Archive of SID

تعیین خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی پس از پنج ماه انبارداری[1]

حسن مسعودی، سید احمد طباطبائی‌فر، علی محمد برقعی و محمدعلی شاه‌بیک[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۸/۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۵/۲/۲

چکیده

تعیین خواص مختلف سیب‌های تولیدی درکشور جهت استفاده در طراحی ماشین‌های برداشت، فرآوری و حمل و نقل و بهبود خطوط فرآوری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت ضروری است. در این تحقیق با انجام آزمون نفوذسنجی و آزمون فشارتک محوری بر روی سه رقم سیب صادراتی به نام‌های گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت، مقادیر ضریب الاستیسیته ظاهری، نیروی نفوذ و انرژی نفوذ ، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و چقرمگی تعیین شدند. در آزمون نفوذسنجی برای ارقام گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت به ترتیب، مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری برابر با ۰/۵۵۴ ، ۰/۷۰۲ و۰/۹۷۶ مگاپاسکال، مقدار نیروی نفوذ برابر با ۱۴/۷۶۳، ۱۸/۶۹۸ و ۲۶/۰۰۲ نیوتن و مقدار انرژی نفوذ برابر با ۲۸/۷۹۶، ۴۳/۷۵۸ و ۵۸/۲۳۱ میلی ژول به دست آمد. در آزمون فشارتک محوری برای سیب‌های گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت به ترتیب مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری برابر با ۱/۴۴۶، ۱/۷۷۳ و۲/۸۴۲ مگاپاسکال، تنش گسیختگی برابر با ۰/۱۷۷، ۰/۱۲۳ و ۰/۲۴۷ مگاپاسکال، کرنش گسیختگی برابر با ۱۱/۵۲۶، ۶/۹۳۷ و ۹/۰۲۳ درصد، انرژی گسیختگی برابر با ۱۰/۳۶۳، ۵/۱۴۳ و ۱۲/۲۳۸ میلی ژول و مقدار چقرمگی برابر با ۰/۰۰۹ ، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۱۰ میلی ژول بر میلی‌متر مکعب به دست آمد. نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی برای آزمون‌های نفوذسنجی و فشار تک محوری نشان داد که در هر دو آزمون تأثیر رقم بر میانگین تمامی پارامترها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در حالیکه تأثیر موقعیت و اثر متقابل رقم در موقعیت معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی

آزمون نفوذسنجی، آزمون فشار تک محوری، خواص مکانیکی، سیب

۱- برگرفته از: پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «بررسی میزان تغییر خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی طی انبارداری» که در قالب طرح پژوهشی نوع ششم به شماره ۷۱۰۹/ک/۰۳۸ و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است.

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دورنگار: ۰۲۶۱-۲۸۰۸۱۳۸، پیام نگار: hassanmasoudi@yahoo.com، دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، استادگروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و استادیار پژوهشی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

محصولات کشاورزی معمولاً جهت آماده شدن به عنوان ماده غذایی تحت تأثیر یک یا چند فرآیند قرار می‌گیرند. این فرآیندها خواه ساده باشند مثل تمیزکردن، جداکردن، و جابه‌جایی و خواه تکمیلی یا تبدیلی باشند به نوعی ویژگی‌های محصول را دستخوش تغییر می‌کنند. بنابراین، شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی محصول و نحوهٔ حفظ یا تغییر آنها در جهت اهداف موردنظر فرآیند می‌تواند در حفظ کمّی و کیفی محصول نهایی تأثیر بسزایی داشته باشد. از طرفی، طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات مورد نیاز برای برداشت، حمل و نقل، انبارداری، و بسته‌بندی سیب بدون داشتن پارامترهای مختلف، به خصوص پارامترهای مکانیکی آن، امکانپذیر نیست. لذا تعیین خواص مختلف سیب‌های تولیدی در ایران جهت استفاده در طراحی ماشین‌ها 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 درآن مناطق انجام شده است که دراینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. آبوت و لو (Abbott & Lu, 1996) برای تعیین تأثیر رسیدگی، جهت، و موقعیت نمونه‌گیری بر بعضی خواص مکانیکی سیب شامل تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی، و ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری سه رقم دلیشز، گلدن دلیشز، و رم بیوتی آزمایش‌هایی را انجام دادند. نتایج نشان دادکه رابطهٔ متقابل رقم در موقعیت معنی‌دار نیست. سیب‌های دلیشز نسبت به سیب‌های گلدن دلیشز و رم بیوتی در دورتا دور خود تغییرات بیشتری داشتند. خواص نامتجانس سیب بیشتر در قسمت‌های میانی آن دیده می‌شود تا در نقاط پایینی و فوقانی آن. فریدلی و آدریان (Fridley & Adrian, 1968) برخی از خواص مکانیکی هلو، گلابی، زردآلو و دو رقم سیب (مکینتاش و گراونستین) را تعیین کردند. فلتچر (Fletcher, 1965) خواص مکانیکی دو رقم سیب (بلادوین و نورثرن اسپای) را در دو حالت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی تعیین کرد. چاپل و هامان (Chappell & Hamann, 1968) مقادیر نسبت پواسون و ضریب یانگ را برای سه رقم سیب تازه (رد دلیشز، وین سپ، وگلدن دلیشز) تعیین کردند. گارسیا و همکاران (Garcia *et al.*, 1995) در تحقیقی فاکتورهای مؤثر برخواص مکانیکی و میزان آسیب دیدگی سیب و گلابی را بررسی کردند. باجما و همکاران (Bajema *et al.*, 2000) عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی دینامیکی بافت سیب رقم رد دلیشز را بررسی کردند. باریتله و همکاران (Baritelle *et al.*, 2000) تأثیر دما و فشار مایع داخل سلولی را بر تنش و کرنش گسیختگی چهار رقم سیب (فوجی، رم، رددلیشز، وگلدن دلیشز) بررسی کردند. محسنین و همکاران در تحقیقات

www.SID.ir

Archive of SID

فراوانی عمدهٔ خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی از جمله ارقام مختلف سیب را تعیین و منتشر کرده‌اند (Arnold & Mohsenin, 1971; Fletcher *et al.*, 1965; Mohsenin *et al.*, .1962; Mohsenin *et al.*,1963; Mohsenin, 1972) دربارهٔ تعیین خواص مکانیکی ارقام مختلف سیب تولیدی در ایران تحقیقات گزارش‌شده‌ای مشاهده نشد. این تحقیق با هدف تعیین خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی تولید شده در ایران که به مدت پنج ماه در سردخانه نگهداری شده بودند انجام شد، تا مقادیرخواص مکانیکی این ارقام پس از این مدت زمان تا انبارداری به دست آید.

مواد و روش‌ها

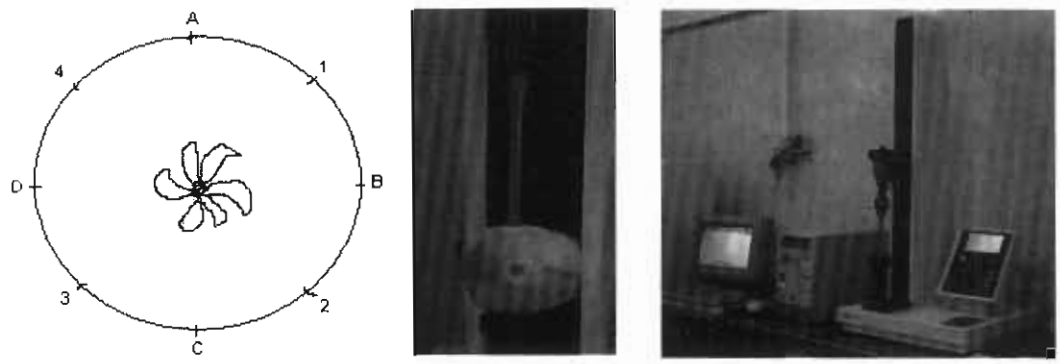
در این تحقیق سه رقم سیب گلدن دلیشز، رد دلیشز، و گرانی اسمیت در مهرماه ۸۲ از شرکت کشت و صنعت برخدشت دماوند نمونه‌گیری و پس از انتقال به سردخانه در درون جعبه‌های چوبی و دمای ٤-۳ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت پنج ماه (۱٤۸ روز)، نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت زمان، سیب‌ها از سردخانه خارج و به آزمایشگاه منتقل و در دمای محیط آزمایشگاه (۲۲-۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) به مدت ۲٤ ساعت قرارداده شدند، تا با محیط هم دما شوند. سپس در دمای محیط آزمایشگاه با استفاده از ماشین آزمون کشش- فشار یونیورسال (شکل شمارهٔ ۱- راست) دو نوع آزمون نفوذسنجی[1] و فشار تک محوری[2] برای تعیین خواص مکانیکی آنها انجام شد. در آزمون نفوذسنجی، ضریب الاستیسیته ظاهری، نیروی نفوذ، و انرژی نفوذ و درآزمون فشار تک محوری ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی، و چقرمگی تعیین شدند. در زمان اجرای آزمایش، میانگین رطوبت بر پایهٔ تر سیب‌های گلدن دلیشز، رد دلیشز، وگرانی اسمیت به ترتیب ۸٤/۵ ، ۸۳/۸ و۸٤/۲ درصد بود.

در آزمون نفوذسنجی، ابتدا چهار نقطهٔ متقارن D, C, B, A واقع بر خط استوای سیب‌ها انتخاب شدند (شکل شمارهٔ ۱- چپ)، سپس لایهٔ نازکی از پوست سیب در این نقاط برداشته شد. مطابق شکل شمارهٔ ۱- وسط با قراردادن سیب بر صفحه‌ای تخت، با استفاده از فشارندهٔ[3] فولادی با نوک کروی و قطر۱۱ میلی‌متر، سیب‌ها در هر یک از این نقاط بارگذاری و به طور همزمان توسط برنامهٔ کامپیوتری دستگاه نمودار نیرو- تغییر شکل برای هر یک از نقاط ترسیم شد. سرعت بارگذاری ۲۵/٤ میلی‌متر بر دقیقه و میزان نفوذ فشارنده در داخل گوشت سیب ۱۵ میلی‌متر انتخاب شد. در آزمون نفوذسنجی تعداد تکرارها برای هر سیب چهار و برای هر رقم ۳٦ و برای سه رقم سیب ۱۰۸ بود.

1- Penetration test 2- Uniaxial compression test 3- Probe

www.SID.ir

Archive of SID



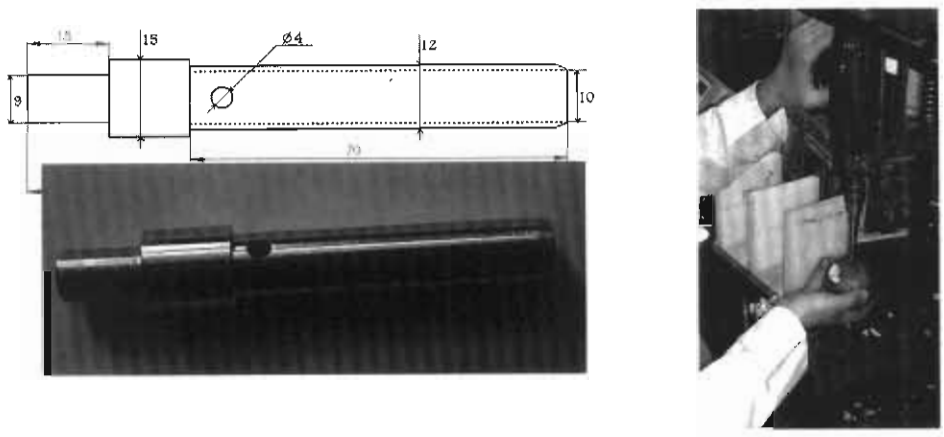
شکل شمارهٔ ۱- ماشین تست یونیورسال (راست)، آزمون نفوذسنجی (وسط) و موقعیتهای نمونه‌گیری روی هر سیب (چپ)

در آزمون فشار تک محوری برای تعیین خواص مکانیکی مورد نظر، نمونه‌های استوانه‌ای شکل از گوشت سیب با میانگین قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۵ میلی‌متر با ماشین آزمون یونیورسال بین دو صفحه تخت فولادی تحت بارگذاری قرار گرفتند و از طریق برنامهٔ کامپیوتری به طور همزمان نمودار نیرو- تغییر شکل برای هر بارگذاری ترسیم و از روی این نمودارها مقادیر مورد نیاز برای محاسبهٔ صفات فوق استخراج شد. سرعت بارگذاری نمونه‌ها ۲۵/٤ میلی‌متر بر دقیقه و میزان بارگذاری آنها ۸ میلی‌متر انتخاب شد.

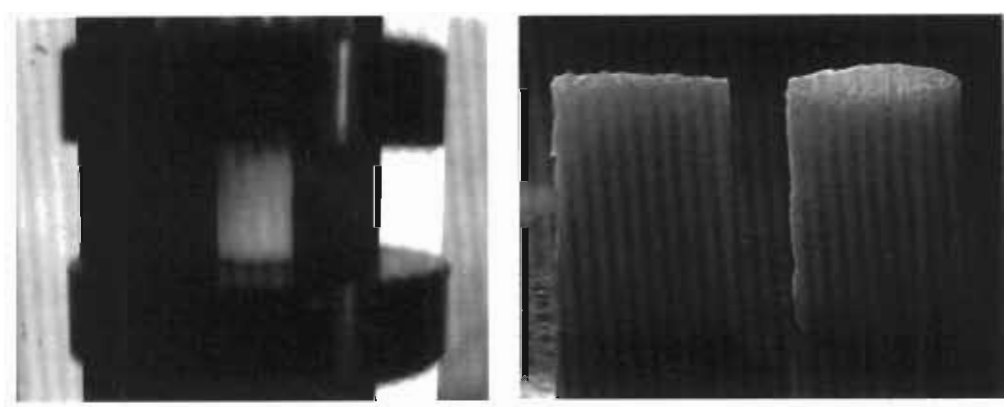
برای تهیهٔ نمونه‌ها از روش پیشنهادی باجما و همکاران (Bajema *et al.*, 1998) استفاده شد. مطابق شکل شمارهٔ (۱-چپ)، ابتدا چهار نقطه ۱، ۲، ۳، و ٤ که به صورت متقارن روی خط استوای سیب و بین نقاط D, C, B, A مربوط به آزمون نفوذسنجی قرار داشتند، به عنوان محل‌های نمونه‌گیری انتخاب شدند. سپس نمونه‌گیر استوانه‌ای با قطر داخلی ۱۰ میلی‌متر که به همین منظور ساخته شده بود (شکل شمارهٔ ۲) به سه نظام یک دستگاه دریل برقی بسته شد و دریل روی پایه‌ای کوچک ثابت گردید. با قرار دادن نوک نمونه‌گیر روی هر یک از نقاط، و با به کار افتادن دریل، سیب آهسته آهسته به سمت بالا حرکت داده می‌شد. با نفوذ نمونه‌گیر به درون گوشت سیب نمونه‌هایی به شکل استوانه با قطر ۱۰ میلی‌متر از بافت سیب گرفته و درون نمونه‌گیر قرار می‌گرفتند. برای خارج کردن نمونه‌ها از داخل نمونه‌گیر، از فشار باد استفاده شد (شکل شمارهٔ ۲). برای برش نمونه‌ها به طول مورد نظر از یک عدد پایهٔ تفلونی استفاده شد که دیواره‌ای به ضخامت ۱۵ میلی‌متر و سوراخ‌هایی به قطر ۱۰ میلی‌متر داشت. با قراردادن هر یک از نمونه‌های استوانه‌ای سیب در درون سوراخ‌های پایه تفلونی و با استفاده از یک عدد تیغ تیز جراحی، نمونه از دو طرف به صورت کاملاً صاف و تخت برش داده شد. بدین ترتیب نمونه‌های استوانه‌ای از بافت سیب برای اجرای آزمایش آماده بودند (شکل شمارهٔ ۳). تعداد نمونه‌های تهیه شده از هر سیب چهار و از هر رقم ۳٦ و برای سه رقم ۱۰۸ بود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شمارهٔ ۲- نمونه‌گیر استوانه‌ای سیب (چپ) و نحوهٔ نمونه‌گیری (راست)



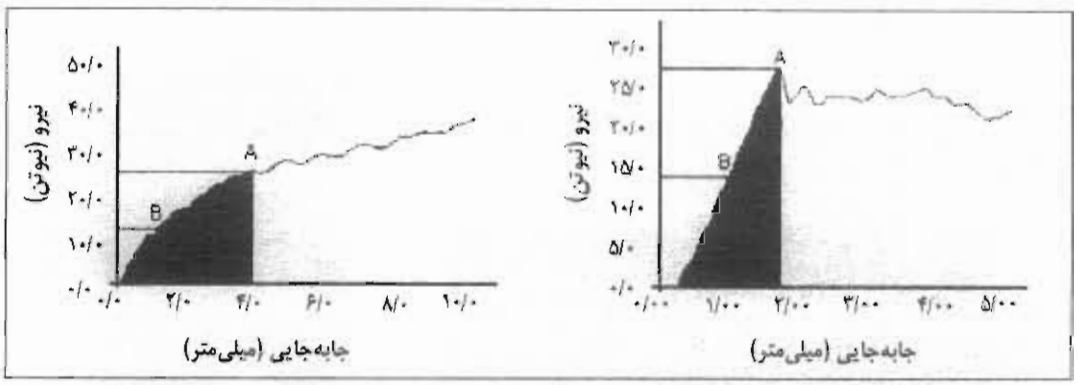
شکل شمارهٔ ۳- نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده از گوشت سیب، پس از نمونه‌گیری (راست) و در حین بارگذاری (چپ)

نقطهٔ تسلیم[1] در محصولات کشاورزی نقطه‌ای از نمودار نیرو- تغییر شکل است که در آن با افزایش جا به جایی مقدار نیروکاهش می‌یابد یا تغییری نمی‌کند (Anon, 1998). شکل شمارهٔ ٤ نمونه‌ای از نمودارهای نیرو- تغییر شکل به دست آمده از آزمون‌های نفوذسنجی و فشارتک محوری و نقطهٔ تسلیم مربوط (نقطهٔ A) را نشان می‌دهد. مقادیرخواص مکانیکی برای هر یک از نمونه‌ها از روی این نمودارها به صورت زیر محاسبه شد (Mohsenin, 1986).

1- Bioyield Point

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شمارهٔ ۴- نمودارهای نیرو- تغییر شکل به دست آمده از آزمون نفوذسنجی (چپ) و آزمون فشار تک محوری (راست)

و سطح زیر منحنی برای محاسبهٔ انرژی گسیختگی در آزمون نفوذسنجی مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری برای هر نقطه از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Mohsenin, 1986):

$$E = \frac{0.531F}{D^{3/2}}\left(\frac{2}{r}\right)^{1/2}(1-\mu^2) \qquad (۱)$$

که در آن، E= ضریب الاستیسیته ظاهری (بر حسب مگاپاسکال)؛ D= میزان نفوذ فشارنده در گوشت سیب (٤ میلی‌متر)؛ F= نیروی وارده شده به ازای چهار میلی‌متر نفوذ فشارنده درگوشت سیب (بر حسب نیوتن)؛ r = شعاع انحنای نوک فشارنده (۵/۵ میلی‌متر)؛ و μ= نسبت پواسون است (این نسبت، برای ارقام مختلف سیب بین ۰/۲۱ تا ۰/۳٤ است و در این تحقیق برابر با ۰/۲۵ فرض شد) (Mohsenin,1986; Stroshine & Hamann, 1994).

انرژی نفوذ با محاسبهٔ سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل به دست آمده در آزمون فشار تک محوری، از مبدا مختصات تا نقطه‌ای با تغییر شکل چهار میلی‌متر و انرژی گسیختگی با محاسبهٔ سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل از مبدا مختصات تا نقطهٔ تسلیم تعیین شد (شکل شمارهٔ ٤). برای هر دو آزمون، این سطح با نرم افزار Photoshop 7 انتخاب و با نرم افزار Areameter (که به منظور محاسبه سطوح طراحی شده است) محاسبه شد (Sharifnasab & Rajabipour, 1996).

در آزمون فشارتک محوری، ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری برای هر یک از نمونه‌ها با معلوم بودن سطح مقطع و طول اولیه آنها از رابطهٔ شمارهٔ ۲، تنش گسیختگی از رابطهٔ شمارهٔ ۳، وکرنش گسیختگی از رابطهٔ شمارهٔ ٤ به دست آمد. برای تعیین چقرمگی هر یک از نمونه‌ها، مقدار انرژی گسیختگی آنها بر حجم نمونه‌ها تقسیم و چقرمگی بر حسب میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب تعیین شد.

$$E = \frac{F_0 L}{A\Delta L_0} \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \qquad (۳)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \qquad (٤)$$

در این روابط، E= ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری (بر حسب مگاپاسکال)؛ F_0 = نیروی وارد بر نمونه در حد الاستیک (بر حسب نیوتن که در اینجا ۵۰ درصد حدتسلیم در نظرگرفته شده است (Abbott & Lu, 1996)) (نقطهٔ B- شکل شمارهٔ ٤)؛ ΔL_0 = میزان تغییر طول نمونه در حدالاستیک (بر حسب میلی‌متر)؛ L= طول اولیه نمونه‌ها (برحسب میلی‌متر)؛ A= میانگین سطح مقطع اولیه نمونه‌ها (بر حسب میلی‌متر مربع)؛ σ = تنش گسیختگی (بر حسب مگاپاسکال)؛ F= نیروی وارد شده به نمونه در نقطهٔ تسلیم (بر حسب نیوتن)؛ d = میانگین قطر نمونه‌ها (بر حسب میلی‌متر)؛ ε = کرنش گسیختگی (بدون واحد)؛ و ΔL = میزان تغییر طول نمونه در نقطهٔ تسلیم (بر حسب میلی‌متر) است.

برای تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌ها از طرح آماری در قالب بلوک کامل تصادفی به صورت فاکتوریل دو فاکتوره در نُه تکرار با پارامترهای مستقل شامل سه رقم سیب و چهار موقعیت و متغیرهای وابسته شامل ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری، نیروی نفوذ و انرژی نفوذ در آزمون نفوذسنجی و ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی، و چقرمگی در آزمون فشار تک محوری استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SAS V.8 و عملیات آماده سازی داده‌ها و تعیین مقادیر با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

جدول شمارهٔ ۱، نتایج تعیین خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی را با استفاده از آزمون نفوذسنجی و آزمون فشار تک محوری نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، در آزمون نفوذسنجی بیشترین مقدار ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری برای رقم گرانی اسمیت با میانگین ۰/۹۷٦ مگاپاسکال و کمترین آن برای رقم گلدن دلیشز با میانگین ۰/۵۵٤ مگاپاسکال و بیانگر سفتی سیب‌های گرانی اسمیت نسبت به ارقام دیگر است. بیشترین مقدار نیروی نفوذ برای رقم گرانی اسمیت با میانگین ۲٦/۰۰۲ نیوتن و کمترین آن برای رقم گلدن دلیشز با میانگین ۱٤/۷٦۳ نیوتن است. بیشترین مقدار انرژی نفوذ برای رقم گرانی اسمیت با میانگین ۵۸/۲۳۱ میلی‌ژول و کمترین آن برای رقم گلدن دلیشز با میانگین ۲۸/۷۹٦ میلی‌ژول است. در آزمون فشار تک محوری، بیشترین مقدار ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری برای رقم گرانی اسمیت با میانگین ۲/۸٤۲ مگاپاسکال و کمترین آن برای رقم گلدن دلیشز با میانگین ۱/٤٤٦ مگاپاسکال است. بیشترین مقدار تنش گسیختگی برای رقم گرانی اسمیت با میانگین ۰/۲٤۷ مگاپاسکال و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با میانگین ۰/۱۲۳ مگاپاسکال است. بیشترین مقدار کرنش گسیختگی برای رقم گلدن دلیشز با میانگین ۱۱/۵۲٦ درصد و کمترین آن برای رقم رددلیشز با میانگین ٦/۹۳۷ درصد است. بیشترین مقدار انرژی گسیختگی برای رقم گرانی

www.SID.ir

Archive of SID

اسمیت با میانگین ۱۲/۲۳۸ میلی‌ژول و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با میانگین ۵/۱۴۳ میلی‌ژول است. بیشترین مقدار چقرمگی برای رقم گرانی اسمیت با میانگین ۰/۰۱۰ میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با میانگین ۰/۰۰٤ میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب است. دیده می‌شود که در هردو آزمون، روند تغییرات ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری بین ارقام مختلف یکسان ولی مقادیر آنها با یکدیگر متفاوت است. البته مقادیر ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری در آزمون نفوذسنجی از مقادیر آزمون فشار تک محوری و مقادیر ذکر شده در منابع برای ارقام مختلف سیب کمتر است. همچنین، تفاوت بین مقادیر ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری آزمون نفوذسنجی و فشار تک محوری زیادتر از مقادیری است که محسنین (Mohsenin, 1986) ذکر کرده است. به نظر می‌رسد این تفاوت به دلیل تفسیر متفاوت منحنی‌های نیرو- تغییر شکل، شرایط آزمایشی مختلف، ارقام متفاوت سیب (البته محسنین نام رقم سیب‌ها را در آزمایش‌های خود ذکر نکرده است) و دلایل ناشناختهٔ دیگر باشد.

نتایج تجزیهٔ واریانس مقادیر خواص مکانیکی برای آزمون نفوذسنجی در جدول شمارهٔ ۲ آمده است. همان گونه که دیده می‌شود، تأثیر رقم بر میانگین تمامی پارامترها در سطح یک درصد معنی‌دار است. در حالی که تأثیر موقعیت و اثر متقابل رقم در موقعیت معنی‌دار نیست.

جدول شمارهٔ ۳، تجزیهٔ واریانس نتایج آزمون فشار تک محوری برای خواص مکانیکی سیب‌ها را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، تأثیر رقم بر میانگین مقادیر تمامی پارامترها در سطح یک درصد کاملاً معنی‌دار است. در حالی که تأثیر موقعیت و اثر متقابل رقم در موقعیت معنی‌دار نیست. نبود اختلاف معنی‌دار بین خواص مکانیکی نمونه‌هایی که از موقعیت‌های مختلف روی خط استوای هر سیب تهیه شده‌اند، با نتایج آزمایش‌های آبوت و لو (Abbott & Lu, 1996) مطابقت دارد.

جدول شمارهٔ ٤، مقایسهٔ میانگین‌های نتایج هر دو آزمایش را به روش آزمون دانکن نشان می‌دهد. میانگین مقادیر تمامی پارامترها در هردو آزمون برای هر سه رقم سیب با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارد. مقدار انرژی نفوذ برای موقعیت‌های اول و چهارم با همدیگر اختلاف معنی‌دار دارد، ولی مقدار پارامترهای دیگر در موقعیت مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارد. این نتایج با نتایج آبوت و لو (Abbott & Lu, 1996) مطابقت دارد. البته جهت اثبات همگن بودن سیب‌ها باید آزمایش‌های دیگری با نمونه‌های تهیه شده از قسمت‌ها و جهات مختلف سیب انجام شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شمارهٔ ۱- مقادیر خواص مکانیکی سیب ها در آزمون نفوذسنجی و آزمون فشار تک محوری

نوع آزمون	رقم	خواص مکانیکی	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
نفوذسنجی	گلدن دلیشز	ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری (مگاپاسکال)	۰/۵۵	۰/۷۰	۰/۳۸	۰/۰۷	۱۲/۷۳
		نیروی نفوذ (نیوتن)	۱۴/۷۶	۱۸/۵۹	۱۰/۱۹	۱/۸۸	۱۲/۷۳
		انرژی نفوذ (میلی‌ژول)	۲۸/۸۰	۳۵/۴۲	۲۰/۴۲	۴/۲۸	۱۴/۸۶
	رد دلیشز	ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری (مگاپاسکال)	۰/۷۰	۱/۰۴	۰/۳۱	۰/۱۷	۲۳/۵۸
		نیروی نفوذ (نیوتن)	۱۸/۷۰	۲۷/۶۳	۸/۲۱	۴/۴۱	۲۳/۵۸
		انرژی نفوذ (میلی‌ژول)	۴۳/۷۶	۶۱/۱۱	۲۲/۶۴	۱۰/۰۲	۲۲/۸۹
	گرانی اسمیت	ضریب الاستیسیته ظاهری (مگاپاسکال)	۰/۹۸	۱/۶۲	۰/۶۸	۰/۲۲	۲۲/۰۳
		نیروی نفوذ (نیوتن)	۲۶/۰۰	۴۳/۰۸	۱۸/۱۴	۵/۷۳	۲۲/۰۳
		انرژی نفوذ (میلی‌ژول)	۵۸/۲۳	۹۵/۴۲	۴۱/۵۳	۱۲/۵۱	۲۱/۴۹
فشارتک محوری	گلدن دلیشز	ضریب الاستیسیته ظاهری (مگاپاسکال)	۱/۴۵	۲/۵۴	۰/۸۴	۰/۳۲	۲۲/۱۰
		تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۰۴	۲۴/۵۴
		کرنش گسیختگی (درصد)	۱۱/۵۲	۱۵/۷۴	۶،۱۶	۲/۱۲	۱۸/۳۹
		انرژی گسیختگی (میلی‌ژول)	۱۰/۳۶	۲۳/۰۶	۳/۳۳	۴/۳۰	۴۱/۵۱
		چقرمگی (میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب)	۰/۰۰۹	۰/۰۲۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۴۱/۵۱
	رد دلیشز	ضریب الاستیسیته ظاهری (مگاپاسکال)	۱/۷۷	۲/۶۷	۰/۶۸	۰/۵۱	۲۸/۶۰
		تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۵۱/۰۷
		کرنش گسیختگی (درصد)	۶/۹۴	۱۳/۲۰	۳/۱۸	۲/۴۵	۳۵/۲۵
		انرژی گسیختگی (میلی‌ژول)	۵/۱۴	۱۵/۰۰	۰/۵۶	۴/۰۹	۷۹/۲۸
		چقرمگی (میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب)	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۷۹/۲۸
	گرانی اسمیت	ضریب الاستیسیته ظاهری (مگاپاسکال)	۲/۸۴	۴/۵۵	۱/۹۱	۰/۶۱	۲۱/۲۹
		تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۰۴	۱۶/۱۶
		کرنش گسیختگی (درصد)	۹/۰۲	۱۲/۳۴	۵/۹۴	۱/۵۵	۱۷/۱۳
		انرژی گسیختگی (میلی‌ژول)	۱۲/۲۴	۲۰/۶۹	۵/۴۹	۳/۸۰	۳۱/۰۴
		چقرمگی (میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب)	۰/۰۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۳۱/۰۴

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۲- نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های خواص مکانیکی سیب در آزمون نفوذسنجی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات (MS) ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری	نیروی نفوذ	انرژی نفوذ
رقم	۲	۱/٦٤**	۱۱۷۰/۸۱**	۷۷۹۸/٤۹**
موقعیت	۳	۰/۰٤ns	۲۹/۸٦ ns	۱٦۹/۸۳ ns
رقم × موقعیت	٦	۰/۰۲ ns	۱۱/۸۷ ns	٦۲/۱۳ ns
خطا	۹٦	۰/۰۳	۱۸/٦٦	۹۱/۱۵
کل	۱۰۷			

** معنی‌دار در سطح یک درصد، ns غیر معنی‌دار

جدول شماره ۳- نتایج تجزیهٔواریانس داده‌های خواص مکانیکی سیب در آزمون فشار تک محوری

منابع تغییرات	درجهٔآزادی	میانگین مربعات (MS) ضریب الاستیسیتهٔظاهری	تنش گسیختگی	کرنش گسیختگی	انرژی گسیختگی	چقرمگی
رقم	۲	۱۹/۰۵**	۰/۱۳**	۱۷۹/۷٦**	٤۵۱/٦۰**	۰/۰۰۰۳**
موقعیت	۳	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/٦۹ ns	۷/۷۱ ns	۰/۰۰۰۰۰٦ ns
رقم × موقعیت	٦	۰/۱٦ ns	۰/۰۰۱ ns	۳/٤۲ ns	۱۱/۳۱ ns	۰/۰۰۰۰۱ ns
خطا	۹۲	۰/۲۵	۰/۰۰۳	٤/۳۸	۱۷/۱۱	۰/۰۰۰۰۱
کل	۱۰۳					

** معنی‌دار در سطح یک درصد، ns غیر معنی‌دار

جدول شمارهٔ ۴- مقایسهٔ میانگین‌های نتایج هر دو آزمون به روش آزمون دانکن

نوع آزمون	خاصیت مکانیکی	رقم: گلدن دلیشز	رقم: رد دلیشز	رقم: گرانی اسمیت	موقعیت: ۱	موقعیت: ۲	موقعیت: ۳	موقعیت: ٤
نفوذسنجی	ضریب الاستیسیته ظاهری (مگاپاسکال)	۰/۵۵c	۰/۷۰b	۰/۹۸a	۰/۸۰a	۰/۷۵a	۰/۷۱a	۰/۷۱a
	نیروی نفوذ (نیوتن)	۱٤/۷٦c	۱۸/۷۰b	۲٦/۰۰a	۲۱/۲۹a	۱۹/۸۸a	۱۹/۰۷a	۱۹/۰٤a
	انرژی نفوذ (میلی‌ژول)	۲۸/۸۰c	٤۳/۷٦b	۵۸/۲۳a	٤۷/۰۳a	٤۳/۸٦ab	٤۲/۰۸ab	٤۱/٤۲b
فشار تک محوری	ضریب الاستیسیته ظاهری (مگاپاسکال)	۱/٤۵c	۱/۷۷b	۲/۸٤a	۲/۰٦a	۲/۰٦a	۱/۹۷a	۲/۰۳a
	تنش گسیختگی (مگاپاسکال)	۰/۱۸b	۰/۱۲c	۰/۲۵a	۰/۱۹a	۰/۱۹a	۰/۱۸a	۰/۱۸a
	کرنش گسیختگی (درصد)	۱۱/۵۳a	٦/۹٤c	۹/۰۲b	۹/۱٤a	۹/٤۹a	۹/۱۱a	۹/۲۵a
	انرژی گسیختگی (میلی‌ژول)	۱۰/۳٦a	۵/۱٤b	۱۲/۲٤a	۹/٦۲a	۱۰/۱۰a	۸/۷۳a	۹/۱۹a
	چقرمگی (میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب)	۰/۰۰۹a	۰/۰۰٤b	۰/۰۱۰a	۰/۰۰۸a	۰/۰۰۸a	۰/۰۰۷a	۰/۰۰۸a

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه از مطالب بیان شده می‌توان نتایج زیر را گرفت:

- برای تعیین خواص مکانیکی سیب در تحقیقات مقایسه‌ای، آزمون فشار تک محوری به دلیل مشخص بودن نقطهٔ تسلیم راحت‌تر است، ولی آزمون نفوذسنجی به دلیل استفاده از نمونهٔ کامل سیب کاربردی‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر است.
- ازآنجاکه مقادیر نیروی نفوذ، تنش گسیختگی، و ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری رقم گرانی‌اسمیت در هر دو آزمون از دو رقم دیگر بیشتر است می‌توان گفت که ایسن رقم سفتی بیشتری دارد و در برابر نیروها و بارهای مردهٔ خارجی مقاوم‌تر است.
- از آنجا که رقم گلدن‌دلیشز نسبت به دو رقم دیگر دارای کرنش گسیختگی بیشتری است می‌توان نتیجه گرفت که انعطاف‌پذیری آن در برابر نیروهای اعمالی نسبت به دو رقم دیگر بیشتر است و در اثر اعمال نیروهای خارجی تا تغییر شکل‌های زیادی آسیب نمی‌بیند.
- در هر دو آزمون نفوذسنجی و فشار تک‌محوری، روند تغییرات ضریب الاستیسیتهٔ ظاهری بین ارقام مختلف، یکسان ولی مقادیرآنها با یکدیگر متفاوت است. دلیل این موضوع تفسیر متفاوت منحنی‌های نیرو- تغییرشکل این دو نوع آزمون است.
- از معنی‌دار نبودن تأثیر موقعیت نمونه‌گیری بر خواص مکانیکی در آزمون فشار تک محوری نمی‌توان نتیجه گرفت که سیب جسمی همگن است. بلکه بایسد آزمایش‌های دیگری با نمونه‌های تهیه شده از قسمتها و جهات مختلف سیب انجام شود.

قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران که با حمایت مالی از این پژوهش در قالب طرح نوع ششم به شماره ۷۱۰۹/ک/۰۳۸ و با عنوان «بررسی میزان تغییر خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی در طی انبارداری»، امکان اجرای آن را فراهم آوردند، سپاسگزاری می‌شود. نویسندگان مقاله همچنین وظیفهٔ خود می‌دانند از مدیریت محترم شرکت کشت و صنعت سرخدشت دماوند به دلیل در اختیارگذاشتن نمونه‌های سیب و نیز از ریاست و کارکنان محترم بخش صنایع غذایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج به خصوص سرکار خانم زرگران به دلیل همکاری‌هایشان جهت انجام آزمایش‌ها قدردانی نمایند.

مراجع

1- **Abbott, J. A. and Lu, R. 1996. Anisotropic mechanical properties of apples. Trans. of the ASAE. 1451-1459.**

2- **Anon. 1998. Compression tests of food materials of convex shape. ASAE Standard. S368. 3 MAR95.**

www.SID.ir

Archive of SID

3- **Arnold, P. C. and Mohsenin, N. N. 1971. Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape. Trans. of the ASAE.14(1):78 -84.**

4- **Bajema, R. W., Baritelle, A. L. Hyde, G. M. and Pitts, M. J. 2000. Factors influencing**

Mechanical Properties of Three Varieties of Apples after Five Months Storage

H. Mas'oudi, A. Tabatabaeefar and A. M. Borghei

Determinations of mechanical properties of Iranian varieties of apples are essential for different processing chain in order to increase quality of apples for export or sold in local markets. In this study, penetration and uniaxial compression tests were done on three varieties of apples namely: 'Golden Delicious', 'Red Delicious' and 'Granny Smith', after five months storage using a 'Universal Testing Machine'. In penetration test, the apparent modulus of elasticity, penetration force and penetration energy were determined. In uniaxial compression test, the apparent modulus of elasticity, failure stress, failure strain, failure energy and toughness were determined for each variety. In penetration tests, mean values of the apparent modulus of elasticity were 0.554, 0.702, 0.976 MPa; penetration force were 14.763, 18.698, 26.002 N and penetration energy were 28.796, 43.758, 58.231 mJ for 'Golden Delicious', 'Red Delicious' and 'Granny Smith' apples, respectively. In uniaxial compression tests, mean values of the apparent modulus of elasticity were 1.446, 1.773, 2.842 MPa, failure stress were 0.177, 0.123, 0.247 MPa; failure strain were 11.526, 6.937, 9.023%; failure energy were 10.363, 5.143, 12.238 mJ and toughness were 0.009, 0.004, 0.010 mJ/mm^3 for 'Golden Delicious', 'Red Delicious' and 'Granny Smith' apples, respectively. The analysis of variance of the data showed that in both tests effect of variety on all properties was very significant but effects of position and interaction effect of variety and position were not significant.

Key words: Apple, Mechanical Properties, Penetration Test and Uniaxial Compression Test

www.SID.ir