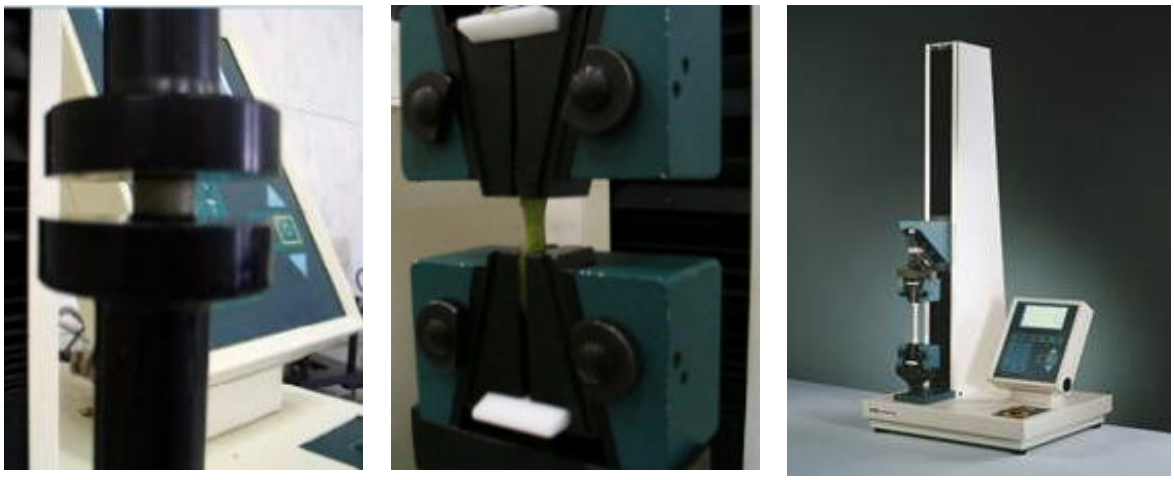
$$V = \frac{F}{\gamma} \qquad (۳)$$

که در آن، V= حجم هندوانه (بر حسب متر مکعب)؛ F= نیروی شناوری معادل وزن آب هم حجم هندوانه (برحسب نیوتن)؛ و γ= وزن مخصوص آب (بر حسب نیوتن بر متر مکعب) است.

- تعیین خواص مکانیکی

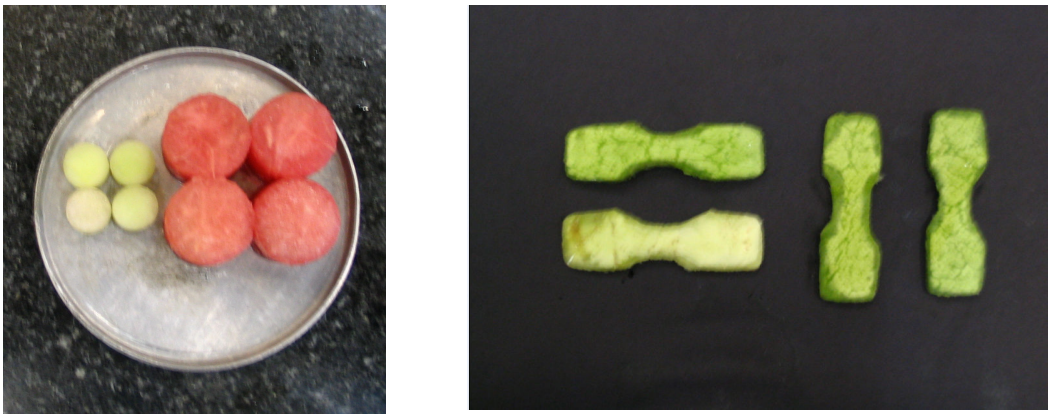
آزمایش‌های مکانیکی به منظور تعیین چهار خاصیت مکانیکی قسمت‌های اصلی هندوانه شامل بافت قرمز، پوست سفید، پوست سبز طولی/عرضی انجام شد. این خواص عبارت‌اند از :تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، مدول الاستیسیته، و چقرمگی. آزمایش‌های فوق با استفاده از دستگاه تست یونیورسال (اینسترون) مجهز به تجهیزات بارگذاری فشاری و کششی انجام گردید (شکل شمارهٔ ۱).

1- Charlston gray 2- Crimson sweet 3- American Society of Agricultural Engineering



شکل شمارهٔ ۱- تصویر دستگاه تست یونیورسال و فک‌های بارگذاری کششی و فشاری

مناسب‌ترین شکل و ابعاد هندسی نمونه‌های آزمایشی قسمت‌های مختلف هندوانه بر اساس منابع (Chen *et al.*, 1996; Masoudi, 2004; Mohsenin, 1986; Sitkei, 1986) و اجرای یک سری آزمون‌های اولیه انتخاب شد. ابعاد نمونه‌های بافت قرمز به قطر ۲۵ میلی‌متر و طول ۲۰ میلی‌متر، بافت سفید پوست به قطر ۱٤ میلی‌متر و طول ۸ میلی‌متر، و پوست سبز به طول ۵ سانتی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر انتخاب شد. همچنین به منظور حذف اثر مکان نمونه‌گیری، از چهار قسمت هندوانه در طول خط استوا که عمود بر هم از مرکز هندوانه بودند، نمونه‌گیری شد (شکل شمارهٔ ۲).



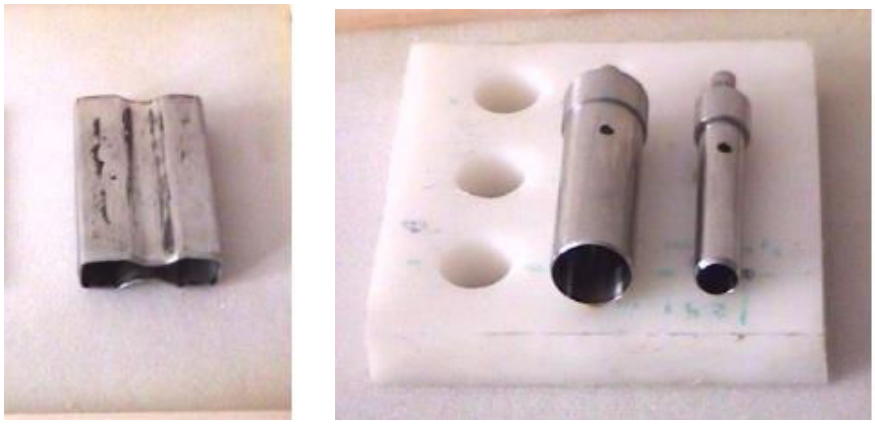
(ب) (الف)

شکل شمارهٔ ۲- نمونه‌های آزمایشی: (الف) پوست سبز طولی/عرضی، (ب) بافت قرمز و پوست سبز

برای تهیهٔ نمونه‌های استوانه‌ای ، ابتدا نمونه‌گیر (شکل شمارهٔ ۳- الف) که به همین منظور طراحی و ساخته شده بود به سه نظام یک دستگاه دریل برقی بسته شد. دستگاه دریل روی پایه‌ای کوچک ثابت گردید. با قرار دادن نمونه‌ها در زیر نمونه‌گیر، دریل به کار افتاده به آهستگی به سمت پایین حرکت داده می‌شد. با نفوذ نمونه‌گیر در درون بافت، نمونه با قطر مورد نظر گرفته می‌شد و در درون نمونه‌گیر قرار می‌گرفت. برای خارج کردن نمونه‌ها از داخل نمونه‌گیر، از فشار باد استفاده گردید. برای برش طولی نمونه‌های استوانه‌ای از صفحه پلی‌اتیلن با ضخامت متناسب

با طول نمونه استفاده شد. با قرار دادن نمونه‌های استوانه‌ای درون سوراخ‌های صفحه پلی‌اتیلن و به کمک تیغ تیز دو طرف نمونه به صورت کاملاً صاف و افقی برش داده می‌شد. بدین ترتیب نمونه‌های استوانه‌ای بافت قرمز و پوست سفید برای اجرای آزمایش تهیه می‌شدند. برای تهیهٔ نمونه‌های پوست سبز جهت بارگذاری کششی از روش پیشنهادی هاف (Huff, 1967) استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از قالب نمونه‌گیر که دارای لبه‌های کاملاً تیز بود، نمونه‌ها برش داده می‌شدند (شکل شمارهٔ ۳- ب). پس از آن، با قرار دادن نمونه‌های پوست سبز درون پایهٔ فلزی به ضخامت ۳ میلی‌متر، قسمت بالایی نمونه با تیغ تیز به صورت صاف بریده می‌شد.

نمونه‌های تهیه شده از بافت قرمز و پوست سفید تحت بارگذاری تک‌محوری فشاری قرار داده شد و نمودار نیرو- تغییر شکل برای هر یک ترسیم گردید (شکل شمارهٔ ٤- الف). به منظور تعیین خواص مکانیکی پوست سبز به دلیل ضخامت کم این لایه از آزمون کشش استفاده شد. سپس نمودار نیرو- تغییر مکان پوست سبز ترسیم و پارامترهای مورد نیاز از روی آنها استخراج شد (شکل شمارهٔ ٤- ب). برای ثابت نگه داشتن نمونه‌های کششی پوست سبز، از فک‌های بارگذاری کششی مخصوص مواد غذایی دارای سطح آج‌دار، استفاده گردید.

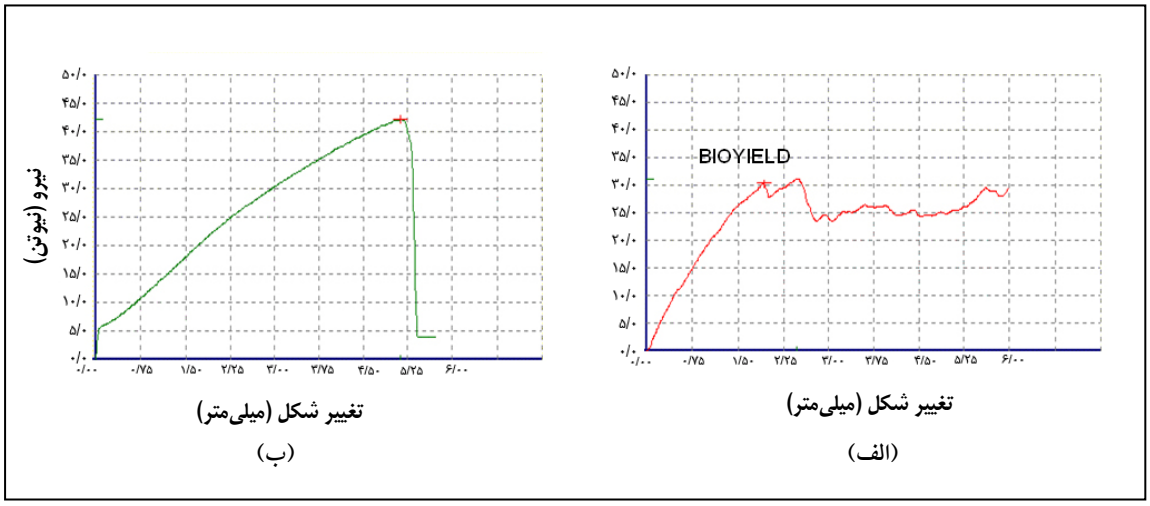


شکل شمارهٔ ۳- تصویر ابزار نمونه‌گیر بافت: (الف) نمونه‌گیر استوانه‌ای و صفحهٔ تفلون، (ب) نمونه‌گیر پوست سبز برای آزمون کششی

سرعت بارگذاری تمام نمونه‌ها بر اساس استاندارد تعیین خواص مکانیکی بافت مواد غذایی انجمن مهندسی کشاورزی آمریکا (Anon, 2003)، ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و تغییر مکان نهایی ٦، ۳و ۵ میلی‌متر به ترتیب برای بافت قرمز، پوست سفید، و پوست سبز انتخاب شد. آزمایش‌های تعیین خواص مکانیکی به صورت فاکتوریل سه فاکتوره (اندازه ۳× رقم ۲× موقعیت٤) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تکرار و در مجموع با ٤۸۰ آزمایش انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

در این تحقیق، تجزیه و تحلیل آماری نتایج در قالب دو طرح آزمایشی جداگانه برای خواص فیزیکی و مکانیکی با استفاده از نرم افزار SPSS V.9 صورت پذیرفت. عملیات آماده‌سازی داده‌ها و محاسبات مقدماتی با نرم افزار Excel انجام شد.



شکل شمارهٔ ٤- نمودار نیرو- تغییر شکل (الف) نمونه استوانه‌ای بافت قرمز (ب) نمونه کششی پوست سبز

- خواص فیزیکی

جدول‌های شمارهٔ ۱ و ۲ میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی شامل ابعاد a، b و c، جرم واحد، حجم واحد، ضریب کرویت، میانگین هندسی قطرها، و چگالی را برای دو رقم هندوانه چارلستون‌گری و کریمسون‌سوئیت را نشان می‌دهد.

جدول شمارهٔ ۱- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی هندوانه رقم چالستون‌گری

اندازه	تعداد نمونه	متغیر	ابعاد (میلی‌متر) c	b	a	جرم واحد (گرم)	حجم واحد (سانتی‌متر مکعب)	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ضریب کرویت ۱/میلی‌متر	میانگین هندسی قطرها
A	۲۰	میانگین	۱۷۷/۵	۱۸۳/٤۵	۳۹۵/٦۵	۷۳٤۳/۵	۷٦۹۳/۵	۰/۹۵٦	۰/۵۹۳	۲۳٤/۳۳
		انحراف معیار (SD)	۸/۲٦	۸/۳۲	۲۸/۱٦	۱۰۹۵/۷	۱۲۱۲/٤	۰/۰۱٤	۰/۰۲۵	۱۱/۲۰
		CV (درصد)	٤/٦۵	٤/۵۳	۷/۱۲	۱٤/۹۲	۱۵/۷٦	۱/٤۱	٤/۱٤	٤/۷۸
B	۲۰	میانگین	۱٦۳/۳	۱٦۷/۱	۳۵٦/۱	۵۳۹۵	۵٦٤۱/۵	۰/۹۵٦۱	۰/٦۰۱	۲۱۳/۱۵
		انحراف معیار (SD)	٦/۰۹	٦/٦۷	۲۳/۷۰	۲۵۲/۵	۲۵۸/۲	۰/۰۱۰	۰/۰۳۸	۳/۷٦
		CV (درصد)	۳/۷۳	۳/۹۹	٦/٦۵	٤/٦۸	٤/۵۸	۱/۰٤	٦/٤۱	۱/۷۷
C	۲۰	میانگین	۱۵٤/٤	۱۵۹/۱	۳۱۳/۵	٤۲۸۲/۵	٤٤۸۲/۵	۰/۹۵۷	۰/٦۳۲	۱۹۷/۲۵
		انحراف معیار (SD)	۷/٤۲	۷/۲۲	۲٦/۳۰	۳۸۷/۲	٤۰۲/٤	۰/۰۰۷	۰/۰٤۷	٦/۵۳
		CV (درصد)	٤/۸۱	٤/۵٤	۸/۳۸	۹/۰٤	۸/۹۸	۰/۷۳۹	۷/٤۳	۳/۳۱
هرسه	٦۰	میانگین	۱٦۵/۱	۱٦۹/۸۸	۳۵۵/۱۳	۵٦۷۳/۷	۵۹۳۹/۲	۰/۹۵٦	۰/٦۰۹	۲۱٤/۹۱
		انحراف معیار (SD)	۱۱/۹۹	۱۲/۵٦	٤۲/٤۱	۱٤٤۳/۳	۱۵۲۹/٦	۰/۰۱۰	۰/۰٤۱	۱۷/۱۲
		CV (درصد)	۷/۲٦	۷/٤۰	۱۱/۹٤	۲۵/٤۳	۲۵/۷۵	۱/۰۹۲	٦/۷۱	۷/۹۷

جدول شمارهٔ ۲- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی هندوانه رقم‌کریمسون سوئیت

اندازه	تعداد	متغیر	ابعاد (میلی‌متر) c	ابعاد (میلی‌متر) b	ابعاد (میلی‌متر) a	جرم واحد (گرم)	حجم واحد (سانتی‌متر مکعب)	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ضریب کرویت ۱/میلی‌متر	میانگین هندسی قطرها
		میانگین	۲۲۱/۵	۲۲۷/۹	۲۶۲/۵	۶۹۴۶/۳	۷۴۶۸/۰	۰/۹۳۱	۰/۹۰۲	۲۳۸/۳۹
A	۲۰	انحراف معیار(SD)	۱۰/۶۰	۱۲/۱۸	۱۳/۵۰	۷۴۰/۴	۸۵۲/۸	۰/۰۱۳	۰/۰۳۷	۹/۷۹
		CV (درصد)	۴/۷۹	۵/۳۴	۵/۱۴	۱۰/۶۶	۱۱/۴۲	۱/۳۷	۴/۱۰	۴/۱۱
		میانگین	۲۰۱/۴	۲۱۱/۱	۲۴۰	۵۲۷۷/۵	۵۶۲۹/۷	۰/۹۳۸	۰/۹۰۵	۲۱۶/۷۹
B	۲۰	انحراف معیار(SD)	۹/۲۲	۹/۰۹	۱۲/۴۸	۴۹۱/۹۸	۵۵۸/۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۳۸	۷/۳۵
		CV (درصد)	۴/۵۸	۴/۳۰	۵/۲۰	۹/۳۲	۹/۹۲	۱/۴۵	۴/۲۳	۳/۳۹
		میانگین	۱۷۹/۰	۱۸۶/۹۵	۱۹۶/۹	۳۴۳۲/۲	۲۶۳۶/۵	۰/۹۴۷	۰/۹۵۶	۱۸۷/۴۴
C	۲۰	انحراف معیار(SD)	۱۵/۴۱	۱۵/۹۶	۱۹/۷۵	۸۶۳/۷۷	۹۲۱/۲۶	۰/۰۱۲	۰/۰۲۶	۱۶/۵۹
		CV (درصد)	۸/۶۱	۸/۵۳	۱۰/۰۳	۲۵/۱۷	۲۵/۴۰	۱/۲۴	۲/۵۷	۸/۸۵
		میانگین	۲۰۰/۵۵	۲۰۸/۶۵	۲۳۳/۱۳	۵۲۱۸/۷	۵۵۷۴/۸	۰/۹۳۸	۰/۹۲۰	۲۱۳/۵۶
هرسه	۶۰	انحراف معیار(SD)	۲۱/۰۵	۲۱/۰۶	۳۱/۴۳	۱۶۰۹/۲	۱۷۶۳/۷	۰/۰۱۴	۰/۰۴۱	۲۳/۴۴
		CV (درصد)	۱۰/۴۹	۱۰/۰۹	۱۳/۴۸	۳۰/۸۳	۳۱/۶۴	۱/۵۱	۴/۴۴	۱۰/۹۷

بیشترین مقدار ضریب کرویت با متوسط ۰/۹۵۶ برای رقم کریمسون سوئیت در اندازهٔ C (کوچک) و کمترین مقدار ضریب کرویت با متوسط ۰/۵۹۳ برای رقم چارلستون‌گری در اندازه A (بزرگ) است. بیشترین مقدار چگالی با متوسط ۰/۹۵۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای رقم چارلستون‌گری در اندازهٔ C و کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری با متوسط ۰/۹۳۱ برای رقم کریمسون سوئیت در اندازه A است.

بررسی جدول‌های شمارهٔ ۱ و ۲ نشان می‌دهد که ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی هندوانه چالستون‌گری کمتر از هندوانه کریمسون‌سوئیت است. همچنین، به طور میانگین هندوانه‌های رقم چارلستون‌گری جرم واحد بالاتری نسبت به رقم کریمسون سوئیت دارد. بیشترین طول هندوانه مربوط به رقم چارلستون‌گری به مقدار ۳۹۵ میلی‌متر و بیشترین مقدار میانگین هندسی قطرها ۲۳۸/۳۹ مربوط به رقم کریمسون‌سوئیت در اندازهٔ A است.

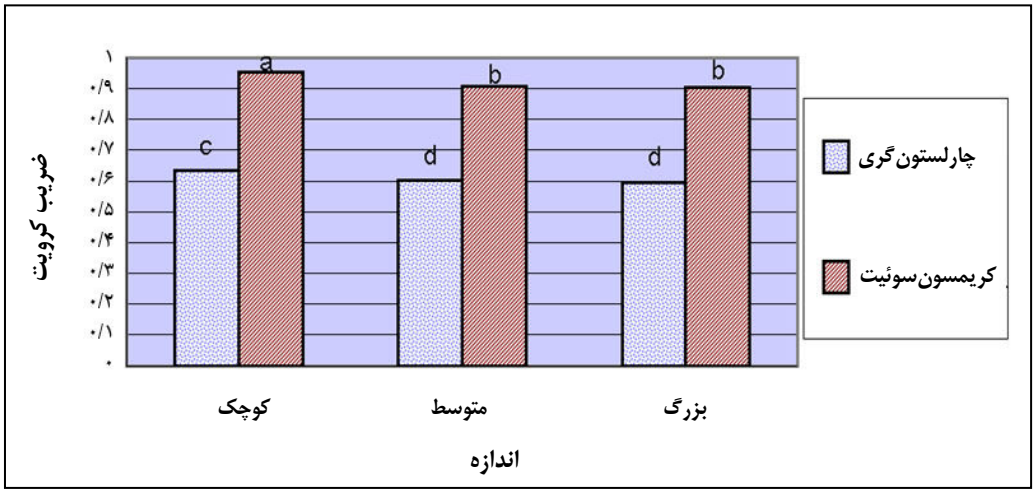
نتایج تجزیهٔ واریانس پارامترهای چگالی و ضریب کرویت در جدول شمارهٔ ۳ نشان داده شده است. بررسی جدول شمارهٔ ۳ نشان می‌دهد که فاکتور اندازه و رقم در سطح احتمال کمتر از ۱ درصد بر چگالی اثر معنی‌دار داشته است، به طوری که با افزایش اندازهٔ هندوانه‌ها در هر دو رقم چگالی کاهش یافته است. کاهش چگالی با افزایش اندازهٔ هندوانه احتمالاً ناشی از رسیدگی بیشتر هندوانه در اندازهٔ بزرگ است که موجب پوکی بافت داخلی شده و کاهش چگالی را به دنبال داشته است.

جدول شمارهٔ ۳- نتایج تجزیهٔ واریانس پارامترهای چگالی و ضریب کرویت

پارامتر	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
چگالی	فاکتور A	۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	٦/٧١٨٣ **
	فاکتور B	۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	٥/٨١١٨ **
	اثر متقابل A × B	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	٣/٨١٦٨ *
	خطا	۱۱٤	۰/۰۱٥	۰/۰۰۰	
	کل	۱۱۹			
ضریب کرویت	فاکتور A	۱	۲/۹۰۲	۲/۹۰۲	٢٢٥٢/٦٤ **
	فاکتور B	۲	۰/۰٤۹	۰/۰۲٤	١٨/٩٣ **
	اثر متقابل A × B	۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/٦١٣٤ ns
	خطا	۱۱٤	۰/۱٤۷	۰/۰۰۱	
	کل	۱۱۹			

*** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار، فاکتور A= رقم، فاکتور B= اندازه**

نتایج مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن برای پارامتر ضریب کرویت در شکل شمارهٔ ٥ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌های ضریب کرویت نشان می‌دهد که افزایش اندازه به طور معنی‌دار موجب کاهش ضریب کرویت خواهد شد. کاهش ضریب کرویت با افزایش‌جرم واحد هندوانه‌ها حکایت از آن دارد که رشد طولی هندوانه نسبت به رشد قطری آن در هر دو رقم بیشتر است.



شکل شمارهٔ ٥- مقایسهٔ میانگین ضریب کرویت به روش آزمون دانکن

- خواص مکانیکی

جدول‌های شمارهٔ ٤ و ٥ مقادیر چهار خاصیت مکانیکی تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، مدول الاستیسیته، و چقرمگی را برای چهار موقعیت: ۱- بافت قرمز، ۲- پوست سفید، ۳- پوست سبز طولی و ٤- پوست سبز عرضی در دو رقم چارلستون‌گری و کریمسون‌سوئیت نشان می‌دهد.

تغییراتی که در خواص مکانیکی قسمت‌های مختلف بافت هندوانه در جدول شمارهٔ ٤ و ٥ مشاهده می‌شود، ناشی از عواملی مانند تغییر در فشار تورم سلولی، اندازهٔ سلول‌ها، و ضخامت دیوارهٔ سلولی است. در صورتی که ضخامت دیوارهٔ سلولی افزایش یابد سلول نیروی بیشتری را می‌تواند تحمل کند و بالعکس افزایش اندازهٔ سلول باعث کاهش تحمل آن به نیروهای مکانیکی می‌شود. همچنین، افزایش فشار تورم سلولی باعث بالا رفتن مدول الاستیسیتهٔ بافت می‌شود. برای مثال، در جدول شمارهٔ ۳ مقدار تنش و کرنش گسیختگی بافت قرمز رقم چالستون‌گری در اندازهٔ کوچک به ترتیب ۰/۰٤۰ مگاپاسکال و ۰/۰۷۵ است و این مقادیر برای اندازه بزرگ به ترتیب ۰/۰٥٤ مگاپاسکال و ۰/۱۲٤ است. می‌توان از مقایسهٔ این ارقام نتیجه گرفت که دیوارهٔ سلولی بافت قرمز در اندازهٔ بزرگ هندوانه نسبت به اندازه کوچک رشد داشته و ضخامت آن افزایش یافته است. به عبارت دیگر، افزایش اندازهٔ هندوانه با افزایش ضخامت دیوارهٔ سلول‌ها همراه است. این نتیجه منطبق با نتایج تحقیقات پیت و چن (Pitt & Chen, 1986) است که مدل رئولوژی سلول را بر اساس پارامترهای ضخامت دیوارهٔ سلولی، اندازهٔ سلول، و فشار تورم سلولی ارائه دادند. به منظور بررسی اثر فاکتورهای مختلف بر خواص مکانیکی، خلاصهٔ نتایج تجزیهٔ واریانس چهار خاصیت مکانیکی هندوانه در جدول شمارهٔ ٦ نشان داده شده است. فاکتور A رقم در دو سطح، فاکتور B اندازه در سه سطح، و فاکتور C موقعیت نمونه‌گیری در چهار سطح است.

جدول شمارهٔ ٤- خواص مکانیکی رقم چارلستون‌گری

موقعیت	اندازه	تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	کرنش گسیختگی (بدون بعد)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	چقرمگی (ژول بر سانتی‌متر مکعب)
۱- بافت قرمز	A	۰/۰٥٤	۰/۱۲٤	۰/٤۳۷	۰/۰۰٤
	B	۰/۰۳۷	۰/۰۹٥	۰/۳۹٦	۰/۰۰۲
	C	۰/۰٤۰	۰/۰۷٥	۰/٥٥۱	۰/۰۰۲
	میانگین	۰/۰٤٤	۰/۰۹۸	۰/٤٦۱	۰/۰۰۲
۲- پوست سفید	A	۰/۱۸۱	۰/۲٤٦	۰/۷٥٥	۰/۰۲۲
	B	۰/۲٦۲	۰/۲۱۹	۱/۲۰۲	۰/۰۳۰
	C	۰/۳۰۳	۰/۲۸۷	۱/۰٦٥	۰/۰٤٤
	میانگین	۰/۲٤۸	۰/۲٥۱	۱/۰۰۷	۰/۰۳۲
۳- پوست سبز عرضی	A	۱/۲۲۸	۰/٤۱۸	۳/۰۱۳	۰/۲٥٦
	B	۱/۰۲۱	۰/٤۰٥	۲/٥٤۲	۰/۲۰۷
	C	۱/۲٤۳	۰/٤۲۲	۲/۹۷۷	۰/۲٦۲
	میانگین	۱/۱٦٤	۰/٤۱٥	۲/۸٤٤	۰/۲٤۲
٤- پوست سبز طولی	A	۱/۳۹٤	۰/٤۳٥	۳/۲۲۲	۰/۳۰٦
	B	۱/۲٦۷	۰/٤۳۸	۲/۹٤٤	۰/۲۷۸
	C	۱/۳٥۲	۰/۳۸٤	۳/٥۳٦	۰/۲٦۰
	میانگین	۱/۳۳۸	۰/٤۱۹	۳/۲۳٤	۰/۲۸۱

جدول شمارهٔ ۵- خواص مکانیکی رقم کریمسون‌سوئیت

موقعیت	اندازه	تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	کرنش گسیختگی (بدون بعد)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	چقرمگی (ژول بر سانتی‌متر مکعب)
۱- بافت قرمز	A	۰/۰۳۰	۰/۰۷۶	۰/٤۱۱	۰/۰۰۱
	B	۰/۰۲۷	۰/۰۵۲	۰/۵۳٦	۰/۰۰۱
	C	۰/۰۳۲	۰/۰٦۲	۰/۵۳۵	۰/۰۰۱
	میانگین	۰/۰۳۰	۰/۰٦۳	۰/٤۹٤	۰/۰۰۱
۲- پوست سفید	A	۰/۲۲۲	۰/۲۸۰	۰/۷۹۵	۰/۰۳۲
	B	۰/۲۷۲	۰/۳۱۰	۰/۹۰۲	۰/۰٤۲
	C	۰/۲۹۸	۰/۲۷۲	۱/۱۰۸	۰/۰٤۱
	میانگین	۰/۲٦٤	۰/۲۸۸	۰/۹۳۵	۰/۰۳۸
۳- پوست سبز عرضی	A	۱/۲۱٤	۰/٤٦۹	۲/٦۱۰	۰/۲۸۹
	B	۱/۲۲۳	۰/۵٦٦	۲/۵٦٤	۰/۳۵۱
	C	۱/۲٤۰	۰/٤٦۳	۲/٦۹۳	۰/۲۸۹
	میانگین	۱/۲۲۵	۰/۵۰۰	۲/٦۲۳	۰/۳۰۹
٤- پوست سبز طولی	A	۱/۱۹۲	۰/٤۷٤	۲/۵۳٦	۰/۲۸۵
	B	۱/۲٤۰	۰/٤۷۳	۲/٦۳۳	۰/۲۹۳
	C	۱/۲۸٤	۰/٤۸۱	۲/۷۲۳	۰/۳۱۰
	میانگین	۱/۲۳۸	۰/٤۷٦	۲/٦۳۱	۰/۲۹٦

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که فاکتور رقم و موقعیت نمونه‌گیری روی چهار خاصیت مکانیکی اثر معنی‌دار داشته است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که خواص مکانیکی هندوانه رقم چالستون‌گری متفاوت از خواص مکانیکی هندوانه رقم کریمسون‌سوئیت است. همچنین فاکتور اندازه بر تنش گسیختگی و مدول الاستیسیته اثر معنی‌دار داشته در صورتی که بر کرنش گسیختگی و چقرمگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبوده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که رقم بر موقعیت نمونه‌گیری اثر متقابل داشته است. این نتیجه نشان می‌دهد ضخامت و لایه‌های مختلف بافت از یک رقم به رقم دیگر تغییر داشته است. برای مثال، تغییر اندازهٔ لایهٔ سفید پوست باعث تغییر در خواص مکانیکی این لایه در دو رقم شده است (جدول‌های شمارهٔ ٤ و ۵).

اثر متقابل رقم بر اندازه در سطح احتمال ۵ درصد بر چهار خاصیت مکانیکی معنی‌دار نیست. بنابراین، اثر اندازه بر خصوصیات مکانیکی هندوانه مستقل از رقم است. همچنین، اثر متقابل اندازه در موقعیت نمونه‌گیری در سطح احتمال ۱ درصد بر چهار خاصیت مکانیکی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. بنابراین، تغییر ضخامت و لایه‌های بافت در اندازه‌های مختلف ناچیز بوده است.

جدول شمارهٔ ٦- خلاصهٔ نتایج تجزیهٔ واریانس چهار خاصیت مکانیکی هندوانه

منابع تغییرات	میانگین مربعات			
	تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	کرنش گسیختگی (بدون بعد)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	چقرمگی (ژول بر سانتی‌متر مکعب)
فاکتور A	۰/۰۰۲**	۰/۰۳۹**	۱/٤۰۱**	۰/۰۱٤*
فاکتور B	۰/۰۳۱*	۰/۰۰۲ ns	۰/٤۳۱**	۰/۰۰۰۱ ns
اثر متقابل A×B	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۰٥ ns	۰/۰۸۰ ns	۰/۰۰٤ ns
فاکتور C	۱۲/۲٦۹**	۰/۹٤۸**	٤٥/۸٦۹**	۰/۷۰۲**
اثر متقابل A×C	۰/۰۳٤*	۰/۰۱۹**	۰/٥۸۲**	۰/۰۰۷*
اثر متقابل B×C	۰/۰۱٥ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۱٥۱*	۰/۰۰۰۱ ns
اثر متقابل A×B×C	۰/۰۱۲ ns	۰/۰۰٦ ns	۰/۱۱۰ ns	۰/۰۰٤ ns

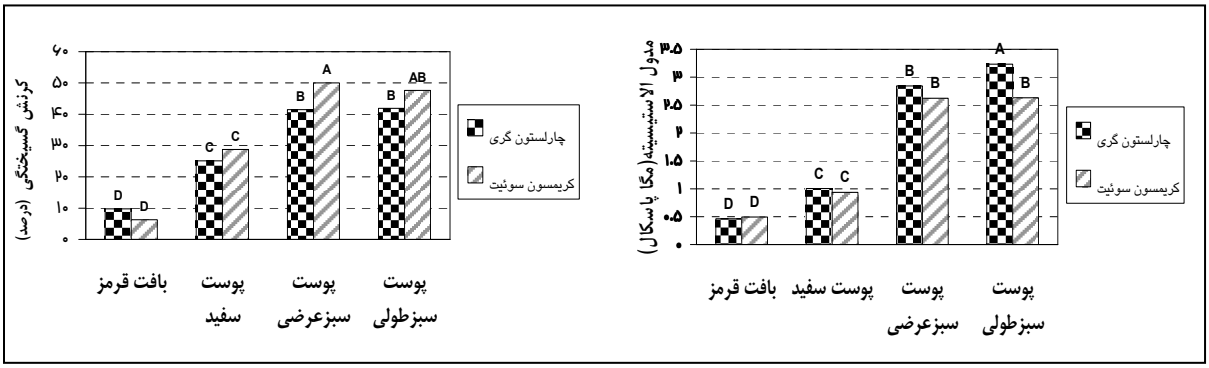
*** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار، فاکتور A= رقم، فاکتور B= اندازه، و فاکتور C= موقعیت**

یکی دیگر از خاصیت‌های مهم محصولات کشاورزی چقرمگی است. چقرمگی حداکثر انرژی است که جسم می‌تواند تحمل کند قبل از آن که به حد تسلیم برسد. به عبارت دیگر در مورد محصولات کشاورزی چقرمگی بافت، شاخصی از حداکثر انرژی است که بافت بدون آسیب‌دیدگی آن را تحمل می‌کند. برای تعیین چقرمگی، باید مساحت زیر نمودار تنش- کرنش (تا نقطه BIOYIELD) بافت محاسبه و بر حجم نمونه تقسیم شود.

بررسی جدول‌های شمارهٔ ٤ و ٥ نشان می‌دهد چقرمگی پوست سبز رقم کریمسون‌سوئیت با ۰/۳۰۲ ژول بر سانتی‌متر مکعب، بیشتر از چقرمگی پوست سبز چارلستون‌گری است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت پوست هندوانه رقم کریمسون‌سوئیت نسبت به رقم چارلستون‌گری تحمل بیشتری به آسیب‌های مکانیکی دارد. آسیب‌دیدگی پوست محصولات کشاورزی از آسیب‌دیدگی بافت‌های داخلی است زیرا در محل آسیب‌دیدگی پوست قارچ‌ها و باکتری‌ها جمع می‌شوند و سرانجام به داخل میوه نفوذ می‌کنند. به سخنی دیگر، ابتدا پوست میوه در معرض آسیب‌های مکانیکی (ضربه، فشارهای موضعی، ساییدگی و...) قرار می‌گیرد.

فاکتور موقعیت نمونه‌گیری روی چهار خاصیت مکانیکی، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، مدول الاستیسیته، و چقرمگی در سطح احتمال کمتر از ۱ درصد معنی‌دار است. شکل شمارهٔ ٦، تغییرات و مقایسهٔ میانگین به روش آزمون دانکن مدول الاستیسیته و کرنش گسیختگی را در چهار موقعیت بافت قرمز، پوست سفید، و پوست سبز طولی، و عرضی در دو رقم چارلستون‌گری و کریمسون‌سوئیت نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که پوست هندوانهٔ کریمسون‌سویت دارای کرنش گسیختگی بالاتر و مدول الاستیسیته کمتری نسبت به رقم چالستون‌گری در هر دو جهت طولی و عرضی است. از آنجا که مقدار تنش گسیختگی پوست در هر دو رقم یکسان است (جدول شمارهٔ ۲ و ۳) می‌توان نتیجه گرفت که پوست هندوانهٔ کریمسون سوئیت نسبت به بارهای مکانیکی، در مقایسه با رقم چالستون‌گری، تحمل بیشتری دارد.

بـه منظـور بررسـی اثـر موقعیـت نمونـه‌گیـری، مقـادیر میانگین‌های چهار خاصیت مکانیکی به روش آزمون دانکن بـا یکدیگر مقایسه شدند. جدول شمارهٔ ۷، نتایج مقایسهٔ میانگین به روش آزمون دانکن چهار خاصیت مکانیکی در چهار سطح موقعیت نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. همان‌طـور کـه در ایـن جدول مشاهده می‌شود، مقایسهٔ مـدول الاستیـسیته پوسـت در جهت عرضی نسبت به جهت طولی در سطح احتمال کمتـر از ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌داری است.

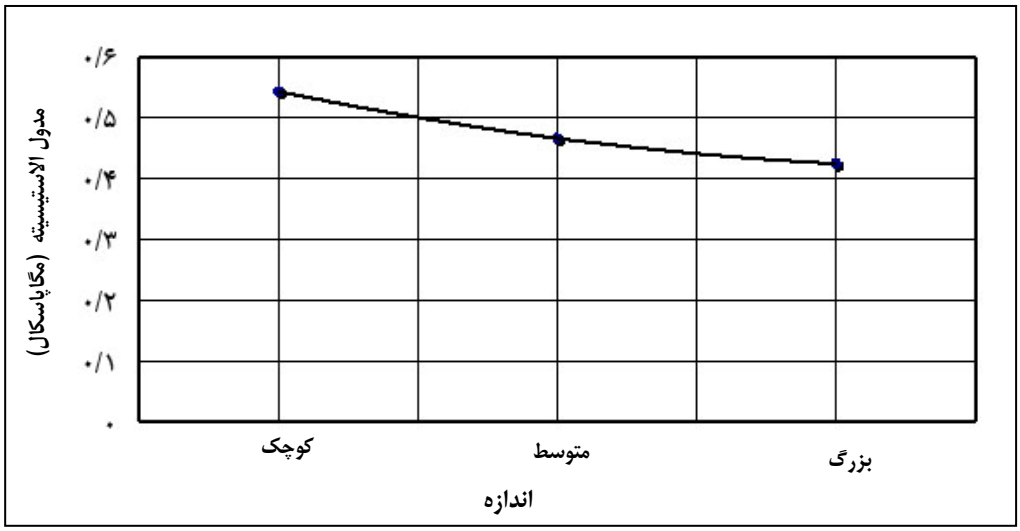


شکل شمارهٔ ٦- تغییرات مدول الاستیسیته و کرنش گسیختگی بافت هندوانه

جدول شمارهٔ ۷- نتایج مقایسه میانگین به‌روش آزمون دانکن چهارخاصیت مکانیکی هندوانه در چهارسطح موقعیت نمونه‌گیری

موقعیت	تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	کرنش گسیختگی (بدون بعد)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	چقرمگی (ژول بر سانتی‌متر مکعب)
۱	۰/۰۳۷ d	۰/۰۸۱ c	۰/٤۷۸ d	۰/۰۰۲ c
۲	۰/۲٥٦ c	۰/۲٦۹ b	۰/۹۷۱ c	۰/۰۳٥ b
۳	۱/۱۹٥ b	۰/٤٥۷ a	۲/۷۳۳ b	۰/۲۷٦ a
٤	۱/۲۸۸ a	۰/٤٤۸ a	۲/۹۳۲ a	۰/۲۸۹ a

مقدار مدول الاستیسیته پوست در جهت عرضـی ۲/۹۳۲ و در جهت طولی ۲/۷۳۳ مگاپاسکال است. وجـود تفـاوت معنی‌دار مدول الاستیسیته در جهت طولی و عرضی حاکی از تفاوت ساختار سلول‌های پوست در جهت طولی و عرضـی اسـت. نتیجـهٔ فـوق بـا تحقیقـات وانـگ و همکـاران (Wang *et al*., 2004) در مـورد تفـاوت مـدول الاستیـسیتهٔ پوست میوهٔ انگور در جهت طولی و عرضـی منطبـق اسـت. آنهـا مـدول الاستیـسیته پوسـت میـوهٔ انگـور را در جهـت عرضی ۱٤/۱ و در جهت طـولی ۱۳/۳ مگاپاسـکال گـزارش کرده‌اند.



شکل شمارهٔ ۷- تغییرات مدول الاستیسیته بافت قرمز نسبت به اندازهٔ هندوانه

شکل شمارهٔ ۷، تغییرات مدول الاستیسیتهٔ بافت قرمز را نسبت به اندازهٔ هندوانه نشان می‌دهد. افزایش اندازهٔ هندوانه باعث کاهش مدول الاستیسیته بافت قرمز شده است. این نتیجه با نتایج خواص فیزیکی مطابق دارد. همان طور که در بخش خواص فیزیکی بیان شده است افزایش اندازهٔ هندوانه منجر به کاهش چگالی میوه می‌شود و بنابراین رطوبت بافت در اندازهٔ بزرگ کمتر از اندازه کوچک است که همین امر موجب کاهش مدول الاستیسیته بافت نیز شده است.

نتایج به دست آمده در این تحقیق برای هندوانه و مقایسهٔ آن با تحقیقات گذشته در مورد محصولات مشابه مانند خربزه و طالبی نشان می‌دهد که تغییرات مدول الاستیسیته از قسمت بیرونی به سمت داخل در هندوانه بیشتر از تغییرات آن در خربزه و طالبی است. در این تحقیق، نسبت تغییرات مدول الاستیسیته پوست سفید به بافت قرمز برای رقم چارلستون‌گری (E_2/E_1) برابر ۲/۱۸ و نسبت تغییرات مدول الاستیسیته بافت سفید پوست به پوست سبز ($E_{3,4}/E_2$) برابر ۳/۰۱۷ است. این مقادیر برای رقم کریمسون سوئیت به ترتیب ۱/۸۹=(E_2/E_1) و ۲/۷۶=($E_{3,4}/E_2$) است. چن و همکاران (Chen *et al.*, 1996) نسبت مدول الاستیسیته بافت داخلی خربزه را به بافت زیر پوست آن ۱/۹۴۷ و نسبت مدول الاستیسیته پوست را به بافت زیر پوست ۱/۶۱۳ به دست آوردند. نوراین (Nourain, 2005) مقدار نسبت مدول الاستیسیته بافت میانی به بافت داخلی را ۱/۱۶ و نسبت مدول الاستیسیته پوست به بافت میانی را ۱/۳۸ برای طالبی رقم هنگ‌گوا گزارش کرد. مقایسهٔ مدول الاستیسیته قسمت‌های مختلف بافت هندوانه و محصولات مشابه آن مانند خربزه و طالبی نشان می‌دهد که پوست هندوانه به دلیل دارا بودن مدول الاستیسیته بالاتر استحکام بیشتری در بارگذاری دارد و می‌تواند بهتر از بافت‌های داخلی میوه را محافظت کند. به عبارت دیگر بافت‌های داخلی طالبی و خربزه در مقایسه با هندوانه بیشتر در معرض له‌شدگی در اثر بارهای خارجی هستند.

نتیجه‌گیری

- هندوانهٔ رقم چارلستون‌گری نسبت به رقم کریمسون سوئیت چگالی بیشتری دارد. ضریب کرویت و چگالی در هر دو رقم هندوانه با افزایش اندازه، کاهش می‌یابد.
- ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی از قبیل ابعاد، جرم، و حجم در هندوانهٔ رقم کریمسون سوئیت بیش از رقم چالستون‌گری است.

- خواص مکانیکی هندوانه تحت تاثیر انـدازه و رقـم بـه طور معنی‌داری تغییر می‌کند.
- استحکام پوسـت هندوانـه، در جهـت عرضـی بـیش از جهت طولی آن اسـت. بنـابراین احتمـال شـکافتگی در طول خط استوایی هندوانه بیش از جهت نصف‌النهار آن است.
- مدول الاستیسیته بافت قرمز هندوانه بـا افـزایش انـدازه کاهش می‌یابد کـه بـا نتـایج بـه‌دسـت آمـده در بخـش خواص فیزیکی مطابقت دارد.
- پوست هندوانهٔ کریمسون سـوئیت نـسبت بـه بارهـای مکـانیکی، در مقایـسه بـا رقـم چالـستون‌گـری، تحمـل بیشتری دارد.

مراجع

1- **Anon. 1978. United States Standards for Grades of Watermelons. USDA. Washington. D. C.**

2- **Anon. 1996. Specifications of watermelon. ISIRI. No.271. 3rd Ed. (in Farsi)**

3- **Anon. 2003. Compression test of food material of convex shape. ASAE. S368.4 DEC00.**

4- **Anon. 2003. Statistical and Information Dept. of Ministry of Jihad-e-Agriculture Agricultural Statistical Bulletin. Vol. 2. (in Farsi)**

5- **Anon. 2005. FAO. http://www.fao.org.**

6- **Chen, H., De Baerdemaeker, J. and Bellon, V. 1996. Finite element study of the melon for nondestructive sensing of firmness. Tran. of the ASAE. 39(3): 1057-1065.**

7- **Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. Trans. of the ASAE. 15(6):1075-1080**

8- **Diezma-Iglesias, B., Ruiz-Altisent, M. and Barreio, P. 2004. Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. Biosystems Eng. 88(2): 221-230.**

9- **Huff, R. E. 1967. Tensile properties of kennebec potatoes. Trans. of the ASAE. 10(3): 414-419.**

10- **Jarimopas, B., Nunak, T. and Nunak, N. 2005. Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables. Postharvest Biology and Tech. 35, 25-31.**

11- **Laurier, F. C. 2004. Design of a watermelon pulp and juice extraction machine. ASAE/CSAE Annual International Meeting. Canada.**

12- **Masoudi, H. 2004. Investigation of mechanical properties variation of three export varieties of apples during storage. M. Sc. Thesis. Tehran university. (in Farsi)**

13- **Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Food and Agricultural Materials. 2nd Ed. Gordon and Breach Sci. Pub. N. Y.**

14- Nourain, J., Ying Yi-bin, Wang Jian-ping, Rao Xiu-qin, and YU Chao-gang. 2005. Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis. J. of Zhejiang University Sci. 6B (6):483-490.

15- Pitt, R. E. and Chen, H. L. 1983. Time-dependent aspects of strength and rheology of vegetative tissue. Trans. of the ASAE. 26 (4): 1275-1279.

16- Rosenfeld, D. I., Shmulevich, L. and Rosenhouse, G., 1991. Three-Dimensional simulation of acoustic response of fruit for firmness sorting. ASAE Paper. No. 91-6046. st.

17- Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier. Amesterdam.

18- Sugiyama, J. 1998. Melon ripeness monitoring by portable firmness tester. Trans. of the ASAE. 41(1): 121-127.

19- Wang, R., Jiao Qunying, and Wei Deqiang. 2004. On the mechanical damage of grape using finite element analysis. ASAE/CSAE Annual International Meeting. Canada.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.7 /No.28 / Autumn 2006*

Comparing Physical and Mechanical Properties of Two Watermelon Varieties: Charleston gray and Crimson sweet

H. Sadrnia, A. Rajabipour, A. Javadi, A. Jafari and Y. Mostofi

Watermelon is the largest fruit in volume and mass; these characters cause many problems in its transportation and handling. This research performed to determine and compare physical and mechanical properties in different sizes and varieties of watermelon in order to obtain parameters usable in transportation, handling, harvest and storage. A statistical factorial experiments in the form of completely randomize design (2×3) was used to determine the physical properties of watermelon such as mass, volume, dimensions, density, spherical coefficient and geometric mean diameter. Another statistical factorial experiments in the form completely randomize design (2×3×4) was used to determine mechanical properties of watermelon such as stress, strain, elasticity modules and toughness. The results were analyzed by SPSS V.9 software. It is found that increasing watermelon size tends to decrease spherical coefficient and density. The smallest size of Charleston gray had maximum density (0.96gr/cm^3) while the largest size of Crimson sweet had minimum density (0.93gr/cm^3) between treatments. Comparing mechanical properties in two varieties of watermelons showed that the mechanical properties of watermelons are significantly affected by size and variety.

Key words: Mechanical Properties, Physical Properties, Skin, Texture of Agricultural Material, Watermelon