برخی خواص مکانیکی میوه نارنج در بارگذاری شبه استاتیکی

علی اکبر دادور[۱*]، مهدی خجسته پور[۲] و حسن صدرنیا[۳]

۱- دانشجوی دکتری ، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

برای تعیین بار مجاز وارده بر میوه نارنج و دیگر محصولات کشاورزی در مدت حمل و نقل ، انبار و برداشت مکانیکی، شناخت خواص مکانیکی این محصولات در حالتهای تنش‌های ساده لازم است. در این تحقیق دو سری آزمایش برای تعیین و مقایسه خواص مکانیکی سه اندازه نارنج تولید منطقه شمال کشور در بارگذاری شبه استاتیکی انجام شد. بدین منظور از آزمایش فاکتوریل ۳×۲ (۲جهت بارگذاری×۳اندازه) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار و متغیرهای وابسته شامل نیروی شکست، تغییرشکل شکست، نیروی نفوذ و تغییرشکل نفوذ استفاده شد. میانگین خواص مکانیکی نارنج های کوچک، متوسط و بزرگ در بارگذاری شبه استاتیکی به ترتیب برابر بودند با نیروی شکست ۵۵/۵۳ ، ۶۴/۵۱ و ۶۴/۹۲ نیوتن، تغییرشکل شکست، ۲۴/۳۰ ، ۲۸/۸۰ و ۲۸/۹۶ میلیمتر، نیروی نفوذ ۳۳/۳۵ ، ۳۷/۱۱ و ۴۳/۸۶ نیوتن و تغییرشکل نفوذ ۱۱/۷۴، ۱۲/۶۱ و ۱۲/۲۶ میلیمتر. تاثیر فاکتور اندازه بر نیرو و تغییرشکل شکست معنی دار شد، بطوریکه با افزایش اندازه ، نیرو و تغییرشکل شکست میوه نارنج افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بارگذاری شبه استاتیکی، تغییرشکل نفوذ، خواص مکانیکی، نارنج و نیروی شکست

مقدمه

در طول انجام بیشتر عملیات از جمله برداشت، حمل و نقل و انبار و نگهداری، نارنج تحت تاثیر عوامل مکانیکی که همان نیروهای استاتیکی و دینامیکی هستند قرار می‌گیرند. یک نیرو همیشه همراه با تغییرشکل است. گاهی این تغییرشکل زیاد است که سبب فشردگی میوه می‌گردد و گاهی نیز اندک بوده و خسارتی در میوه ایجاد نمی‌کند. بنابراین میوه اغلب به وسیله نیروهای ساکن و متحرک خارجی آسیب می‌بینند طرز ایجاد آسیب در محصولات کشاورزی در حال حاضر کاملا شناخته شده نیست اما آغاز گسیختگی بوسیله نقطه تسلیم بیولوژیکی مشخص می‌شود. بنابراین وقتی بار وارد از حد تسلیم تجاوز کند آسیب شروع می‌شود. مرکبات و در آن میان نارنج امروزه از اهمیت بالایی در کشاورزی برخوردار بوده و منبع مهم درآمد برای کشورهای تولید کننده این محصولات می‌باشد. برای تعیین بار مجاز وارده بر میوه نارنج و دیگر محصولات کشاورزی در مدت حمل و نقل، انبار و برداشت مکانیکی شناخت خواص مکانیکی این محصولات در حالتهای تنش‌های ساده لازم است. با شناخت این خواص مکانیکی می‌توان

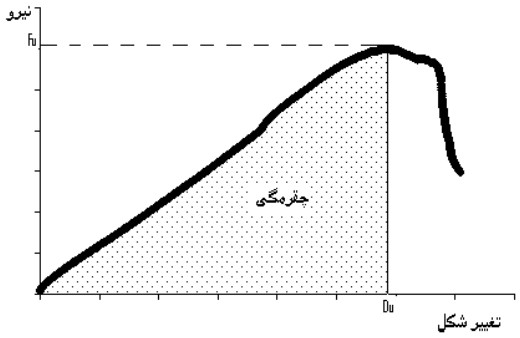
حالتهای بارگذاری پیچیده‌تری را که در عمل اتفاق می‌افتند ارزیابی کرد و بطور تقریبی وقوع و عدم وقوع آسیب را پیش بینی نمود. آزمون فشار برای شبیه سازی حالتی که در آن میوه انبار و جابجا می‌شود کاربرد دارد. درحالی که آزمون نفوذ اغلب استحکام میوه و سبزیجات را برای تخمین زمان برداشت یا ارزیابی استحکام پس از برداشت میوه اندازه‌گیری می‌کند. (معمول ترین روش برای تعیین رسیدگی میوه فشاردادن میوه با انگشت شصت می‌باشد).

خواص مکانیکی محصولات کشاورزی توسط بسیاری از محققان گزارش و تحلیل شده‌اند. برای نمونه در تحقیقی مقاومت به ضربه سیب زمینی بوسیله پلانجر را گزارش شد(Witz,1954) یا تاثیر آب و دما بر روی تورم پوسته مرکبات را اندازه‌گیری شده است (Kaufmann,1970). تغییر شکل ابتدایی و دائمی آزمون خزش میوه مرکبات برای نشان دادن مقدار سفتی آن را گزارش شده است(Sarig and Nahir,1973). در تحقیقی نسبت پوآسون پوسته و مغز میوه مرکبات را تعیین شد(Gyasi *et al.*,1981) و تاثیر تیمار اسید جبرلیک را بر روی خواص مکانیکی پوسته و مغز میوه پرتقال تعیین شده است(Fidelibus *et al.*,2002). برخی محققان خواص فیزیکی و مکانیکی پرتقال را در دو حالت یخچالی و انباری تعیین نمودند. آنها گزارش نمودند انرژی برش با افزایش زمان انبار در هر دو حالت کاهش می‌یابد(Singh and Reddy,2006). در تحقیقی خواص مکانیکی میوه پرتقال رقم تاروکو در بارگذاری بوسیله صفحات موازی مطالعه شده است(Pallottino *et al.*,2011). اما تاکنون تحقیقی بر روی خواص مکانیکی میوه نارنج صورت نگرفته است. بنابراین با توجه به کمبود اطلاعات در خصوص خواص مکانیکی نارنج تولید داخل هدف از تحقیق حاضر بررسی و مقایسه برخی خواص مکانیکی میوه نارنج در بارگذاری شبه استاتیکی است.

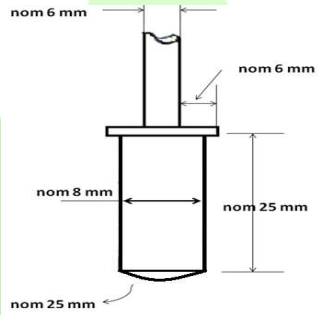
مواد و روش‌ها

در این تحقیق میوه نارنج که از مرکبات تولیدی در کشور می‌باشد در دی ماه سال ۱۳۸۷ از مزرعه ای در شهرستان تنکابن واقع در شمال کشور ایران نمونه گیری شده و پس از انتقال به یخچال در دمای ۵-۶ درجه سانتی گراد به مدت سه روز نگهداری شدند. پس از طی این دوره نارنجها از یخچال خارج و به آزمایشگاه مواد دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شدند و در دمای محیط آزمایشگاه (۲۰ درجه سانتی گراد) دو سری آزمایش برای تعیین خواص مکانیکی نارنجها در نفوذ و فشار انجام شد.

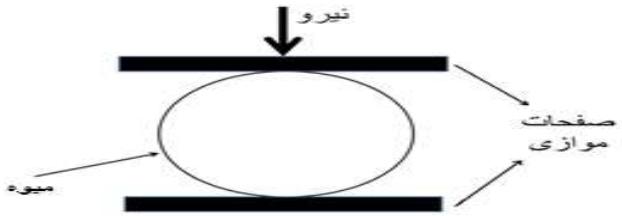
برای تعیین خواص مکانیکی نارنج آزمون نفوذ و فشار با دستگاه کشش فشار بر روی سه اندازه نارنج به ترتیب بوسیله پروب استوانه‌ای با انحنای انتهای ۲۵ میلیمتر و قطر ۸ میلیمتر مطابق با شکل ۲ (ASAE,2008) و دو فک تخت و در دو جهت بارگذاری بر روی میوه کامل نارنج با سرعت شبه استاتیک ۱۰ میلیمتر بر دقیقه مطابق با استاندارد مهندسین کشاورزی آمریکا (ASAE،2008) با ۶ تکرار انجام گرفت. منظور از بارگذاری در جهت طولی هم راستا بودن بردار نیروی اعمالی با امتداد خطی است که طوقه (سر) میوه را به دم میوه متصل می کند و منظور از بارگذاری در جهت عرضی، بارگذاری در جهت عمود بر جهت طولی می باشد.



شکل ۱. نمودار نیرو تغییرشکل برای میوه کامل نارنج در بارگذاری شبه استاتیکی



شکل۲. پروب استوانه‌ای جهت انجام آزمون نفوذی میوه کامل نارنج در بارگذاری استاتیکی



شکل۳. اعمال نیرو توسط صفحات موازی مسطح جهت انجام آزمون شکست میوه کامل نارنج در بارگذاری استاتیکی

نمودار نیرو – تغییر مکان در طی فشردگی نارنج رسم و اطلاعات مربوط به استحکام بافت میوه استخراج گردید. برای محاسبه انرژی از سطح زیر نمودار تا نقطه نفوذ یا شکست بافت استفاده شد. لازم به ذکر است که دستگاه کشش فشار مقادیر نیروی نفوذ و شکست (F_u) و تغییر شکل نفوذ و شکست (D_u) نارنج به ترتیب در آزمونهای نفوذ و شکست را بطور جداگانه در فایلی در نرم افزار ماکروسافت اکسل در اختیار قرار می‌دهد.

با توجه به اینکه عوامل متعددی از قبیل رطوبت،رسیدگی و انبارمانی بر خواص مکانیکی محصولات کشاورزی تاثیر می‌گذارند لذا باید درطی مراحل آزمایش جهت بررسی فاکتورهای مورد نظر سایر عوامل را ثابت نگه داشت.یکی از عوامل موثر که توسط بسیاری از محققین اثر آن بر خواص مکانیکی معنی‌دارگزارش‌شده سطح‌رسیدگی‌میوه است(Ozer *et al*.,1998; Sitkei,1986; Mohsenin,1986 and Sugiyama,1998). همزمانی برداشت از مزرعه در تهیه نمونه های یکنواخت از نظر فیزیولوژی روشی کاملا مورد تایید است.

نتایج و بحث

جدول ۲ مقادیر خواص مکانیکی سه اندازه نارنج شامل نیروی شکست و تغییرشکل شکست را نشان می‌دهد. کمترین مقدار نیروی شکست برای اندازه کوچک و در بارگذاری در جهت عرضی با میانگین ۴۵/۸۵ نیوتن و بیشترین مقدار آن برای اندازه متوسط و در بارگذاری در جهت عرضی با میانگین ۸۵/۷۷ نیوتن می باشد. کمترین مقدار تغییرشکل شکست برای اندازه متوسط و در بارگذاری در جهت عرضی با میانگین ۱۸/۶۸ میلیمتر و بیشترین مقدار تغییرشکل شکست برای اندازه بزرگ و در بارگذاری در جهت عرضی با میانگین ۳۳/۲۳ میلیمتر می باشد. کمترین مقدار نیروی نفوذ مربوط به نارنج اندازه بزرگ در جهت عرضی با میانگین ۱۱/۲۰ نیوتن و بیشترین مقدار آن مربوط به نارنج اندازه بزرگ در جهت طولی با مقدار ۹۲/۱۷ نیوتن می‌باشد. کمترین مقدار تغییرشکل نفوذ مربوط به نارنج با اندازه کوچک و در جهت عرضی با مقدار ۷/۳۲ میلیمتر و بیشترین مقدار آن مربوط به نارنج با اندازه متوسط در جهت طولی با اندازه ۲۰/۴۶ میلیمتر می‌باشد.

جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس خواص مکانیکی مذکور را برای هرسه اندازه نارنج نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود تاثیر اندازه بر میانگین نیرو و تغییرشکل شکست نارنج معنی دار است. یعنی مقادیر خواص مکانیکی مورد بررسی در اندازه های مختلف با یکدیگر متفاوتند. حال آنکه

اندازه بر نیرو و تغییرشکل نفوذ بی‌معنی است. جدول ۲ نیز نتایج مقایسه میانگین های خواص مکانیکی هر سه اندازه نارنج را به روش آزمون دانکن نشان می دهد. میانگین نیروی شکست و تغییرشکل شکست با افزایش اندازه افزایش می یابند. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد تاثیر فاکتور اندازه بر مقدار نیروی شکست میوه نارنج در سطح ۱٪ معنی دار بوده است. با توجه به اینکه اثرات متقابل فاکتورها بر نیروی شکست معنی دار نمی باشد بنابراین با مقایسه میانگین نیروی شکست در هر اندازه می توان نتیجه گیری کرد نارنج اندازه بزرگ در مقابل بارهای خارجی فشاری دارای تحمل بیشتری نسبت به دو اندازه دیگر است. این موضوع در نحوه قرارگیری نارنجها در داخل مخازن توده‌ای مهم است.

بررسی جدول آنالیز واریانس داده ها همچنین حاکی از آن است که اثر اندازه بر تغییرشکل شکست در سطح ۱٪ معنی دار است بنابراین با توجه به مقادیر میانگین تغییرشکل شکست می توان نتیجه گرفت با افزایش اندازه میوه نارنج تغییرشکل شکست افزایش می یابد. این نتیجه با معادلات تئوری هرتز که در آن رابطه مستقیم بین تغییرشکل شکست (D_u) و اندازه جسم وجود دارد مطابقت دارد(ASAE,۲۰۰۶). همچنین اثر اندازه و اثر متقابل اندازه در جهت بارگذاری بر نیرو و تغییرشکل نفوذ نارنج بی‌معنی است حال آنکه اثر جهت بارگذاری بر نیرو و تغییرشکل نفوذ نارنج در سطح ۱٪ معنی دار است لذا با توجه به مقادیر میانگین نیرو و تغییرشکل نفوذ می توان نتیجه گرفت جهت طولی بارهای نفوذی بالاتری را نسبت به جهت عرضی تحمل می‌کند این موضوع در قرارگیری انگشتی های ربات هنگام جمع آوری باید مورد توجه قرار گیرد. ضمن آنکه در بررسی میزان رسیدگی هر تعداد نارنج توسط انگشت شصت یا آزمون نفوذ می‌باید تنها اثر اعمال نیرو در یک جهت را بررسی کرد.

مشاهدات آزمایش بارگذاری استاتیکی میوه کامل نارنج نشان داد مقادیر زیادی آب میوه از درون آن خارج می شود. این پدیده حاکی از آن است که بافت داخلی میوه نارنج قبل از شکست پوست آسیب دیده و به علت پارگی دیواره سلولی موجب خروج آب از درون بافت شده است.

جدول ۱. نتایج آنالیز واریانس مقادیر خواص مکانیکی برای سه اندازه نارنج در دوجهت بارگذاری

خواص مکانیکی	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F
نیروی نفوذ (N)	فاکتور اندازه	۲	۶۸۰.۶۳۸	۳۴۰.۳۱۹	۲۸۳۴.۳ ns
	فاکتور جهت بارگذاری	۱	۸۲۳۳.۷۹۸	۸۲۳۳.۷۹۸	۷۹.۴۳۹۰ **
	اثر متقابل اندازه*جهت بارگذاری	۲	۳۹۳.۵۳۵	۱۹۶.۷۶۸	۱.۸۹۸۴ ns
	خطا	۳۰	۳۱۰۹.۴۷۹	۱۰۳.۶۴۹	
	کل	۳۵	۱۲۴۱۷.۴۵۱		
تغییرشکل نفوذ (mm)	فاکتور اندازه	۲	۴.۶۱۲	۲.۳۰۶	۰.۴۳۲۱ ns
	فاکتور جهت بارگذاری	۱	۲۵۴.۱۵۴	۲۵۴.۱۵۴	۴۷.۶۲۶۶ **
	اثر متقابل اندازه*جهت بارگذاری	۲	۳.۳۸۶	۱.۶۹۳	۰.۳۱۷۳ ns
	خطا	۳۰	۱۶۰.۰۹۲	۵.۳۳۶	
	کل	۳۵	۴۲۲.۲۴۵		
نیروی شکست (N)	فاکتور اندازه	۲	۶۷۶.۳۴۸	۳۳۸.۱۷۴	۳.۷۲۰۷ *
	فاکتور جهت بارگذاری	۱	۵۴۰.۷۴۹	۵۴۰.۷۴۹	۵.۹۴۹۵ *
	اثر متقابل اندازه*جهت بارگذاری	۲	۲۰۸.۲۱۷	۱۰۴.۱۰۹	۱.۱۴۵۴ ns
	خطا	۳۰	۲۷۲۶.۶۷۷	۹۰.۸۸۹	

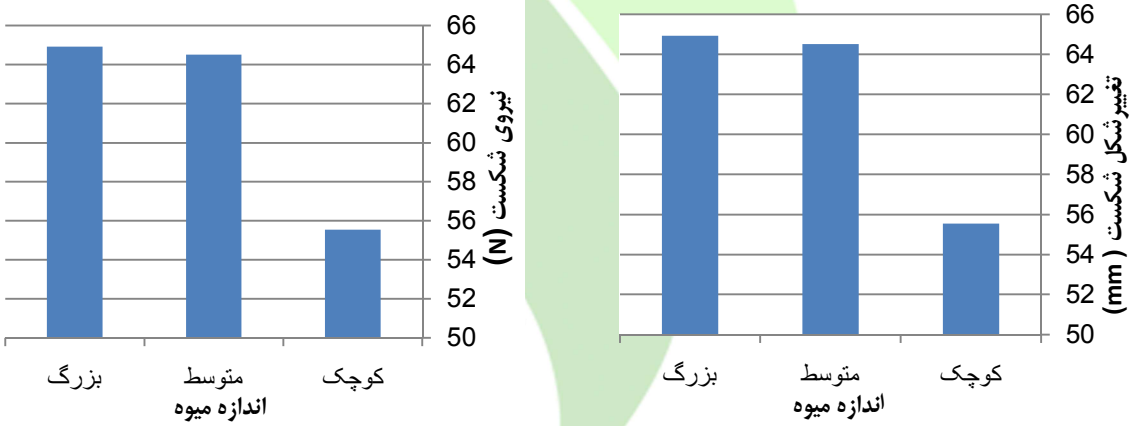
	کل	۳۵	۴۱۵۱.۹۹۲	
تغییرشکل شکست (mm)	فاکتور اندازه	۲	۱۶۷.۷۴۵	۸۳.۸۷۳	۱۶.۷۵۵۸**
	فاکتور جهت بارگذاری	۱	۱۶.۸۵۷	۱۶.۸۵۷	۳.۳۶۷۶ ns
	اثر متقابل اندازه*جهت بارگذاری	۲	۱۶۹.۵۸۷	۸۴.۷۹۴	۱۶.۹۳۹۸**
	خطا	۳۰	۱۵۰.۱۶۷	۵.۰۰۶	
	کل	۳۵	۵۰۴.۳۵۷		

* و ** و ns به ترتیب اختلاف در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و بی معنی

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین های پارامترهای مکانیکی نارنج به روش آزمون دانکن

اندازه	نیروی نفوذ (N)	تغییرشکل نفوذ (mm)	نیروی شکست (N)	تغییرشکل شکست (mm)
کوچک	A ۳۳.۳۵۴	A ۱۱.۷۳۷	B ۵۵.۵۳۰	B ۲۴.۳۰
متوسط	A ۳۷.۱۱۳	A ۱۲.۶۰۸	A ۶۴.۵۱۱	A ۲۸.۸۰
بزرگ	A ۴۳.۸۶۴	A ۱۲.۲۵۹	A ۶۴.۹۲۴	A ۲۸.۹۶

حروف مشترک اختلاف معنی داری را نشان نمی دهند



شکل ۴. اثر اندازه بر نیروی شکست و تغییرشکل شکست

نتیجه‌گیری

۱- نارنج اندازه بزرگتر در مقابل بارهای فشاری خارجی دارای تحمل بیشتری نسبت به اندازه های دیگر است.

۲- با افزایش اندازه نیرو و تغییر شکل شکست نارنج افزایش می یابد.

۳- منحنی نیرو-تغییر شکل در هر دو جهت بارگذاری استاتیکی میوه کامل نارنج غیر خطی مشاهده شد.

۴- اندازه میوه تاثیری بر نیرو و تغییرشکل نفوذ در نارنج ندارد.

۵- عدم شکست پوست نمی تواند نشان دهنده نارنجی بدون آسیب دیدگی باشد چرا که بافت داخلی میوه نارنج قبل از شکافت پوست ممکن است آسیب دیده باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله وظیفه خود می دانند از جناب آقای علیان بخاطر در اختیار گذاشتن نارنجهای مورد استفاده در این تحقیق قدردانی نمایند.

منابع

1- American Society of Agricultural Engineering (ASAE). 2006. ASAE standard, Compression Test of Food Material of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC2000 (R2006).

2- Fidelibus, M.W., A.A. Teixeira, and F.S. Davies. 2002. Mechanical properties of orange peel and fruit treated pre-harvest with Gibberellic acid. Transactions of the ASAE, 45: 1057–1062.

3- Gyasi, S.R., B. Friedly, and P. Chen. 1981. Elastic and viscoelastic Poissons ratio determination for selected citrus fruits. Transactions of the ASAE, 24: 747-750.

4- Kaufmann, M.R. 1970. Extensibility of pericarp tissue in growing citrus fruits. Plant Physiology, 46: 778–781.

5- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Food and Agricultural Materials.2nd Revised and Update Edition. Gordon and Breach Science Publishers. New York.

6- Owolarafe O.K., Olabige T.M., and Faborode M.O. 2007. Macrostructural characterisation of palm fruit at different processing conditions. Journal of Food Engineering 79(1), 31-36.

7- Ozer, N., B.A. Engel, and J. E. Simon. 1998. A Multiple Impact Approch For Non-Destructive Measurement of Fruit Firmness And Maturity. Transaction of ASAE 41(3): 871-876.

8- Pallottino F., C. Costa, M. Paolo, and M. Moresi. 2011. Assessment of the mechanical properties of Tarocco orange fruit under parallel plate compression. Journal of Food Engineering 103: 308-316.

9- Sarig, Y., and D. Nahir. 1973. Deformation characteristics of Valencia oranges as an indicator of firmness. Horticultural Science, 8: 391–392.

10- Singh K.K., and B.S. Reddy. 2006. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. Journal of Food Engineering. Res., 73: 112–120.

11- Sitkei G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier, Amsterdam.

12- Sugiyama J. 1998. Melon Ripeness Monitoring By Portable Firmness Tester. Transaction of ASAE. 41(1): 121-127.

13- Witz, R.L. 1954. Measuring the resistance of potatoes to bruising. Agricultural Engineering 34: 241-244.

Some Mechanical Properties Of Citrus Aurantium In Quasi Static Load

Ali Akbar Dadvar[*1] Mehdi Khojastehpour[2] and Hassan Sadrnia[3]

1-Phd student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
aliakbardadvar@yahoo.com
2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
mkhpour@um.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

To determine the allowable load on Citrus Aurantium fruit and other agricultural products during transportation, storage and mechanical harvesting it is necessary to know the mechanical properties of these products in simple stresses cases. In this research two experimental series were performed to determine and compare mechanical properties of three sizes of Citrus Aurantium producing in north of Iran on static load condition.A statistical factorial experiments in the form of completely randomize design (3×2) with six replication was used to determine mechanical properties of whole Citrus Aurantium such as failure force, failure deformation and puncture force, puncture deformation. Mean failure force and failure deformation in small , medium and big sizes of this fruit were 55.53, 64.51, 64.92 N , 24.30, 28.80, 28.96mm and Mean puncture force and puncture deformation in small , medium and big sizes of this fruit were 33.35, 37.11, 43.86N, and 11.74, 12.61, 12.26mm respectively. Also results showed failure force and failure deformation were significantly affected by size of fruit and these mechanical properties increased when size of fruit was increasing.

Keywords: Citrus Aurantium, failure force, mechanical properties, puncture deformation, Quasi Static Load.