تعیین برخی از خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی با آزمایشهای پانچ و تک محوری

حسن مسعودی[۱]- احمد طباطبایی فر[۲]- علی محمد برقعی[۳]- محمدعلی شاه بیک[۴]

چکیده

تعیین خواص مختلف سیب های تولیدی درکشورجهت استفاده در طراحی ماشین ها و بهبودخطوط فرآوری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت ضروری است. در این تحقیق با انجام آزمایشات پانچ وتک محوری برروی سه رقم سیب صادراتی بنام های رد د لیشز،گلدن دلیشز وگرانی اسمیت با استفاده از دستگاه تست یونیورسال ، مقادیر ضریب الاستیسیته ظاهری وانرژی گسیختگی برای هریک از این ارقام بدست آمد. همچنین مقادیر تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی و چقرمگی برای هرسه رقم با آزمایش تک محوری تعیین شد.

در آزمایش پانچ مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری برای ارقام گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت به ترتیب برابر با ۰/۷۹۴ ، ۰/۹۰۹ و۱/۲۷۱ مگاپاسگال و نیز مقدارانرژی گسیختگی برای این ارقام به ترتیب برابر با ۱۰/۷۴۶ ، ۷/۵۵۷ و۱۷/۲۲۹ نیوتن در میلیمتر بدست آمد .درآزمایش تک محوری نمونه های استوانه ای شکل از بافت سیب با متوسط قطر ۱۰ میلیمتر و متوسط طول ۱۵ میلیمتر در دستگاه تست یونیورسال بین دو صفحه صاف تحت بارگذاری قرارگرفته و نمودار نیرو- تغییرمکان برای تمامی آنها ترسیم گردید . سپس از روی این نمودارها مقادیر پارامترهای فوق برای هر سه رقم بصورت جداگانه محاسبه شد . برای سیب های گلدن دلیشز ، رد دلیشز و گرانی اسمیت به ترتیب مقدارمدول الاستیسیته۱/۳۶ ،۱/۶۰ و۲/۴۹ مگاپاسکال، انرژی گسیختگی برابر۱۳/۸۰ ،۴/۳۱ و۱۶/۰۹ نیوتن در میلیمتر، تنش گسیختگی۰/۱۹ ،۰/۱۰۲ و۰/۲۵ مگاپاسکال ، کرنش گسیختگی برابر با ۱۲/۴۶ ،۶/۲۷ و ۱۰/۳۳ درصد و نیز چقرمگی ۰/۰۱۲ ، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۱۴ نیوتن در میلیمتر بر مترمکعب بدست آمد .

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران
۳- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران
۴- استادیار موسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی

واژه های کلیدی : سیب ، خواص مکانیکی ، آزمایش پانچ و آزمایش تک محوری.

مقدمه :

محصولات کشاورزی معمولا جهت آماده شدن به عنوان ماده غذایی تحت تاثیر یک یاچند فرآیند قرار می گیرند. خواه فرآیند های ساده ای مثل تمیزکردن، جداکردن، شستشو، انتقال وجابجائی و توزین و خواه فرآیندهای تکمیلی و یا تبدیلی که به نوعی ویژگیهای محصول را دستخوش تغییرات می نماید. بنابراین شناخت خواص مختلف فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آنها ونحوه حفظ ویا تغییر آنها درجهت اهداف موردنظر فرآیند می تواند درحفظ کمی و کیفی محصول تاثیر بسزایی داشته باشد. از طرفی طراحی و ساخت ماشین ها و تجهیزات مورد نیاز برای برداشت، حمل و نقل ، انبارداری و بسته بندی سیب بدون داشتن پارامترهای مختلف آن بخصوص پارامترهای مکانیکی اش امکانپذیر نیست . لذا تعیین خواص مختلف سیب های تولیدی درکشورجهت استفاده در طراحی ماشین ها و بهبودخطوط فرآوری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت تولید ضروری است .

درکشورهای پیشرفته و صنعتی دنیا ازجمله ایالات متحده آمریکا تحقیقات فراوانی در زمینه خواص مختلف سیب های تولیدی درآن مناطق انجام شده است ، که دراینجا به برخی از آنها اشاره می شود. آبوت و لو *(J.A. Abbott , R.Lu,1995)* آزمایشاتی را برای تعیین تاثیر رسیدگی ، جهت وموقعیت نمونه گیری بر روی چهار خاصیت مکانیکی شامل تنش گسیختگی ، کرنش گسیختگی ، انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری ، برای سه رقم سیب دلیشز، گلدن دلیشز و رم بیوتی انجام دادند . نتایج آزمایشات نشان داد که رابطه متقابل رقم * موقعیت معنی دار نیست . سیب های دلیشز در محیط خود تغییرات بیشتری نسبت به سیب های گلدن دلیشز و رم بیوتی داشتند . خواص نا متجانس سیب ها بیشتر درقسمتهای میانی آنها دیده شد تا درنقاط پائینی و فوقانی شان*[1]* .فریدلی و آدریان*(R.B.Fridley , P.A.Adrian, 1964)* برخی از خواص مکانیکی هلو ،گلابی ، زردآلوو دورقم سیب بنامهای مکینتاش و گراونستین را تعیین کردند*[10]*. فلتچر*(S.W.Fletcher,1971)* خواص مکانیکی دو رقم سیب شامل بلادوین و نورثرن اسپای را دردو حالت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی تعیین نمود*[9]* . چاپل و هامان*(T.W.Chappell and D.D. Hamann,1968)* مقادیر نسبت پواسون و مدول یانگ را برای سه رقم سیب تازه بنام های رددلیشز ، وین سپ وگلدن دلیشز تعیین نمودند*[7]* .گارسیا و همکاران*(J.L.Garcia et al. 1995)* درتحقیقی فاکتورهای موثر برخواص مکانیکی و میزان آسیب دیدگی سیب ها و گلابی ها را بررسی کردند*[11]* . باجما وهمکاران *(R.W.Bajema et al. , 2000)* عوامل موثر برخواص مکانیکی دینامیکی بافت سیب رقم رددلیشزرا موردبررسی قرار دادند*[5]*. باریتله وهمکاران*(A.L.Baritelle et al. , 2000)* تاثیر دما و فشار مایع داخل سلولی را بر تنش وکرنش

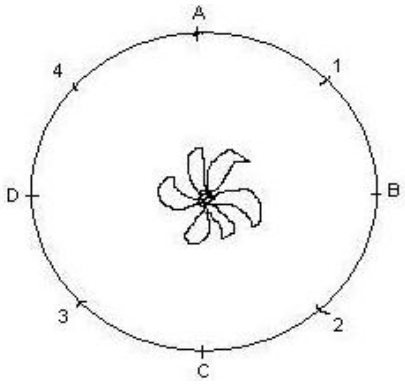
گسیختگی چهار رقم سیب به نامهای فوجی ، رم ، رددلیشز وگلدن دلیشز بررسی نمودند[6] .محسنین و همکاران(*N.N.Mohsenin et al.*) درتحقیقات فراوانی خواص مختلف فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی از جمله ارقام مختلف سیب را تعیین و منتشر نموده اند[14,13,12,8,2] . درباره تعیین خواص مکانیکی ارقام مختلف سیب تولیدی درایران تحقیقات گزارش شده ای مشاهده نگردید .

مواد و روشها :

دراین تحقیق سه رقم سیب گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت که از ارقام صادراتی سیب های تولیدی در کشور می باشند ، در مهرماه ۸۲ از شرکت کشت و صنعت سرخدشت دماوند نمونه گیری شده و پس از انتقال به سردخانه در درون جعبه های چوبی ودردمای c° ۳ تا ۴ به مدت چهار ماه (۱۱۷ روز)، نگهداری شدند. پس از طی این مدت سیب ها از سردخانه خارج و به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای محیط آزمایشگاه(۲۲ درجه سانتیگراد) به مدت ۲۴ ساعت قرارداده شدند تا با محیط هم دما شوند .

ابتدا طرح آماری موردنیاز در قالب بلوک کامل تصادفی بصورت فاکتوریل سه فاکتوره در۹ تکرار با پارامترهای مستقل شامل دو روش انجام آزمایش ، سه رقم سیب و چهار موقعیت و متغیرهای وابسته شامل ، انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری ریخته شد . سپس در دمای محیط آزمایشگاه (c° ۲۲) با استفاده از دستگاه تست یونیورسال (اینسترون) (شکل۱- راست) دو نوع آزمایش پانچ و تک محوری برای تعیین این خواص انجام شد. میانگین رطوبت بر پایه تر سیب های گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت به ترتیب ۸۲/۹۲ ، ۸۳/۸۲ و۸۴/۳۷ درصد بود.

در ا نجام آزمایش پانچ برای تعیین خواص مکانیکی سیب ها شامل انرژی گسیختگی ، مدول الاستیسیته ظاهری ابتدا چهار نقطه متقارن $\mathcal{D,C,B,A}$ بر روی خط استوای سِیب ها تعیین شد(شکل۱- چپ)، سپس لایه نازکی از پوست سیب در این نقاط برداشته شد. مطابق شکل ۱ (وسط) با قراردادن سیب ها بر روی صفحه ای تخت ، با استفاده از پروب فولادی محدبی که قطرآن ۱۱ میلیمتر و شعاع انحناء نوک آن ۸,۷۳ میلیمتر بود ، سیب ها در هر یک از این نقاط با سرعت ۲۵/۴ میلیمتر در دقیقه بارگذاری شده و توسط کامپیوتر نمودار نیرو _ تغییر مکان برای هر کدام از نقاط ترسیم گردید . میزان نفوذ پروب در داخل بافت سیب ۱۵ میلیمتر انتخاب شد . تعداد آزمایشات برای هر سیب چهار عدد و برای هر رقم ۳۶ عدد و مجموع آزمایشات پانچ از هر سه رقم ۱۰۸ عدد بود.

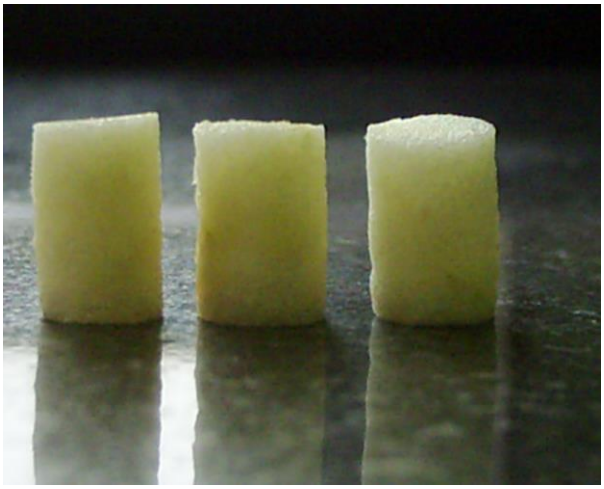


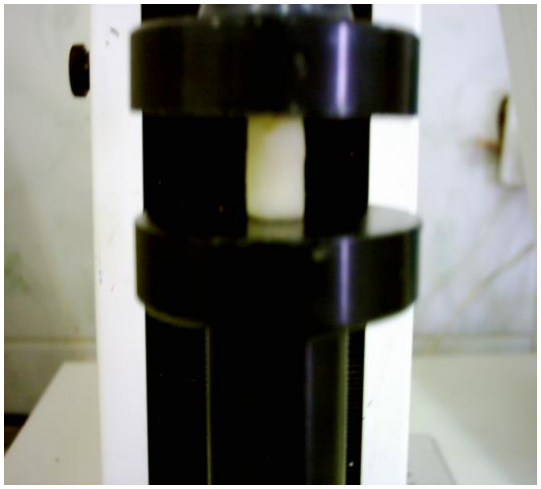
شکل(۱).

دستگاه تست یونیورسال (راست) ، آزمایش پانچ (وسط) و موقعیتهای نمونه گیری روی هر سیب (چپ).

در آزمایش تک محوری برای تعیین خواص مکانیکی سیب ها شامل تنش گسیختگی ، کرنش گسیختگی ، انرژی گسیختگی ، مدول الاستیسیته ظاهری و چقرمگی نمونه های استوانه ای شکل از بافت سیب با متوسط قطر ۱۰ میلیمتر و متوسط ارتفاع ۱۵ میلیمتر تهیه شده ، سپس در دستگاه اینسترون بین دو عدد صفحه تخت فولادی یا سرعت ثابت ۲۵/۴ میلیمتر در دقیقه تحت بارگذاری قرار گرفتند و یطور همزمان توسط کامپیوتر نمودار نیرو _ تغییرمکان برای هرنمونه ترسیم گردید .آنگاه از روی این نمودار ها مقادیر مورد نیاز برای محاسبه پارامترهای فوق استخراج شد . میزان بارگذاری نمونه ها ۸ میلیمتر انتخاب شد .
برای تهیه نمونه ها از روش پیشنهادی باجما و همکاران*(R.Bajema et al. , 1998)* استفاده شد*[4]*. مطابق شکل ۱(چپ)، ابتدا چهار نقطه ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ که بصورت متقارن بر روی خط استوای سیب ودر بین نقاط $\mathcal{D,C,B,A}$ مربوط به آزمایش پانچ قرار داشتند ، بعنوان محلهای نمونه گیری انتخاب شدند . سپس نمونه گیر استوانه ای با قطرداخلی ۱۰ میلیمترکه به همین منظور ساخته شده بود(شکل۲) به سه نظام یک دستگاه دریل برقی دستی بسته شده و دریل برروی یکعدد پایه کوچک ثابت گردید. با قرار دادن نوک نمونه گیر بر روی هرکدام از نقاط ، دریل روشن شده و سیب بصورت آهسته به سمت بالا حرکت داده شد . با نفوذ نمونه گیر دردرون بافت سیب نمونه ای به شکل استوانه با قطر متوسط ۱۰ میلیمتر از بافت سیب گرفته شده ودردرون نمونه گیر قرار می گرفت که برای خارج کردن آن از داخل نمونه گیر از فشار باد استفاده شد(شکل ۲) . بدین ترتیب تعداد نمونه ها ی تهیه شده از هر سیب چهار عدد واز هر رقم ۳۶ عدد و مجموع نمونه های مورد آزمایش از هر سه رقم ۱۰۸ عدد بود. برای برش نمونه ها به طول مورد نظر از یکعدد پایه تفلونی استفاده شد که دارای دیواره ای به ضخامت ۱۵ میلیمتر و سوراخهائی به قطر ۱۰ میلیمتر بود . با قراردادن هر یک از نمونه های استوانه ای سیب در درون سوراخهای پایه تفلونی با استفاده از یکعدد تیغ جراحی تیز نمونه از دو طرف بصورت کاملا صاف و تخت برش داده شد . بدین ترتیب نمونه های استوانه ای از بافت سیب برای انجام آزمایش آماده بودند(شکل ۳).

شکل(۲) . نمونه گیر استوانه



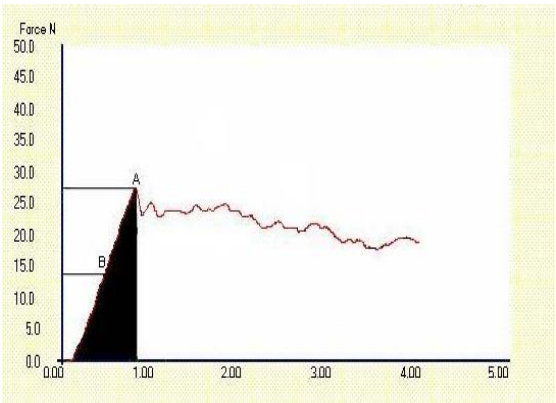


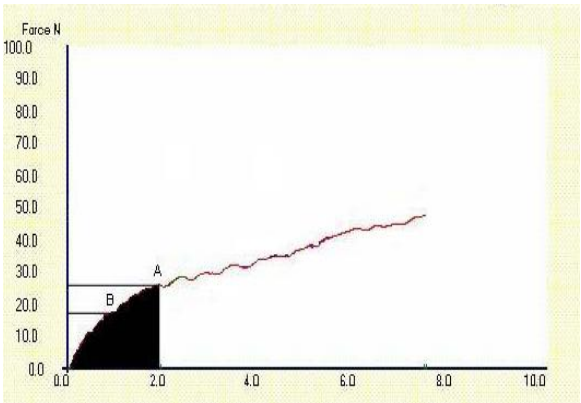
وانه ای سیب (بالا) و نحوه نمونه گیری (چپ)

شکل(۳) . نمونه های استوانه ای تهیه شده از بافت سیب ، پس از نمونه گیری (چپ) و درحین بارگذاری(راست)

نقطه تسلیم*(Bioyield Point)* در محصولات کشاورزی نقطه ای از نمودار نیرو – تغییر مکان است که در آن با افزایش جابجائی مقدارنیرو کاهش یافته و یا تغییری نمی کند *[3]* . شکل (۴) نمونه ای از نمودارهای نیرو _ تغییرمکان بدست آمده از آزمایشهای پانچ وتک محوری برای سیب گرانی اسمیت و نقطه تسلیم مربوطه(نقطه A) را نشان می دهد . مقادیرخواص مکانیکی برای هر کدام از نمونه ها با داشتن مقدار نیرو و تغییر مکان برای نقاطA وB که به ترتیب نقاط مربوط به حد تسلیم و حد الاستیک(که دراینجا ۵۰ درصد حدتسلیم در نظر گرفته شده است *[1,15]*) می باشند ، به صورت زیر محاسبه گردید*[15]* .

شکل (۴) . نمودارهای نیرو _ تغییرمکان بدست آمده از آزمایشهای پانچ (راست) و تک محوری(چپ) برای





سیب گرانی اسمیت و سطح زیر منحنی برای محاسبه انرژی گسیختگی.

درآزمایش پانچ مقدار مدول الاستیسیته ظاهری برای هر نقطه از رابطه زیر محاسبه شد*[15]* :

(۱)

$$E = \frac{0/531F}{D^{3/2}}\left(\frac{2}{r}\right)^{1/2}(1-\mu^2)$$

که در این رابطه :

E = مدول الاستیسیته ظاهری (MPa) ، F = نیروی وارده درحد الاستیک (N) ، D= میزان نفوذ پروب در حدالاستیک (mm) r = شعاع انحناء نوک پروب(mm) و μ= نسبت پواسون ،که برای ارقام مختلف سیب بین۰/۲۴ تا ۰/۳۴ می باشد و در اینجا برابر با ۰/۲۹ فرض شده است .

انرژی گسیختگی برابر با سطح زیر نمودار نیرو _ تغییرمکان از مبدا مختصات تا نقطه تسلیم می باشد(شکل۴) . برای هر دو آزمایش پانچ و تک محوری این سطح بوسیله نرم افزار *Photoshop 7* انتخاب ودرنرم افزار *Areameter*که به منظور محاسبه سطوح طراحی شده ، محاسبه شد .

برای آزمایش تک محوری تنش گسیختگی از رابطه زیر بدست آمد :

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \qquad (۲)$$

که در این رابطه :

σ = تنش گسیختگی بر حسب MPa ، F = نیروی وارد بر نمونه در نقطه تسلیم بر حسب N ، d = قطر متوسط نمونه ها برحسب mm و A = سطح مقطع متوسط نمونه ها بر حسب mm^2 است .

کرنش گسیختگی نیزبرای هر یک از نمونه ها از رابطه زیر بدست آمد :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \qquad (۳)$$

که در این رابطه :

ε = کرنش گسیختگی بر حسب mm/mm ، ΔL = میزان تغییر طول نمونه در نقطه تسلیم بر حسب mm و L= طول متوسط نمونه ها برحسب mm است .

مدول الاستیسیته ظاهری نمونه ها نیز با معلوم بودن سطح مقطع و طول اولیه آنها از رابطه زیر بدست آمد :

$$E = \frac{PL}{A\Delta L} \qquad (۴)$$

که در این رابطه :

E = مدول الاستیسیته ظاهری بر حسب MPa ، P = نیروی وارد بر نمونه درحد الاستیک بر حسبN ، ΔL = میزان تغییر طول نمونه در حدالاستیک بر حسب mm ، L= طول اولیه متوسط نمونه ها برحسب mm و A = سطح مقطع متوسط نمونه ها بر حسب mm^2 است .

برای تعیین میزان چقر مگی هر یک از نمونه ها ، مقدار انرژی گسیختگی آنها بر حجم نمونه ها تقسیم شده و مقدار چقرمگی برحسب $N.mm/mm^3$ تعیین گردید.

برای تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشات از طرح آزمایشی بصورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب بلوک کامل تصادفی در۹ تکرار با پارامترهای مستقل شامل دو روش انجام آزمایش ، سه رقم سیب وچهار موقعیت نمونه گیری و متغیرهای وابسته شامل انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری استفاده شد . تجزیه وتحلیل

آماری نتایج با استفاده از نرم افزار*SPSS10* و عملیات آماده سازی داده ها و تعیین مقادیر توسط نرم افزار *Excel* انجام شد .

نتایج و بحث :

جدول شماره (۱) پیوست ، مقادیرخواص مکانیکی هرسه رقم سیب را نشان می دهد . همانطور که در این جدول مشاهده می شود ، در آزمایش پانچ بیشترین مقدار انرژی گسیختگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط ۱۷/۲۳ نیوتن درمیلیمتر و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با متوسط ۷/۵۶ نیوتن درمیلیمتر می باشد . بیشترین مقدار مدول الاستیسیته ظاهری برای رقم گرانی اسمیت با متوسط *MPa* ۱/۲۷ و کمترین آن برای رقم گلدن دلیشز با متوسط *MPa* ۰/۷۹۴ می باشد . در آزمایش تک محوری بیشترین مقدار تنش گسیختگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط *MPa*۰/۲۵ و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با متوسط *MPa* ۰/۱۰۲ می باشد . بیشترین مقدار کرنش گسیختگی برای رقم گلدن دلیشز با متوسط ۱۲/۴۶ درصد و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با متوسط ۶/۲۷ درصد می باشد . بیشترین مقدار انرژی گسیختگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط ۱۶/۰۹ نیوتن درمیلیمتر و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با متوسط ۴/۳۱ نیوتن درمیلیمتر می باشد . بیشترین مقدار مدول الاستیسیته ظاهری برای رقم گرانی اسمیت با متوسط *MPa*۲/۴۹ و کمترین آن برای رقم گلدن دلیشز با متوسط *MPa* ۱/۳۶ می باشد . بیشترین مقدار چقرمگی برای رقم گرانی اسمیت با متوسط $N.mm/mm^3$ ۰/۰۱۴ و کمترین آن برای رقم رد دلیشز با متوسط $N.mm/mm^3$ ۰/۰۰۴ می باشد . دیده می شود که در هردو روش انجام آزمایش روند تغییرات انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری یکسان است ولی مقادیر آنها با یکدیگر اختلاف دارد.

جدول شماره(۲) پیوست، نتایج تجزیه واریانس انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری را برای هر سه رقم سیب نشان می دهد. همانگونه که دیده می شود، تاثیر رقم بر میانگین هردو پارامترکاملا درسطح کمتر از ۱ درصد معنی دار است ، همچنین تاثیر متقابل روش * رقم برای هردو پارامتر معنی دار می باشد . تاثیر روش بر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری کاملا درسطح کمتر از ۱ درصد معنی دار ولی برای انرژی گسیختگی معنی دار نمی باشد . تاثیر موقعیت و همچنین تاثیر متقابل روش * رقم* موقعیت بر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری معنی دار نبوده ولی برای انرژی گسیختگی معنی دار است . تاثیر متقابل روش * موقعیت و رقم * موقعیت بر هردو پارامتر معنی دار نمی باشد . عدم اختلاف بین خواص مکانیکی نمونه هائی که از موقعیتهای مختلف در روی خط استوای یک سیب تهیه شده اند ، با نتایج آزمایشات آبوت و لو*(J.A. Abbott , R.Ku,1995)* مطابقت دارد .

جدول شماره(۳) پیوست ، نتایج مقایسه میانگین های انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری را برای هر دو آزمایش به روش آزمون دانکن نشان می دهد . میانگین مقادیر هر دو پارامتر برای هرسه رقم سیب با یکدیگر اختلاف معنی داری دارد . مقدار مدول الاستیسیته ظاهری برای موقعیتهای مختلف با همدیگر اختلاف معنی داری نداشته ولی مقدار انرژی گسیختگی درموقعیت چهارم با موقعیتهای اول ودوم اختلاف داشته و در موقعیت سوم با موقعیتهای دیگر اختلافی ندارد.

جدول شماره (۴) پیوست ، نتایج مقایسه میانگین های خواص مکانیکی هر سه رقم سیب را برای آزمایش تک محوری به روش آزمون دانکن نشان می دهد . میانگین تنش گسیختگی ، کرنش گسیختگی ، انرژی گسیختگی و چقرمگی درهرسه رقم سیب با یکدیگر اختلاف معنی داری دارد. مقدار مدول الاستیسیته ظاهری ارقام رددلیشز وگلدن دلیشز با همدیگر اختلاف معنی داری نداشته ولی با رقم گرانی اسمیت اختلاف معنی داری دارد. این نتایج با نتایج آبوت و لو*(J.A. Abbott , R.Ku,1995)* مطابقت دارد .

نتیجه گیری ها :

بطور خلاصه از مطالب بیان شده می توان نتایج زیر را گرفت :

۱. در هردو روش پانچ و تک محوری روند تغییرات انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری در بین ارقام مختلف ، یکسان ولی مقادیر آنها با یکدیگر متفاوت است . همچنین آزمایش تک محوری بدلیل مشخص بودن نقطه تسلیم برای تعیین خواص مکانیکی سیب ارجحیت داشته و بنظر می رسد نتایج آن به واقعیت نزدیکتر باشد .
۲. ازآنجائیکه مقادیر تنش گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری سیب های رقم گرانی اسمیت از دو رقم دیگر بیشتر می باشد، لذا این رقم سفتی بیشتری داشته و در برابر ضربات و نیروهای وارده مقاومتر است .
۳. رقم رددلیشزاز لحاظ کلیه خواص مکانیکی دارای مقادیر کمتری نسبت به دورقم دیگر می باشد، لذا تحمل آن در برا بر بارگذاری خارجی کمتر بوده ودر مقابل نیروها و تنشهای اعمالی پایداری کمتری داشته وبه شدت آسیب پذیر می باشد.
۴. از آنجائیکه رقم گلدن دلیشز دارای کرنش گسیختگی بیشتری نسبت به دو رقم دیگر می باشد ، لذا انعطاف پذیری آن در برابر نیروهای اعمالی بیشتر است .

سپاسگزاری :

نویسندگان مقاله وظیفه خود می دانند از مدیریت محترم شرکت کشت و صنعت سرخدشت دماوند بخاطر دراختیارگذاشتن نمونه های سیب و نیز ریاست محترم و بخش صنایع غذایی موسسه تحقیقات فنی – مهندسی کشاورزی کرج بخصوص سرکار خانم زرگران و خانم مهندس بهمدی که همکاری لازم را جهت انجام آزمایشات داشتند، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع :

۱. *Abbott,J.A. and R.Lu . 1996. Anisotropic Mechanical Properties of Apples. Trans. of the ASAE (1971): 1451-1459.*
۲. *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 (1) 14 : 78 -84.*
۳. *ASAE Standard .1998. Compression Tests of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.3 MAR95.*

۴. *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.*

۵. *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.*

۶. *Baritelle, A.L., G.M. Hyde, and J. Varith. 2000. Turgor and Temperature Affects on Apple Tissue Failure Stress and Strain. ASAE Paper.*

۷. *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.*

۸. *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.*

۹. *Fletcher, S.W., 1971. Mechanical Behavior of Processed Apples. Trans. of the ASAE (1971): 14-16.*

۱۰. *Fridlet, R.B. and P.A. Adrian .1968. Mechanical Properties of Peaches, Pears, Apricots, and Apples. Trans. of the ASAE (1968): 135-138,142.*

۱۱. *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.*

۱۲. *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.*

۱۳. *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.*

۱۴. *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.*

۱۵. *Mohsenin, N.N.1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials.2nd Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers. Newyork.*

جدول پیوست شماره (۱) . مقادیر خواص مکانیکی سیب ها در آزمایشهای پانچ وتک محوری

نوع آزمایش	رقم	خواص مکانیکی	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف	ضریب

پانچ	گلدن دلیشز	مدول الاستیسیته ظاهری(*MPa*)	۰/۷۴۹	۱/۳۵۸	۰/۵۴۳	۰/۱۹۲	۲۴/۲۱۸
		انرژی گسیختگی (*N.mm*)	۱۰/۷۴۶	۲۴/۹۳۵	۳/۱۱۷	۵/۲۳۷	۴۸/۷۳۵
	رد دلیشز	مدول الاستیسیته ظاهری(*MPa*)	۰/۹۰۹	۲/۱۰۲	۰/۵۱۲	۰/۲۹۴	۳۲/۳۴۸
		انرژی گسیختگی (*N.mm*)	۷/۵۵۷	۲۴/۲۴۲	۲/۲۵۱	۴/۷۵۷	۶۲/۹۴۸
	گرانی اسمیت	مدول الاستیسیته ظاهری(*MPa*)	۱/۲۷۱	۲/۳۸۵	۰/۵۷۶	۰/۴۷۶	۳۷/۴۳۵
		انرژی گسیختگی (*N.mm*)	۱۷/۲۲۹	۴۰/۸۶۶	۴/۸۴۸	۸/۲۷۵	۴۸/۰۲۶
تک محوری	گلدن دلیشز	تنش گسیختگی (*MPa*)	۰/۱۹	۰/۳۲۳	۰/۰۷۹	۰/۰۶۱	۳۲/۴۳
		کرنش گسیختگی (%)	۱۲/۴۶	۱۸/۵۱	۶/۹۶۷	۲/۸۶۳	۲۲/۹۹
		انرژی گسیختگی (*N.mm*)	۱۳/۸۰	۲۷/۵۳	۳/۲۹	۶/۰۷۷	۴۴/۰۴
		مدول الاستیسیته ظاهری(*MPa*)	۱/۳۶	۲/۱۶۲	۰/۸۳۴	۰/۳۳۹	۲۴/۹۳
		چقرمگی($N.mm/mm^3$)	۰/۰۱۲	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۴۴/۰۴
	رد دلیشز	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
		انرژی گسیختگی (*N.mm*)	۴/۳۱	۱۴/۹۸	۰/۵۱۹	۳/۳۷۲	۷۸/۲۴
		مدول الاستیسیته ظاهری(*MPa*)	۱/۶۰	۲/۶۳۷	۰/۵۶۴	۰/۵۵۸	۳۴/۹۳
		چقرمگی($N.mm/mm^3$)	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳	۷۸/۲۴
	گرانی اسمیت	تنش گسیختگی (*MPa*)	۰/۲۵	۰/۳۴۸	۰/۱۳۱	۰/۰۴۹	۱۹/۳۲
		کرنش گسیختگی (%)	۱۰/۳۳	۱۷/۲۸	۵/۱۷۳	۲/۱۸۷	۲۱/۱۸
		انرژی گسیختگی (*N.mm*)	۱۶/۰۹	۲۵/۹۷	۶/۹۲۶	۴/۵۸۹	۲۸/۵۲
		مدول الاستیسیته ظاهری(*MPa*)	۲/۴۹	۴/۱۹۸	۱/۴۱۱	۰/۶۹۷	۲۷/۹۶
		چقرمگی($N.mm/mm^3$)	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۲۸/۵۲

جدول پیوست شماره(۲) . نتایج تجزیه واریانس مقادیرخواص مکا نیکی برای آزمایشهای پانچ وتک محوری

خواص مکانیکی	منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح احتمال
انرژی گسیختگی	روش	۱۰/۶۸۹	۱	۱۰/۶۸۹	۰/۳۵۵ ns	۰/۵۵۲
	رقم	۴۱۸۷/۵۸۹	۲	۲۰۹۳/۷۹۴	۶۹/۵۷۶ **	۰/۰۰۰
	موقعیت	۲۵۴/۸۶۹	۳	۸۴/۹۵۶	۲/۸۲۳ **	۰/۰۴۰
	روش* رقم	۳۷۰/۱۰۵	۲	۱۸۵/۰۵۲	۶/۱۴۹ **	۰/۰۰۳
	روش* موقعیت	۱۰۳/۷۸۴	۳	۳۴/۵۹۵	۱/۱۵۰ ns	۰/۳۳۰
	رقم* موقعیت	۴۰/۵۸۸	۶	۶/۷۶۵	۰/۲۲۵ ns	۰/۹۶۸
	روش* رقم* موقعیت	۳۹۸/۵۶۴	۶	۶۶/۴۲۷	۲/۲۰۷ **	۰/۰۴۴

		خطا	۵۷۷۸/۰۱۲	۱۹۲	۳۰/۰۹۴	
		کل	۴۰۳۱۶/۳۷۳	۲۱۶		
مدول ظاهری	الاستیسیته	روش	۳۶/۷۵۹	۱	۱۷۸/۰۵۳ **	۰/۰۰۰
		رقم	۲۵/۸۱۴	۲	۶۲/۵۱۹ **	۰/۰۰۰
		موقعیت	۰/۲۷۲	۳	۰/۴۳۹ ns	۰/۷۲۵
		روش* رقم	۴/۳۹۱	۲	۱۰/۶۳۴ **	۰/۰۰۰
		روش* موقعیت	۱/۱۱۷	۳	۱/۸۰۴ ns	۰/۱۴۸
		رقم* موقعیت	۲/۳۰۴	۶	۱/۸۶۰ ns	۰/۰۹۰
		روش* رقم* موقعیت	۰/۸۴۷	۶	۰/۱۴۱ ns	۰/۶۶۳
		خطا	۳۹/۶۳۸	۱۹۲	۰/۲۰۶	
		کل	۵۳۶/۹۶۹	۲۱۶		

** اختلاف معنی دار درسطح ۱ درصد ns عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول پیوست شماره(۳) . نتایج مقایسه میا نگین های انرژی گسیختگی و مدول الاستیسیته ظاهری به روش آزمون دا نکن

خاصیت مکانیکی	روش		رقم		موقعیت			
	پانچ	تک محوری	گلدن دلیشز	رد دلیشز	گرانی اسمیت	۱	۲	۳	۴
انرژی گسیختگی (N.mm)	/۸۴۴ ۱۱ a	۱۱/۳۹۹ a	۱۲/۲۷۲ b	۵/۹۳۳ a	۱۶/۶۵۹ c	/۶۸۱ ۱۰ a	/۵۷۹ ۱۰ a	/۹۸۷ ۱۱ ab	۲۳۹ ۱۳ b
مدول الاستیسیته ظاهری (MPa)	۰/۹۹۲ a	۱/۸۱۷ b	۱/۰۷۷ a	۱/۲۵۳ b	۱/۸۸۲ c	۱/۴۶۱ a	۱/۴۰۱ a	۱/۳۶۴ a	۳۹۰ a

توضیح : میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند ، ازلحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ ٪ با هم ندارند .

جدول پیوست شماره(۴) . نتایج مقایسه میا نگین های خواص مکانیکی در آزمایش تک محوری به روش آزمون دا نکن

رقم سیب	تنش گسیختگی (MPa)	کرنش گسیختگی (%)	انرژی گسیختگی (N.mm)	مدول الاستیسیته ظاهری (MPa)	چقرمگی (N.mm/mm3)

گلدن دلیشز	۰/۱۹	۱۲/۴۶	۱۳/۸۰	۱/۳۶	۰/۰۱۲
	b	*c*	*b*	*a*	*b*
رد دلیشز	۰/۱۰	۶/۲۷	۴/۳۱	۱/۶۰	۰/۰۰۴
	a	*a*	*a*	*a*	*a*
گرانی	۰/۲۵	۱۰/۳۳	۱۶/۰۹	۲/۴۹	۰/۰۱۴
اسمیت	*c*	*b*	*c*	*b*	*c*

توضیح : میانگین هایی که دارای حرف مشترک هستند ، ازلحاظ آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ ٪ با هم ندارند .