



تعیین و مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم سیب صادراتی^۱

حسن مسعودی*

دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

سید احمد طباطبائی**

دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

علی محمد برقی

استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی واحد علوم و تحقیقات تهران

محمد علی شاه بیک

استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

چکیده

تعیین خواص مختلف سیب‌های تولیدی در کشور جهت استفاده در طراحی ماشین‌های مختلف و بهبود خطوط فرآوری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت ضروری است. در این تحقیق سه رقم سیب صادراتی به نام‌های گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت پس از برداشت در دمای سه تا چهار درجه سانتیگراد به مدت چهار ماه نگهداری شدند. سپس دو سری آزمایش برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی آنها انجام شد. طرح آزمایشی اول در قالب طرح بلوک کامل تصادفی چند مشاهده‌ای در چهار تکرار برای تعیین مشخصات فیزیکی شامل ابعاد، میانگین هندسی قطرها، جرم، حجم، کرویت و جرم مخصوص ظاهری هر سه رقم انجام شد. طرح آزمایشی دوم برای تعیین خواص مکانیکی سیب‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی چند مشاهده‌ای در نه تکرار با پارامتر مستقل شامل سه رقم سیب و متغیرهای وابسته شامل ضریب الاستیسیته ظاهری، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و چقرمگی بود. میانگین و انحراف معیار مقادیر مشخصه‌های فیزیکی سیب‌های گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت به ترتیب برابر

1 این پژوهش مستخرج از طرح "بررسی میزان تغییر خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی در طی انبارداری" به شماره ۷۱۰۹/ک/۰۳۸ می باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است.

* hassanmasoudi@yahoo.com

** atabfar@ut.ac.ir

بودند با: ارتفاع؛ $۲/۷۵ \pm ۳/۲۴$ ، $۷۵/۶۶ \pm ۳/۸۸$ ، $۶۶/۵۸ \pm ۳/۸۸$ میلی‌متر، میانگین هندسی قطرها؛ $۱/۹۸ \pm ۲/۵۲$ ، $۷۵/۸۶ \pm ۲/۷۵$ ، $۷۹/۷۰ \pm ۲/۴۲$ ، $۷۱/۴۴ \pm ۲/۴۲$ میلی‌متر، ضریب کرویت؛ $۱/۰۳ \pm ۱/۰۳$ ، $۹۷/۴۶ \pm ۱/۶۲$ ، $۹۶/۰۱ \pm ۱/۵۳$ ، $۹۵/۴۸ \pm ۱/۵۳$ درصد، جرم؛ $۱۳/۴۲ \pm ۱۹۸/۲$ ، $۱۸/۵۲ \pm ۲۳/۱۱$ ، $۱۲/۳۴ \pm ۱۶۷/۱$ گرم، حجم؛ $۱۶/۸۶ \pm ۲۴۷/۹$ ، $۲۴۷/۹ \pm ۱۶/۸۶$ ، $۲۳/۴۹ \pm ۲۸۴/۱$ ، $۲۰۳/۷ \pm ۱۶/۴$ سی سی و جرم مخصوص ظاهری؛ $۰/۰۱۲ \pm ۰/۸۰۰$ ، $۰/۰۱۹ \pm ۰/۸۱۴$ ، $۰/۰۱۸ \pm ۰/۸۲۱$ گرم بر سی سی. میانگین ابعاد هندسی، ارتفاع، میانگین هندسی قطرها، جرم و حجم در هر سه رقم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. مقدار جرم مخصوص ظاهری و ضریب کرویت ارقام رد دلشیز و گرانی اسمیت با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی با رقم گلدن دلشیز اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد داشتند.

میانگین و انحراف معیار مقادیر خواص مکانیکی سیب‌های گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت به ترتیب برابر بودند با: ضریب الاستیسیته ظاهری؛ $۰/۳۴ \pm ۱/۳۶$ ، $۰/۵۶ \pm ۱/۶۰$ ، $۰/۷۰ \pm ۲/۴۹$ مگا پاسکال، تنش گسیختگی؛ $۰/۰۶۱ \pm ۰/۱۹$ ، $۰/۰۴۶ \pm ۰/۱۰۲$ ، $۰/۰۴۹ \pm ۰/۲۵$ مگا پاسکال، کرنش گسیختگی؛ $۲/۸۶ \pm ۱۲/۴۶$ ، $۲/۱۷ \pm ۶/۲۷$ ، $۲/۱۹ \pm ۱۰/۳۳$ درصد، انرژی گسیختگی؛ $۶/۰۸ \pm ۱۳/۸۰$ ، $۳/۳۷ \pm ۴/۳۱$ ، $۴/۵۹ \pm ۱۶/۰۹$ میلی ژول و چقرمگی؛ $۰/۰۰۵ \pm ۰/۰۱۲$ ، $۰/۰۰۳ \pm ۰/۰۰۴$ ، $۰/۰۰۴ \pm ۰/۰۱۴$ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب. تاثیر رقم بر میانگین تمامی صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود. میانگین تنش و کرنش گسیختگی در هر سه رقم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. مقدار انرژی گسیختگی و چقرمگی ارقام گلدن دلشیز و گرانی اسمیت با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند و مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری ارقام گلدن دلشیز و رد دلشیز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند.

واژگان کلیدی: سیب، مشخصه‌های فیزیکی، خواص مکانیکی.

مقدمه

هر چند طبق آمارهای منتشره ایران به عنوان هفتمین کشور تولید کننده و دهمین کشور صادر کننده سیب در جهان شناخته شده است، ولی به دلیل مشخص نبودن پارامترهای مختلف فیزیکی و مکانیکی ارقام سیب تولیدی در ایران، این محصول با درصد تلفات بیشتر و کیفیت پایین‌تری نسبت به استانداردهای جهانی به دست مصرف کننده می‌رسد. لذا تعیین خواص مختلف سیب‌های تولیدی در کشور جهت استفاده در طراحی ماشین‌های برداشت، حمل و نقل و فرآوری و بهبود خطوط فرآوری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت تولید ضروری است.

در کشورهای پیشرفته و صنعتی دنیا از جمله ایالات متحده آمریکا تحقیقات فراوانی در زمینه خواص مختلف سیب‌های تولیدی در آن مناطق انجام شده است، که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود.

آبوت و لو^۱ (۱۹۹۶) آزمایشاتی را برای تعیین تاثیر رسیدگی، جهت و موقعیت نمونه گیری بر روی چهار خاصیت مکانیکی شامل تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری سه رقم سیب دلشیز، گلدن دلشیز و رم بیوتی انجام دادند. نتایج آزمایشات نشان داد که اثر متقابل رقم \times موقعیت معنی‌دار نبوده است. سیب‌های دلشیز در محیط خود تغییرات بیشتری نسبت به سیب‌های گلدن دلشیز و رم بیوتی داشتند. خواص نامتجانس سیبها بیشتر در قسمتهای میانی آنها دیده شد تا در نقاط پائینی و فوقانی‌شان (۳). فریدلی و آدریان^۲ (۱۹۹۶) برخی از خواص مکانیکی هلو، گلابی، زردآلو و دو رقم سیب به نامهای مکینتاش و گراونستین را تعیین کردند (۱۲). فلتچر^۳ (۱۹۷۱) خواص مکانیکی دو رقم سیب شامل بلادوین و نورثرن اسپای را در دو حالت بار

1. J.A. Abbott & R.Lu
2. R.B.Fridley P.A.Adrian
3. S.W.Fletcher

گذاری استاتیکی و دینامیکی تعیین نمود (۱۱). چاپل و هامان^۱ (۱۹۶۸) مقادیر ضریب پواسون و ضریب یانگ را برای سه رقم سیب تازه به نام‌های رد دلشیز، وین سپ و گلدن دلشیز تعیین نمودند (۹). رودت و همکاران^۲ (۱۹۹۱) عکس‌العمل ارقام مختلف سیب به بار گذاری را شبیه سازی کردند (۱۹). گارسیا و همکاران^۳ (۱۹۹۵) در تحقیقی فاکتورهای موثر بر خواص مکانیکی و میزان آسیب دیدگی سیب‌ها و گلابی‌ها را بررسی کردند (۱۳). باجما و همکاران^۴ (۲۰۰۰) عوامل موثر بر خواص مکانیکی بافت سیب رقم رد دلشیز را در حالت دینامیکی مورد بررسی قرار دادند (۷). پانگ و همکاران^۵ (۱۹۹۲) صدمه وارده به سیب‌ها در اثر تماس با سیب‌های مجاور را بررسی کردند (۱۸). باریتله و همکاران^۶ (۲۰۰۰) تاثیر دما و فشار مایع داخل سلولی را بر تنش و کرنش گسیختگی چهار رقم سیب به نامهای فوجی، رم، رد دلشیز و گلدن دلشیز بررسی نمودند (۸). محسنین و همکاران^۷ (۱۹۷۲-۱۹۶۲) در تحقیقات فراوانی خواص مختلف فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی از جمله ارقام مختلف سیب را تعیین نموده‌اند (۴، ۱۰، ۱۴، ۱۵ و ۱۶).

درباره تعیین خواص مکانیکی ارقام مختلف سیب تولیدی در ایران تحقیقات گزارش شده‌ای مشاهده نگردید و تنها در زمینه خواص فیزیکی برخی ارقام تحقیقاتی انجام شده است. خدابنده‌لو (۱۳۷۸) خواص فیزیکی سیب‌های رد دلشیز و گلدن دلشیز را که از چهار منطقه کشور شامل دماوند، ارومیه، مراغه و سمیرم جمع آوری شده بودند، تعیین نمود. بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری متعلق به سیب رد دلشیز دماوند با میانگین $1/27 \text{ g/cc}$ و کمترین مقدار آن برای سیب گلدن دلشیز مراغه با میانگین $0/67 \text{ g/cc}$ به دست آمد. بیشترین مقدار ضریب کرویت متعلق به سیب‌های گلدن دلشیز و رد دلشیز مراغه با میانگین $0/97$ و کمترین مقدار آن برای سیب رد دلشیز ارومیه با میانگین $0/94$ به دست آمد. در بین سیب‌های گلدن دلشیز از نظر ابعاد، جرم، حجم، سطح رویه و سطح تصویر سیب مراغه دارای بیشترین مقادیر و سیب سمیرم دارای کمترین مقادیر بودند. برای موارد مذکور در بین سیب‌های رد دلشیز، سیب‌های دماوند دارای بیشترین مقادیر و سیب‌های سمیرم دارای کمترین مقادیر بودند (۱).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق سه رقم سیب به نامهای گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت که از ارقام صادراتی سیب‌های تولیدی در کشور می‌باشند، در مهر ماه سال ۸۲ از شرکت کشت و صنعت سرخدشت دماوند نمونه گیری شده و پس از انتقال به سردخانه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی در درون جعبه‌های چوبی و در دمای $4^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$ به مدت چهار ماه (۱۱۷ روز) نگهداری شدند. پس از طی این دوره سیب‌ها از سردخانه خارج و به آزمایشگاه منتقل شدند و در دمای محیط آزمایشگاه (22°C) دو سری آزمایش برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی آنها انجام شد. میانگین رطوبت بر پایه تر سیب‌های گلدن دلشیز، رد دلشیز و گرانی اسمیت به ترتیب $82/9$ ، $83/8$ و $84/4$ درصد بود.

آزمایشهای سری اول در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار و نه مشاهده در هر تکرار با پارامتر مستقل شامل سه رقم سیب و متغیرهای وابسته شامل ابعاد، میانگین هندسی قطرها، جرم، حجم، کرویت و جرم مخصوص ظاهری جهت تعیین مشخصه‌های فیزیکی هر سه رقم انجام شد. روش تعیین و محاسبه این صفات به شرح زیر می‌باشد (۱۷). ابعاد هندسی سیب‌ها در سه جهت عمود بر هم a ، b ، c که به ترتیب بزرگترین قطر، بزرگترین قطر عمود بر a و بزرگترین قطر عمود بر b می‌باشند، به وسیله یک عدد کولیس با دقت $0/02 \text{ mm}$ تعیین شده و مقادیر میانگین هندسی قطرها و ضریب کرویت از روابط زیر محاسبه گردید:

1. T.W.Chappell & D.D. Hamann
2. A.C.Roudot et al.
3. J.L.Garcia et al.
4. R.W.Bajema et al.
- 5 W.Pang et al.
- 6 A.L.Baritelle et al.
- 7 N.N.Mohsenin et al.

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

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

برای تعیین جرم سیبها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم استفاده شد، برای تعیین حجم و جرم مخصوص ظاهری سیبها از روش جابجائی سیال استفاده شد (شکل - ۱). بدین صورت که ابتدا هر سیب در هوا وزن می‌شد و پس از غوطه ورکردن آن در درون آب با دمای ۲۰ درجه، عدد نشان داده شده به وسیله ترازو قرائت شده و حجم و جرم مخصوص آن از روابط زیر محاسبه می‌گردید:

$$(۳) \text{ (جرم ظرف + جرم آب) - (جرم ظرف + جرم آب + جرم سیب غوطه ور) = جرم آب جابجا شده}$$

$$(۴) \text{ (جرم مخصوص آب) / (جرم آب جابجا شده) = حجم سیب}$$

$$(۵) \text{ (جرم آب جابجا شده) / (جرم مخصوص آب جرم سیب) = جرم مخصوص ظاهری سیب}$$

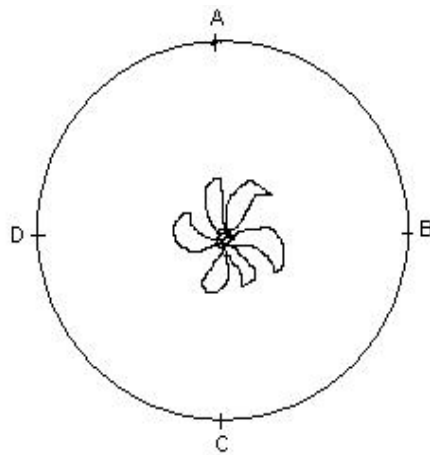
که در این روابط مقادیر جرم بر حسب گرم، حجم بر حسب سانتیمتر مکعب، جرم مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سی سی بوده و جرم مخصوص آب برابر یک گرم بر سی سی در نظر گرفته شد.



شکل ۱. اندازه گیری حجم و جرم مخصوص ظاهری سیبها به روش جابجائی سیال

برای تعیین خواص مکانیکی سیبها از ماشین تست یونیورسال هونسفیلد مدل اچ تی ای^۱ ساخت کشور انگلیس با نیرو سنجی به ظرفیت ۵ kN متعلق به بخش صنایع غذایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (شکل - ۲) و آزمایش تک محوری استفاده شد (۴). در انجام این آزمایشات از طرح آماری کاملاً تصادفی در نه تکرار و چهار مشاهده در هر تکرار با پارامتر مستقل شامل سه رقم سیب و متغیرهای وابسته شامل ضریب الاستیسیته ظاهری، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و چقرمگی استفاده شد. آزمایشهای مکانیکی روز دوم انجام آزمایشات و در حالیکه سیبها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه (۲۲ درجه سانتیگراد) مانده و با محیط هم دما شده بودند، به شرح زیر انجام شد.

1 HTE Hounsfield- England



شکل ۳. نقاط نمونه برداری روی هر سیب



شکل ۲. ماشین تست یونیورسال

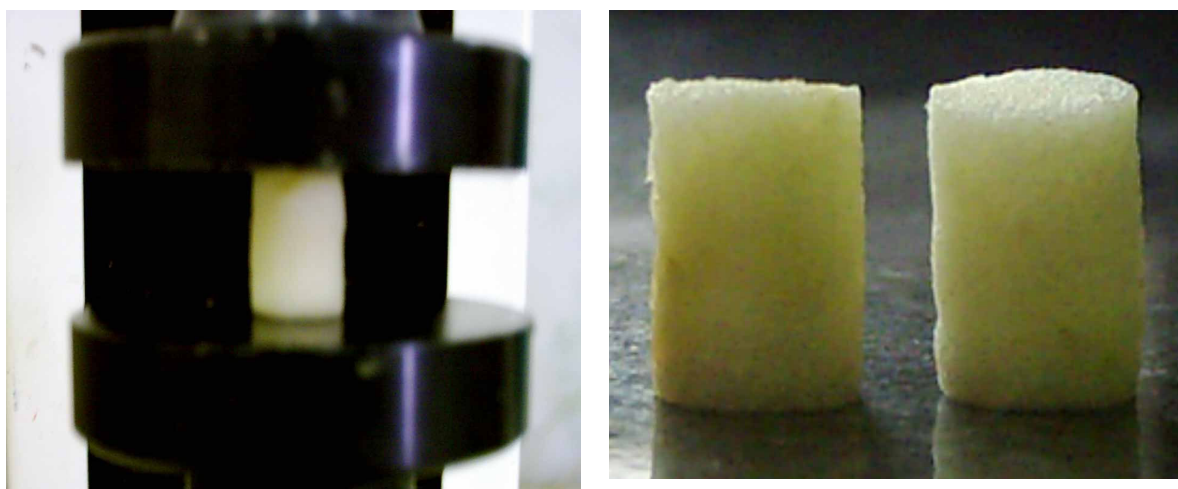
از بافت هر سیب چهار نمونه به شکل استوانه با میانگین قطر ۱۰ میلی‌متر و میانگین ارتفاع ۱۵ میلی‌متر تهیه شد و میانگین مقادیر به دست آمده برای این چهار نمونه به عنوان مقدار آن خاصیت در هر سیب در نظر گرفته شد. برای تهیه نمونه‌ها از روش پیشنهادی باجما و همکاران^۱ (۱۹۹۸) استفاده شد (۶). ابتدا مطابق شکل (۳) چهار نقطه A, B, C, D که به صورت متقارن بر روی خط استوای سیب قرار داشتند، به عنوان محل‌های نمونه‌گیری تعیین شدند. سپس نمونه‌گیر استوانه‌ای که به همین منظور ساخته شده بود، به سه نظام یک دستگاه دریل برقی دستی بسته شده و دریل بر روی یک عدد پایه کوچک ثابت گردید. با قرار دادن نوک نمونه‌گیر بر روی هر کدام از نقاط، دریل روشن شده و سیب به صورت آهسته به سمت بالا حرکت داده شد. با نفوذ نمونه‌گیر در درون بافت سیب، نمونه‌ای به شکل استوانه با قطر متوسط ۱۰ میلی‌متر از بافت سیب گرفته شده و در درون نمونه‌گیر قرار می‌گرفت، که برای خارج کردن آن از داخل نمونه‌گیر از فشار باد استفاده شد (شکل - ۴). بدین ترتیب تعداد نمونه‌های تهیه شده از هر سیب چهار عدد و از هر رقم ۳۶ عدد و مجموع نمونه‌های مورد آزمایش از هر سه رقم ۱۰۸ عدد بود.



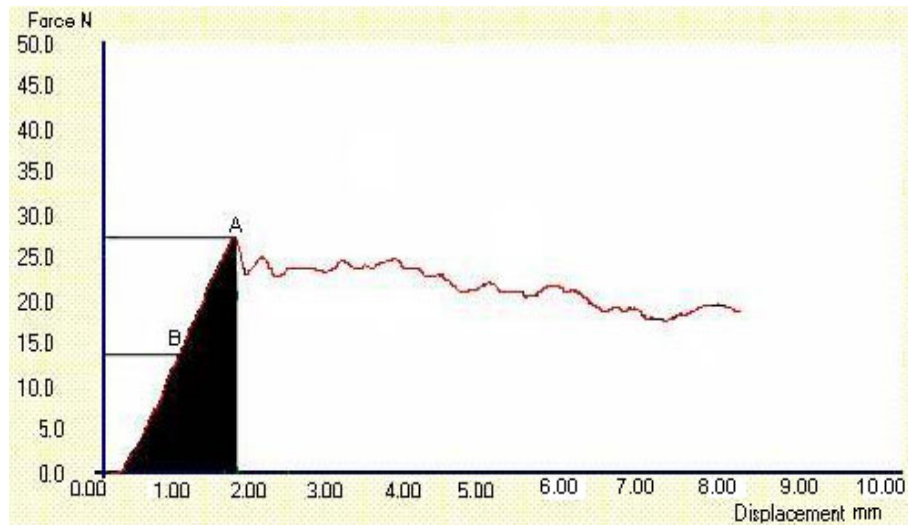
شکل ۴. نمونه‌گیر استوانه‌ای سیب (راست) نحوه نمونه‌گیری (چپ)

برای برش نمونه‌ها به طول مورد نظر از یک عدد پایه تفلونی استفاده شد، که دارای دیواره‌ای به ضخامت ۱۵ میلی‌متر و سوراخهائی به قطر ۱۰ میلی‌متر بود. با قرار دادن هر یک از نمونه‌های استوانه‌ای سیب در درون سوراخه‌های پایه تفلونی با استفاده از یک عدد تیغ جراحی تیز نمونه از دو طرف به صورت کاملاً صاف و تخت برش داده شد. بدین ترتیب نمونه‌های استوانه‌ای از بافت سیب برای انجام آزمایش آماده بودند (شکل - ۵).

نمونه‌های تهیه شده مطابق شکل (۵) توسط ماشین تست یونیورسال در بین دو عدد صفحه تخت فولادی تحت بارگذاری قرار گرفتند و به طور همزمان نمودار نیرو - تغییر شکل برای هر نمونه در نرم افزار رایانه‌ای مربوطه ترسیم شد. سپس از روی این نمودارها مقادیر مورد نیاز برای محاسبه خواص مکانیکی استخراج گردید. در تمام آزمایشات سرعت بار گذاری نمونه‌ها ۲۵/۴ میلی‌متر در دقیقه (۵)، حداکثر تغییر شکل آنها هشت میلی‌متر و دمای محیط انجام آزمایش ۲۲ - ۲۰ درجه سانتیگراد بود. نقطه تسلیم^۱ در محصولات کشاورزی نقطه‌ای از نمودار نیرو - تغییر شکل است که در آن با افزایش جابجائی مقدار نیرو کاهش یافته و یا تغییری نمی‌کند (۵). شکل (۶) نمونه‌ای از نمودارهای نیرو - تغییر شکل به دست آمده از آزمایش تک محوری برای سیب گرانی اسمیت و نقطه تسلیم مربوطه (نقطه A) را نشان می‌دهد. مقادیر خواص مختلف مکانیکی برای هر کدام از نمونه‌ها با داشتن مقدار نیرو و تغییر شکل برای نقاط A و B که به ترتیب نقاط مربوط به حد تسلیم و حد الاستیک (که در اینجا ۵۰ درصد حد تسلیم در نظر گرفته شده است (۳)) می‌باشند، به صورت زیر محاسبه گردید (۱۷).



شکل ۵. نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده از بافت سیب، پس از نمونه‌گیری (راست) و در حین بارگذاری (چپ)



شکل ۶. نمودار نیرو- تغییر شکل بدست آمده از آزمایش تک محوری برای سیب گرانی اسمیت و سطح زیر منحنی برای محاسبه انرژی گسیختگی

تنش گسیختگی از رابطه زیر به دست آمد:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (۶)$$

که در این رابطه؛ σ تنش گسیختگی بر حسب MPa، F نیروی نقطه تسلیم بر حسب N، d قطر نمونه‌ها بر حسب mm و A سطح مقطع نمونه‌ها بر حسب mm^2 می‌باشند.

کرنش گسیختگی نیز برای هر یک از نمونه‌ها از رابطه زیر به دست آمد:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_1}{L} \quad (۷)$$

که در این رابطه؛ ε کرنش گسیختگی بر حسب $\frac{mm}{mm}$ ، ΔL_1 میزان تغییر طول نمونه در نقطه تسلیم بر حسب mm و L = طول نمونه‌ها بر حسب mm می‌باشند.

انرژی گسیختگی (بر حسب میلی ژول) نمونه‌ها برابر با سطح زیر نمودار نیرو - تغییر شکل از مبدا مختصات تا نقطه تسلیم می‌باشد (شکل ۶). در این تحقیق این سطح به وسیله نرم‌افزار فوتوشاپ^۱ نسخه هفت انتخاب و در نرم‌افزار سطح سنج^۲ که به منظور محاسبه سطوح طراحی شده، محاسبه گردید.

ضریب الاستیسیته ظاهری نمونه‌ها نیز با معلوم بودن سطح مقطع و طول آنها از رابطه زیر به دست آمد:

$$E = \frac{PL}{A\Delta L_2} \quad (۸)$$

که در این رابطه؛ E = ضریب الاستیسیته ظاهری بر حسب MPa، P = نیروی حد الاستیک بر حسب N، ΔL_2 = مقدار تغییر طول نمونه در حدالاستیک بر حسب mm، L = طول اولیه نمونه‌ها بر حسب mm و A = سطح مقطع نمونه‌ها بر حسب mm^2 می‌باشند.

1. Photoshop V.7
2. Areameter

برای تعیین میزان چقرمگی هر یک از نمونه‌ها، مقدار انرژی گسیختگی آنها بر حجم نمونه‌ها تقسیم شده و مقدار چقرمگی بر حسب mJ/mm^3 تعیین گردید. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم افزار سس^۱ و عملیات آماده سازی داده‌ها و تعیین مقادیر توسط نرم‌افزار اکسل^۲ انجام شد.

نتایج و بحث

۱. مشخصه‌های فیزیکی سیب‌ها :

جدول شماره (۱) مقادیر مربوط به پارامترهای فیزیکی برای سه رقم سیب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار میانگین هندسی قطرها برای رقم رد دلشیز با متوسط $79/70$ میلیمتر و کمترین آن برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $71/44$ میلیمتر می‌باشد. بیشترین مقدار ارتفاع برای رقم رد دلشیز با متوسط $75/66$ میلیمتر و کمترین آن برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $66/58$ میلیمتر می‌باشد. بیشترین مقدار ضریب کرویت برای رقم گلدن دلشیز با متوسط $97/46$ درصد و کمترین آن برای رقم گرانی اسمیت برابر $95/48$ درصد می‌باشد. بیشترین مقدار جرم برای رقم رد دلشیز برابر $231/1$ گرم و کمترین آن برای رقم گرانی اسمیت برابر $167/1$ گرم می‌باشد. بیشترین مقدار حجم برای رقم رد دلشیز با متوسط $284/1$ سی سی و کمترین آن برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $203/7$ سی سی می‌باشد. بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $0/821$ گرم بر سی سی و کمترین آن برای رقم گلدن دلشیز برابر $0/800$ گرم بر سی سی می‌باشد. جدول شماره (۲) نتایج آنالیز واریانس خواص فیزیکی برای هر سه رقم سیب را نشان می‌دهد. پیداست که تاثیر رقم بر میانگین تمامی مقادیر پارامترهای فیزیکی در سطح یک درصد معنی‌دار است. مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و ضریب تغییرات (C.V.) پارامترهای مختلف نیز در این جدول دیده می‌شود. جدول شماره (۳) نیز نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌های پارامترهای فیزیکی هر سه رقم سیب را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، میانگین ابعاد هندسی، ارتفاع، میانگین هندسی قطرها، جرم و حجم در هر سه رقم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارد. مقدار ضریب کرویت و جرم مخصوص ظاهری ارقام رد دلشیز و گرانی اسمیت با هم اختلاف معنی‌داری نداشته ولی با رقم گلدن دلشیز اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد دارد. نکته قابل ذکر این جدول این است که مقدار ضریب کرویت رقم گلدن دلشیز از دو رقم دیگر بیشتر بوده و لذا در گروه a قرار گرفته است، درحالی‌که مقدار جرم مخصوص ظاهری آن از دو رقم دیگر کمتر بوده و در گروه b قرار گرفته است. نتایج به دست آمده در این تحقیق از لحاظ اختلاف مقادیر مشخصه‌های فیزیکی ارقام رد دلشیز و گلدن دلشیز با نتایج آزمایشات خدابنده لو (۱۳۷۸) مطابقت دارد، ولی ضریب تغییرات پارامترهای مختلف در آزمایشات ایشان بیشتر می‌باشد، که بیانگر یکنواختی بودن سیب‌های آزمایشی ما نسبت به سیب‌های آزمایشی ایشان است.

جدول شماره (۱). مقادیر پارامترهای فیزیکی برای هر سه رقم سیب

رقم	پارامترهای فیزیکی	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
گلدن دلشیز	a(mm)	۷۷/۰۴	۸۱/۳۰	۷۰/۵۶	۲/۰۲۵	۲/۶۲۸
	b(mm)	۷۵/۳۶	۸۰/۸۴	۶۹/۰۸	۲/۲۰۴	۲/۹۲۴
	c(mm)	۷۲/۹۲	۷۸/۵۴	۶۸/۵۸	۲/۳۲۳	۳/۱۸۵
	ارتفاع(mm)	۷۳/۶۰	۷۸/۹۰	۶۸/۵۸	۲/۷۵۱	۳/۷۳۷
	(mm) میانگین هندسی قطرها	۷۵/۸۶	۷۹/۸۸	۶۹/۵۴	۱/۹۸	۲/۶۳۷
	(%) ضریب کرویت	۹۷/۴۶	۹۹/۷	۹۵/۴۲	۱/۰۳۱	۱/۰۵۸
	(g) جرم	۱۹۸/۲	۲۳۱/۶	۱۶۳/۷	۱۳/۴۲	۶/۷۷۳
	(cc) حجم	۲۴۷/۹	۲۹۴/۱	۲۰۴/۹	۱۶/۸۶	۶/۸۰۱
	جرم مخصوص ظاهری (g/cc)	۰/۸۰۰	۰/۸۳۴	۰/۷۷۱	۰/۰۱۲	۱/۴۶
	رد دلشیز	a(mm)	۸۲/۲۴	۸۸/۲۴	۷۳/۵۸	۳/۰۸۴
b(mm)		۷۹/۴۲	۸۴/۹۴	۷۵/۱۸	۲/۸۵	۳/۵۸۹
c(mm)		۷۵/۳۴	۸۱/۳۶	۷۰/۴۶	۲/۸۲۹	۳/۷۵۴
ارتفاع(mm)		۷۵/۶۶	۸۴/۶۶	۷۰/۴۶	۳/۲۳۶	۴/۲۷۶
(mm) میانگین هندسی قطرها		۷۹/۷۰	۸۴/۷۲	۷۴/۱۰	۲/۵۱۹	۳/۱۹۱
(%) ضریب کرویت		۹۶/۰۱	۱۰۰/۷	۹۳/۰۸	۱/۶۱۵	۱/۶۸۲
(g) جرم		۲۳۱/۱	۲۶۷/۴	۱۹۹/۷	۱۸/۵۲	۸/۰۱۴
(cc) حجم		۲۸۴/۱	۳۳۰/۴	۲۴۳/۴	۲۳/۴۹	۸/۲۶۶
جرم مخصوص ظاهری (g/cc)		۰/۸۱۴	۰/۸۶۳	۰/۷۶	۰/۰۱۹	۲/۳۵۶
گرانای اسمیت		a(mm)	۷۴/۰۴	۷۹/۲۰	۶۹/۷۴	۲/۴۹۵
	b(mm)	۷۱/۹۶	۷۷/۱۰	۶۷/۶۰	۲/۴۲۹	۳/۳۷۵
	c(mm)	۶۶/۳۰	۷۶/۴۴	۶۰/۸۴	۳/۳۰۱	۴/۹۷۷
	ارتفاع(mm)	۶۶/۵۸	۷۷/۱۰	۶۰/۸۴	۳/۸۸۴	۵/۸۳۲
	(mm) میانگین هندسی قطرها	۷۱/۴۴	۷۷/۳۲	۶۶/۲۰	۲/۴۱۷	۳/۴۲
	(%) ضریب کرویت	۹۵/۴۸	۹۸/۵۷	۹۲/۶۶	۱/۵۳۲	۱/۶۰۵
	(g) جرم	۱۶۷/۱	۱۹۴/۷	۱۳۹/۶	۱۲/۳۴	۷/۳۸۴
	(cc) حجم	۲۰۳/۷	۲۴۳/۴	۱۷۱/۱	۱۶/۴	۸/۰۴۹
	جرم مخصوص ظاهری (g/cc)	۰/۸۲۱	۰/۸۵۴	۰/۷۷	۰/۰۱۸	۲/۱۸۹

جدول شماره (۲). نتایج آنالیز واریانس مقادیر خواص فیزیکی برای هر سه رقم سیب

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات	خاصیت فیزیکی
۸۱/۱۳ ^{**}	۶۲۰/۰۱	۱۲۴۰/۰۲	۲	رقم سیب	a
۴/۸۴ ^{ns}	۳۷/۰۰	۱۱۰/۹۹	۳	تکرار	
۱/۳۷ ^{ns}	۷/۶۴	۴۵/۸۵	۶	خطا	
	۵/۶۰	۵۳۷/۴۴	۹۶	خطای نمونه	
		۱۹۳۴/۳۱	۱۰۷	کل	
R ² = ۷۲/۲۲ %		C.V. = ۳/۰۴			
۶۱/۴۹ ^{**}	۵۰۰/۳۵	۱۰۰۰/۷۱	۲	رقم سیب	b

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات	خاصیت فیزیکی
۳/۳۸ ^{ns}	۲۷/۵۱	۸۲/۵۲	۳	تکرار	
۱/۴۸ ^{ns}	۸/۱۴	۴۸/۸۲	۶	خطا	
	۵/۵۲	۵۲۹/۵۶	۹۶	خطای نمونه	
		۱۶۶۱/۶۱	۱۰۷	کل	
$R^2 = ۶۸/۱۳\%$		$C.V. = ۳/۱۱$			
۱۳۱/۵۸ ^{**}	۷۸۸/۰۰	۱۵۷۶/۰۱	۲	رقم سیب	c
۳/۲۰ ^{ns}	۱۹/۱۴	۵۷/۴۳	۳	تکرار	
۰/۷۶ ^{ns}	۵/۹۹	۳۵/۹۳	۶	خطا	
	۷/۸۸	۷۵۶/۸۰	۹۶	خطای نمونه	
		۲۴۲۶/۱۲	۱۰۷	کل	
$R^2 = ۶۸/۸۱\%$		$C.V. = ۳/۹۳$		** اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد	
۱۰۲/۰۵ ^{**}	۸۱۴/۷۸	۱۶۲۹/۵۷	۲	رقم سیب	ارتفاع
۲/۶۴ ^{ns}	۲۱/۰۷	۶۳/۲۱	۳	تکرار	
۰/۷۳ ^{ns}	۷/۹۸	۴۷/۹۱	۶	خطا	
	۱۰/۹۲	۱۰۴۸/۱۳	۹۶	خطای نمونه	
		۲۷۸۸/۸۱	۱۰۷	کل	
$R^2 = ۶۲/۴۲\%$		$C.V. = ۴/۵۹$			
۱۱۷/۰۴ ^{**}	۶۱۴/۳۲	۱۲۲۸/۶۴	۲	رقم سیب	میانگین هندسی قطرها
۵/۰۲ ^{ns}	۲۶/۳۴	۷۹/۰۳	۳	تکرار	
۱/۱۱ ^{ns}	۵/۲۵	۳۱/۴۹	۶	خطا	
	۴/۷۲	۴۵۳/۲۱	۹۶	خطای نمونه	
		۱۷۹۲/۳۷	۱۰۷	کل	
$R^2 = ۷۴/۷۱\%$		$C.V. = ۲/۹۰$			
۲۴/۴۱ ^{**}	۳۸/۰۱	۷۶/۰۳	۲	رقم سیب	ضریب کرویت
۰/۵۸ ^{ns}	۰/۹۰	۲/۷۱	۳	تکرار	
۰/۷۵ ^{ns}	۱/۵۶	۹/۳۴	۶	خطا	
	۲/۰۷	۱۹۸/۶۴	۹۶	خطای نمونه	
		۲۸۶/۷۳	۱۰۷	کل	
$R^2 = ۳۰/۷۲\%$		$C.V. = ۱/۴۹$		** اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد	
۲۳۶/۴۱ ^{**}	۳۶۸۲۲/۵۲	۷۳۶۴۷/۰۴	۲	رقم سیب	جرم
۷/۳۹ ^{ns}	۱۱۵۱/۶۱	۳۴۵۴/۸۴	۳	تکرار	
۰/۷۸ ^{ns}	۱۵۵/۷۶	۹۳۴/۵۷	۶	خطا	
	۲۰۰/۵۵	۱۹۲۵۲/۴۸	۹۶	خطای نمونه	
		۹۷۲۸۸/۹۳	۱۰۷	کل	
$R^2 = ۸۰/۲۱\%$		$C.V. = ۷/۱۲$			
۲۳۳/۷۶ ^{**}	۵۸۲۹۱/۲۸	۱۱۶۵۸۲/۵۶	۲	رقم سیب	حجم
۴/۶۴ ^{ns}	۱۱۵۶/۴۵	۳۴۶۹/۳۵	۳	تکرار	
۰/۷۱ ^{ns}	۲۴۹/۳۷	۱۴۹۶/۲۱	۶	خطا	
	۳۵۱/۰۰۱	۳۳۶۹۶/۱۱	۹۶	خطای نمونه	
		۱۵۵۲۴۴/۲۳	۱۰۷	کل	

خاصیت فیزیکی	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
					$R^2 = 78/29 \%$
جرم مخصوص ظاهری	رقم سیب	۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۱۱/۹۸ ^{**}
	تکرار	۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۴/۲۴ ^{ns}
خاصیت فیزیکی	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
					$R^2 = 40/02 \%$
	خطا	۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۱/۵۰ ^{ns}
	خطای نمونه	۹۶	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۲	
	کل	۱۰۷	۰/۰۳۷		
					C.V. = 1/89

** اختلاف معنی دار در سطح یک درصد

جدول شماره (۳). نتایج مقایسه میانگین های پارامترهای فیزیکی هر سه رقم سیب به روش آزمون دانکن

رقم	a (mm)	b (mm)	c (mm)	ارتفاع (mm)	میانگین هندسی قطرها (mm)	ضریب کرویت (%)	جرم (g)	حجم (cc)	جرم مخصوص ظاهری (g/cc)
گلدن دلشیز	۷۷/۰۴ b	۷۵/۳۶ b	۷۲/۹۲ b	۷۳/۶۰ b	۷۵/۸۶ b	۹۷/۴۶ a	۱۹۸/۲ b	۲۴۷/۹ b	۰/۸۰۰ b
رد دلشیز	۸۲/۲۴ a	۷۹/۴۲ a	۷۵/۳۴ a	۷۵/۶۶ a	۷۹/۷۰ a	۹۶/۰۱ b	۲۳۱/۱ a	۲۸۴/۱ a	۰/۸۱۴ a
گرانی اسمیت	۷۴/۰۴ c	۷۱/۹۶ c	۶۶/۳۰ c	۶۶/۵۸ c	۷۱/۴۴ c	۹۵/۴۸ b	۱۶۷/۱ c	۲۰۲/۷ c	۰/۸۲۱ a

توضیح: میانگین های دارای حرف مشترک، از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد با هم ندارند.

۲. خواص مکانیکی سیبها

جدول شماره (۴) مقادیر خواص مکانیکی سه رقم سیب شامل ضریب الاستیسیته ظاهری، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و چقرمگی را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، بیشترین مقدار تنش گسیختگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $0/25 \text{MPa}$ و کمترین آن برای رقم رد دلشیز با متوسط $0/10 \text{MPa}$ می باشد. بیشترین مقدار کرنش گسیختگی برای رقم گلدن دلشیز با متوسط $12/46$ درصد و کمترین آن برای رقم رد دلشیز با متوسط $6/27$ درصد می باشد. بیشترین مقدار انرژی گسیختگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $16/09$ میلی ژول و کمترین آن برای رقم رد دلشیز با متوسط $4/31$ میلی ژول می باشد. بیشترین مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $2/49 \text{MPa}$ و کمترین آن برای رقم گلدن دلشیز با متوسط $1/36 \text{MPa}$ می باشد. بیشترین مقدار چقرمگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $0/014 \text{mJ/mm}^3$ و کمترین آن برای رقم رد دلشیز با متوسط $0/004 \text{mJ/mm}^3$ می باشد.

جدول شماره (۵) نتایج آنالیز واریانس خواص مکانیکی را برای هر سه رقم سیب نشان می دهد. همانگونه که دیده می شود، تاثیر رقم بر میانگین تمامی مقادیر در سطح یک درصد کاملاً معنی دار است، یعنی مقادیر خواص مکانیکی مورد بررسی در ارقام مختلف با یکدیگر متفاوتند که این با نتایج آزمایشات آبوت و لو (۱۹۹۶) (۳) مطابقت دارد. مقادیر ضریب همبستگی (R^2) و ضریب تغییرات (C.V.) خواص مختلف نیز در این جدول داده شده است. جدول شماره (۶) نیز نتایج مقایسه میانگین های خواص مکانیکی هر سه رقم سیب را به روش آزمون دانکن نشان می دهد. میانگین تنش گسیختگی و کرنش گسیختگی در هر سه رقم سیب با یکدیگر اختلاف معنی داری دارند. مقدار انرژی گسیختگی و چقرمگی ارقام گلدن دلشیز و گرانی اسمیت با هم اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد ندارد، ولی با رقم رد دلشیز اختلاف معنی داری نشان داد. مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری ارقام رد دلشیز و گلدن دلشیز نیز با هم اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد ندارد، ولی با رقم گرانی اسمیت اختلاف معنی داری دارد.

از آنجائیکه مقادیر تنش گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری سیب‌های رقم گرانی اسمیت از دو رقم دیگر بیشتر می‌باشد، لذا می‌توان گفت که این رقم نسبت به دو رقم دیگر سفتی بیشتری داشته و در برابر نیروها و بارهای مرده وارده مقاوم‌تر است. دیده می‌شود که رقم رد دلش از لحاظ کلیه خواص مکانیکی دارای مقادیر کمتری نسبت به دو رقم دیگر می‌باشد، لذا می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که تحمل آن در برابر بار گذاری خارجی کمتر بوده و در مقابل نیروها و تنش‌های اعمالی پایداری کمتری داشته و آسیب پذیرتر می‌باشد. از طرفی چون رقم گلدن دلش از دو رقم دیگر می‌باشد، لذا به نظر می‌رسد انعطاف پذیری آن در برابر نیروهای اعمالی بیشتر باشد.

جدول شماره (۴). مقادیر خواص مکانیکی برای هر سه رقم سیب

رقم	خواص مکانیکی	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
گلدن	تنش گسیختگی (MPa)	۰/۱۹	۰/۳۲۳	۰/۰۷۹	۰/۰۶۱	۳۲/۴۳
دلش	(%) کرنش گسیختگی	۱۲/۴۶	۱۸/۵۱	۶/۹۶۷	۲/۸۶۳	۲۲/۹۹
	(mJ) انرژی گسیختگی	۱۳/۸۰	۲۷/۵۳	۳/۲۹	۶/۰۷۷	۴۴/۰۴
	ضریب الاستیسیته ظاهری (MPa)	۱/۳۶	۲/۱۶۲	۰/۸۳۴	۰/۳۳۹	۲۴/۹۳
	چقرمگی (mJ/mm^3)	۰/۱۰۱۲	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۴۴/۰۴
رد دلش	تنش گسیختگی (MPa)	۰/۱۰۲	۰/۱۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۴۶	۴۴/۵۴
	(%) کرنش گسیختگی	۶/۲۷	۱۱/۴۱	۱/۷۳۳	۲/۱۶۶	۳۴/۵۶
	(mJ) انرژی گسیختگی	۴/۳۱	۱۴/۹۸	۰/۵۱۹	۳/۳۷۲	۷۸/۲۴
	ضریب الاستیسیته ظاهری (MPa)	۱/۶۰	۲/۶۳۷	۰/۵۶۴	۰/۵۵۸	۳۴/۹۳
	چقرمگی (mJ/mm^3)	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳	۷۸/۲۴
گرانی	تنش گسیختگی (MPa)	۰/۲۵	۰/۳۴۸	۰/۱۳۱	۰/۰۴۹	۱۹/۳۲
اسمیت	(%) کرنش گسیختگی	۱۰/۳۳	۱۷/۲۸	۵/۱۷۳	۲/۱۸۷	۲۱/۱۸
	(mJ) انرژی گسیختگی	۱۶/۰۹	۲۵/۹۷	۶/۹۲۶	۴/۵۸۹	۲۸/۵۲
	ضریب الاستیسیته ظاهری (MPa)	۲/۴۹	۴/۱۹۸	۱/۴۱۱	۰/۶۹۷	۲۷/۹۶
	چقرمگی (mJ/mm^3)	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۲۸/۵۲

جدول شماره (۵). نتایج آنالیز واریانس مقادیر خواص مکانیکی برای هر سه رقم سیب

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات	خواص مکانیکی
۲۵/۹۸**	۱۲/۸۷۴	۲۵/۷۴۸	۲	رقم سیب	ضریب الاستیسیته ظاهری
۲/۰۰ ^{ns}	۰/۴۹۶	۱۱/۸۹۳	۲۴	خطا	
	۰/۲۴۷	۲۰/۰۳۹	۸۱	خطای نمونه	
		۵۷/۶۸۰	۱۰۷	کل	
۲۴/۷۱**	۰/۲۰۵	۰/۴۱۰	۲	رقم سیب	تنش گسیختگی
۷/۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۸	۰/۱۹۹	۲۴	خطا	
	۰/۰۰۱	۰/۰۸۹	۸۱	خطای نمونه	
		۰/۶۹۸	۱۰۷	کل	
F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات	خواص مکانیکی
۳۱/۳۸**	۳۵۵/۸۸۱	۷۱۱/۷۶۲	۲	رقم سیب	کرنش گسیختگی
۲/۶۵ ^{ns}	۱۱/۳۴۰	۲۷۲/۱۵۲	۲۴	خطا	
	۴/۲۷۹	۳۴۶/۵۹۱	۸۱	خطای نمونه	
		۱۳۳۰/۵۰۵	۱۰۷	کل	
۲۵/۱۳**	۱۴۰۴/۱۰۳	۲۸۰۸/۲۰۶	۲	رقم سیب	انرژی گسیختگی
۴/۱۷ ^{ns}	۵۵/۸۸۰	۱۳۴۱/۱۲۴	۲۴	خطا	
	۱۳/۴۱۲	۱۰۸۶/۳۶۱	۸۱	خطای نمونه	
		۵۲۳۵/۶۹۱	۱۰۷	کل	
۲۵/۲۶**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۲	رقم سیب	چقرمگی
۴/۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۲۴	خطا	
	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۸	۸۱	خطای نمونه	
		۰/۰۰۰۴	۱۰۷	کل	

**اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد ns عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول شماره (۶). نتایج مقایسه میانگین‌های خواص مکانیکی هر سه رقم سیب به روش آزمون دانکن

رقم	ضریب الاستیسیته ظاهری (MPa)	تنش گسیختگی (MPa)	کرنش گسیختگی (%)	انرژی گسیختگی (mJ)	چقرمگی (mJ/mm^3)
گلدن دلشیز	۱/۳۶ b	۰/۱۹ b	۱۲/۴۶ a	۱۳/۸۰ a	۰/۰۱۲ a
رد دلشیز	۱/۶۰ b	۰/۱۰ c	۶/۲۷ c	۴/۳۱ b	۰/۰۰۴ b
گرانی اسمیت	۲/۴۹ a	۰/۲۵ a	۱۰/۳۳ b	۱۶/۰۹ a	۰/۰۱۴ a

توضیح: میانگین‌های دارای حرف مشترک، از لحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد با هم ندارند.

۳. نتیجه‌گیری‌ها

به طور کلی از نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری‌های زیر را نمود:

۱. سیب‌های رد دلشیز، گلدن دلشیز و گرانی اسمیت از لحاظ تمام مشخصه‌های فیزیکی با هم اختلاف دارند، لذا در طراحی ماشین‌ها و خطوط فرآوری باید به این نکته توجه شود.

۲. سیب‌های رقم گلدن دلیشز کروی‌تر از دو رقم دیگر می‌باشند.
۳. سیب‌های رقم گلدن دلیشز ریزتر و با دانسیته کمتر از رقم رد دلیشز می‌باشند، در حالیکه سیب‌های رقم گرانی اسمیت ریزتر ولی با دانسیته بیشتر از دو رقم دیگر می‌باشند.
۴. به دلیل ضریب تغییرات پائین تمام پارامترهای فیزیکی، سیب‌های رقم گلدن دلیشز یکنواخت‌تر از دو رقم دیگر می‌باشند.
۵. از آنجائیکه مقادیر تنش گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری سیب‌های رقم گرانی اسمیت از دو رقم دیگر بیشتر می‌باشد، لذا این رقم نسبت به دو رقم دیگر سفتی بیشتری داشته و در برابر نیروها و بارهای مرده وارده مقاومتر است.
۶. رقم رد دلیشز از لحاظ کلیه خواص مکانیکی دارای مقادیر کمتری نسبت به دو رقم دیگر می‌باشد، لذا تحمل آن در برابر بار گذاری خارجی کمتر بوده و در مقابل نیروها و تنشهای اعمالی پایداری کمتری داشته و آسیب پذیرتر می‌باشد.
۷. از آنجائیکه رقم گلدن دلیشز دارای کرنش گسیختگی بیشتری نسبت به دو رقم دیگر می‌باشد، لذا بنظر می‌رسد انعطاف پذیری آن در برابر نیروهای اعمالی بیشتر باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله وظیفه خود می‌دانند از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران مدیریت محترم شرکت کشت و صنعت سرخ‌دشت دماوند به خاطر در اختیار گذاشتن نمونه‌های سیب و نیز ریاست محترم و بخش صنایع غذایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج به خصوص سرکار خانم زرگران که همکاری لازم را جهت انجام آزمایشات مکانیکی داشتند، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع و مأخذ

۱. خدا بنده لو، حسن. ۱۳۷۸. بررسی خواص فیزیکی سیب‌های رد دلیشز و گلدن دلیشز برای صادرات. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
۲. شریف نسب، هومن و رجبی پور، علی. ۱۳۷۵. برنامه کامپیوتری تعیین سطح برگ محصولات کشاورزی. سمینار کارشناسی ارشد. گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
3. Abbott, J.A. and R.Lu. 1996. Anisotropic Mechanical Properties of Apples. Trans. of the ASAE (1971): 1451-1459.
4. Arnold, P.C. and N.N. Mohsenin. 1971. Proposed Techniques for Axial Compression Tests on Intact Agricultural Products of convex Shape. Trans. of the ASAE 14(1): 78-84.
5. ASAE Standard. 1998. Compression Tests of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.3 MAR95.
6. Bajema, Rick W., G.M. Hyde, and K. Peterson. 1998. Instrumentation Design for Dynamic Axial Compression of Cylindrical Tissue Samples. Trans. of the ASAE 41(3): 747-754.
7. Bajema, Rick W., A.L. Baritelle, G.M. Hyde, and M.J. Pitts. 2000. Factors Influencing Dynamic Mechanical Properties of Red 'Delicious Apple' Tissue. ASAE Paper No.996002.
8. Baritelle, A.L., G.M. Hyde, and J. Varith. 2000. Turgor and Temperature Affects on Apple Tissue Failure Stress and Strain. ASAE Paper No.006048.
9. Chappell, T.W. and D.D. Hamann. 1968. Poisson's Ratio and Young's Modulus for Apple Flesh under Compressive Loading. Trans. of the ASAE (1968): 608-612.
10. Fletcher, S.W., N.N. Mohsenin, J.R. Hammerle, and L.D. Tukey. 1965. Mechanical Behavior of Selected Fruits and Vegetables under Fast Rates of Loading. Trans. of the ASAE (1965): 324-326.
11. Fletcher, S.W., 1971. Mechanical Behavior of Processed Apples. Trans. of the ASAE (1971): 14-16.

12. Fridlet, R.B. and P.A. Adrian .1966. Mechanical Properties of Peaches, Pears, Apricots, and Apples. Trans. of the ASAE (1968): 135-138,142.
13. Garcia, J.L., M.Ruiz-Altisent, P.Barreiro. 1995. Factors Influencing Mechanical Properties and Bruise Susceptibility of Apples and Pears. J. Agric. Engng. Res. (1995) 61, 11-18.
14. Mohsenin, N.N., H. Goehligh, and L.D. Tukey. 1962. Mechanical Behavior of Apple Fruits as Related to Bruising. Am. Soc. For Hor. Sci. V.81: 67-77.
15. Mohsenin, N.N., H.E. Cooper, and L.D. Tukey. 1963. Engineering Approach to Evaluatting Textural Factors in Fruits and Vegetables. Trans. of the ASAE (1963): 85-88.
16. Mohsenin, N.N. 1972. Mechanical properties of Fruits and Vegetables Review of Decade of Research Applications and Future Needs. Trans. of the ASAE (1972): 1064-1070.
17. Mohsenin, N.N.1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials.2nd Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers. Newyork.
18. Pang, W., C.J. Studman, G.T. Ward .1992. Bruising Damage in Apple-to-Apple Impact. J. Agric. Engng. Res. (1992) 52,229-240.
19. Roudot, A.C., F. Duprat , C. Wenian. 1991. Modelling the Response of Apples to Loads. J. Agric. Engng. Res. (1991) 48,249-259.

Determination and comparison of physical and mechanical properties of three export varieties of apple

H.Mas'oudi*

Ph.D. student, agricultural machinery, Faculty of agriculture, university of Tehran Karaj, Iran.

A.Tabatabaeefar

Associate professor of agricultural machinery, Faculty of agriculture, university of Tehran, Karaj Iran.

A.M.Borghei

Professor of Dept. of Agricultural machinery Azad Islamic University, Tehran

M.A.Shahbeik

Assistant professor of agricultural engineering research institute, Karaj, Iran

Abstract

Determination of physical and mechanical properties of produced apple is necessary for designing machineries, handling and improving processing line in order to reduce the quality and quantity losses. In this study, three different grown varieties of Iranian export apples (Red delicious, Golden delicious and Granny smith) were randomly chosen from refrigerated room off wooden boxes after four month storage. After this period, two sets of experiment were conducted on determination of physical and mechanical properties. First set of experiment was conducted on physical properties in completely randomized block design for 4 repetitions. Physical characteristics were included of dimensions, mean geometric diameters, sphericity, weight, volume and bulk density. Second experiment was conducted on analysis of mechanical properties of apple in completely randomized design for nine repetitions. Independent variable was three varieties of apples and dependent variables were modulus of elasticity, failure stress, failure strain, failure energy and toughness. Mean and standard deviation values of physical properties for Golden delicious, Red delicious and Granny smith respectively were determined for height was 73.60 ± 2.75 , 75.66 ± 3.24 and 66.58 ± 3.88 mm, geometric mean diameters was 75.86 ± 1.98 , 79.70 ± 2.519 and 71.44 ± 2.417 mm, sphericity was 97.46 ± 1.03 , 96.01 ± 1.62 and 95.48 ± 1.53 percent, weight was 198.2 ± 13.42 , 231.1 ± 18.52 and 167.1 ± 12.34 g, volume was 247.9 ± 16.86 , 284.1 ± 23.49 and 203.7 ± 16.4 cc, bulk density was 0.80 ± 0.012 , 0.814 ± 0.019 and 0.821 ± 0.018 g/cc. Mean values for dimensions, height, geometric mean diameters, weight, volume had significant difference among different varieties. For Red delicious and Granny smith variety the sphericity and bulk density did not have significant differences but they had significant differences in these characteristics with Golden delicious in 5 % probability Mean and standard deviation values of mechanical properties for Golden delicious, Red delicious and Granny smith respectively, were determined for modulus of elasticity was 1.36 ± 0.34 , 1.60 ± 0.56 , failure stress was 0.19 ± 0.061 , 0.102 ± 0.046 and 0.25 ± 0.049 MPa, failure strain was 12.46 ± 2.86 , 6.27 ± 2.17 and 10.33 ± 2.19 percent, failure energy was 13.80 ± 6.08 , 4.31 ± 3.37 and 16.09 ± 4.59 mJ and 2.49 ± 0.70 MPa, toughness was 0.012 ± 0.005 , 0.004 ± 0.003 and 0.014 ± 0.004 mJ/mm³. Mean values for failure stress and failure strain had significant difference among different varieties. For Red delicious and Golden delicious variety

*. (hassanmasoudi@yahoo.com)

the modulus of elasticity did not have significant differences but they had significant differences with Granny smith. For Golden delicious and Granny smith variety the failure energy and toughness did not have significant differences but they had significant differences with Granny smith. The effect of variety had significant differences in all the values in 1 % probability.

Key words: Apple, Physical characteristics, Mechanical properties.