



تعیین مدل رئولوژیکی گوجه فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری فشاری

مرصاد قربان نژاد^{۱*}، داود کلانتری^۲

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی ساری

ایمیل مکاتبه کننده: mersadghorbannejad@yahoo.com

چکیده

به منظور انجام آزمون بارگذاری فشاری روی محصولات کشاورزی، یک دستگاه تست بارگذاری آزمایشگاهی ساخته شد که از یک شاسی بدون لرزش، صفحات متحرک، وزنه بارگذاری، دوربین عکاسی دیجیتال و ساعت اندیکاتوری دیجیتال تشکیل شده است. با کمک این دستگاه امکان اندازه گیری میزان لهیدگی و مدول الاستیسیته محصول گوجه فرنگی فراهم گردید. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی گوجه فرنگی، محصول در چندین شرایط متفاوت بارگذاری مورد آزمون قرار گرفت. قبل از اعمال بارگذاری، نمونه‌ها به صورت کامل در میدان دید دوربین دیجیتال قرار گرفته و شعاع انحنای حداقل و حداکثر آن از طریق عکس برداری و انتقال به فضای نرم افزار paint بدست آمد. آزمون اول بصورت تنش ثابت بود که برای بررسی تاثیرات زمانی تنش انجام گردید که نتایج بدست آمده در این تحقیق با مدل رئولوژیکی کلونین تعمیم یافته مطابقت دارد. در آزمایش دوم، اعمال تنش توسط بارهای ۵، ۱۰ و ۱۵ نیوتنی صورت گرفت. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان داد که در تغییر شکل و لهیدگی محصول گوجه فرنگی، پارامترهای فیزیکی و هندسی محصول مانند فرم و شعاع انحنا نسبت به مقدار نیروی اعمال شده، دارای اهمیت بیشتری است. واژه‌های کلیدی: بارگذاری فشاری، خواص رئولوژیکی، مدول الاستیسیته، گوجه فرنگی

مقدمه

یکی از پیامدهای ناگوار افزایش سطح مکانیزاسیون در کشاورزی، افزایش میزان ضایعات مکانیکی است و آنچه که این پدیده ناخواسته به همراه دارد، افزایش میزان فساد و کاهش کیفیت محصول خواهد بود این کاهش کیفیت موجب آسیب مکانیکی در محصول می شود. آسیب های مکانیکی در محصولات کشاورزی پدیده ای است که شرایط را به طور مستقیم و غیر مستقیم برای ایجاد ضایعات فراهم می سازد. این آسیب ها می تواند در مراحل برداشت، جابجایی پس از برداشت، بسته بندی، حمل و نقل و توزیع انواع میوه و سبزی ایجاد گردد. بر این اساس شناسایی شرایط و عوامل موثر بر وقوع صدمات مکانیکی در محصولات کشاورزی می تواند به کاهش ضایعات در این بخش منجر شود (افکاری سیاح و مینایی، ۱۳۸۸). باید به این نکته توجه نمود که تبدیل شدن به ضایعات در میوه گوجه فرنگی بیشتر است، زیرا این میوه از ۹۳ تا ۹۵ درصد آب و ۵ تا ۷ درصد مواد جامد تشکیل شده است (مظاهری و همکاران، ۱۳۸۶).

در محصولات کشاورزی تغییر شکل فقط تابعی از تنش وارده نمی باشد، بلکه به زمان هم بستگی دارد (Sitkei, 1986). میوه ها و سبزی ها دارای خواص ویسکوالاستیک هستند. یعنی دارای بخشی از خواص جامدات و بخشی از خواص مایعات می باشند (Sahin and Sumna, 2006). این محصولات در طول برداشت، جابه جایی، حمل و نقل و انبار مانی مستعد صدمات مکانیکی هستند (Rong et al, 2004). این صدمه ها کیفیت محصول را کاهش و ضایعات محصول را به دلیل فساد محصول افزایش می دهند. محققین رفتار ویسکوالاستیک هشت واریته مختلف خرما را در دو مرحله رسیدگی رطب و خلال مورد مطالعه قرار دادند. آنها از سه مدل پلنچ، ماکسول عمومی و نویسنوویچ استفاده کردند. نتایج نشان داد هر سه مدل در ارزیابی



رفتار وارفنگی خرما دارای اعتبار می باشند. به هر حال مدل ماکسول عمومی در پیش گویی داده های آزمایش بهترین مدل بود (hasan et al, 2005). همچنین محققین رفتار ویسکوالاستیک گیلان را تحت کرنش ثابت بررسی نمودند. آنها از دو مدل رئولوژیکی پلج و ماکسول عمومی برای تفسیر رفتار ویسکوالاستیک نمونه ها در حالی که تحت کرنش ثابت قرار گرفته بودند، استفاده نمودند (مقیم و سعیدی راد، ۱۳۸۹). پژوهشگران مشاهده کردند که مشخصات ویسکوالاستیک گوجه فرنگی به طور واضح در طی مدت انبار داری تغییر کرده است (Wu and Abbott, 2002).

در بررسی منابع مشخص گردید که هنوز تحقیقات جامعی پیرامون خواص رئولوژیکی محصول گوجه فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری صورت نگرفته است، لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی جامع تر خواص رئولوژیکی محصول گوجه فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری می باشد.

مواد و روش ها

بیشتر مواد کشاورزی مانند میوه ها هنگامی که در معرض نیرو قرار می گیرند، از خود رفتار ویسکوالاستیک نشان می دهند. برای مطالعه رفتار ویسکوالاستیک مواد کشاورزی از علم رئولوژی استفاده می شود که علم تغییر شکل و جریان پذیری مواد بیولوژیکی تحت تاثیر نیروها در زمان های مختلف است. رئولوژی دارای مدل های مختلفی می باشد که برای طبقه بندی و پیش بینی رفتار مواد تحت شرایط تنش و کرنش استفاده می شود. این مدل ها شامل ترکیبات مختلفی از جسم جامد هوکی (فتر) و جسم مایع نیوتنی (کمک فتر) می باشند که رفتار پیچیده مواد کشاورزی مختلف را نشان می دهند (Rao et al, 2005). وقتی نیرویی به جسم رئولوژیک وارد می شود، منجر به تغییر شکل یا تغییر در جریان ماده خواهد شد. در این صورت خواص مکانیکی به عنوان خواص رئولوژیکی در نظر گرفته می شود. علاوه بر این در علم رئولوژی، اثر زمان در طی بارگذاری یک جسم نیز مورد توجه است. پس از دیدگاه علم رئولوژی، رفتار مکانیکی بر حسب سه پارامتر نیرو، تغییر شکل و زمان بیان می شود.

تهیه و آماده سازی نمونه اولیه

در این پژوهش از گوجه فرنگی با رقم سوپر بتا در یک مرحله ثابت و مشخص از رسیدگی (تقریباً رسیده با رنگ صورتی مایل به قرمز-تمایل به سمت قرمز)، از گلخانه تخصصی واقع در شهرستان جویبار، به صورت دست چین برداشت، و به صورت تک لایه ای در سبد های مخصوص چیده و به صورت کاملاً کنترل شده، به طوری که کمترین تنش فیزیکی بر نمونه ها اعمال شود به آزمایشگاه منتقل گردید.

اندازه گیری خواص فیزیکی

برای اندازه گیری جرم محصول (m) از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ g استفاده شد. به منظور اندازه گیری حجم از روش جابه جایی آب استفاده گردید. همچنین با استفاده از کولیس الکترونیکی (CD-۵۱۵) با دقت اندازه گیری ۰/۰۱ mm، قطر بزرگ (L)، قطر کوچک (W) و ارتفاع (T) اندازه گیری شد (Mohsenin, 1986 and Galedar et al, 2008). میانگین قطر حسابی (Da) از رابطه زیر به دست آمد (Strohine, 1994).

$$D_a = (L + W + T) / 3 \quad (1)$$

همچنین میانگین قطر هندسی میوه (Dg) از رابطه زیر به دست می آید (Mohsenin, 1986).

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2)$$



معیاری که عموماً برای توصیف شکل میوه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضریب کرویت محصول است که در تحقیق حاضر از رابطه زیر محاسبه شد (Mohsenin, 1986).

$$\phi = \frac{D_g}{L} \times 100 \quad (3)$$

مساحت سطح با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986).

$$S = \pi D_g^2 \quad (4)$$

به منظور تعیین نسبت نما از رابطه‌ی زیر استفاده شد (Strohine, 1994).

$$R = \frac{W}{L} \quad (5)$$

برای تعیین رطوبت در شرایط آزمایشگاهی از هر رقم، ۶ نمونه به طور تصادفی انتخاب و درون آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد (ASAE, 1999).

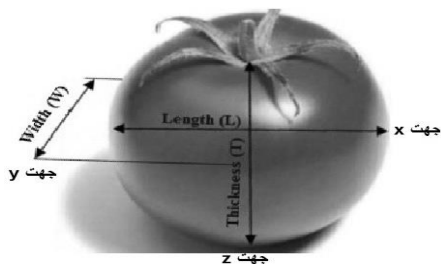
آزمون تنش ثابت

این آزمون به صورت تنش ثابت بود که در آن بار ۱/۵ کیلوگرمی استفاده شد. میزان میانگین تغییر شکل به فاصله ۱۰ دقیقه ای و به مدت ۶۰ دقیقه ثبت گردید.

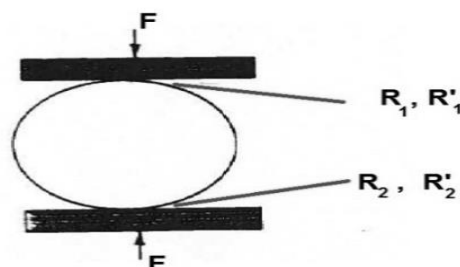
آزمون بارگذاری

این آزمون در سه سطح بار ۵، ۱۰ و ۱۵ نیوتنی انجام شد. وزنه بر روی صفحه متحرک دستگاه قرار گرفته، سپس میزان تغییر شکل بلافاصله یادداشت شد.

به منظور انجام بارگذاری فشاری و برای بدست آوردن مقادیر مورد نیاز برای آزمایش از طرحواره شکل ۱ استفاده شده است.



شکل ۲- جهت اعمال نیرو در جهت Z



شکل ۱- طرح واره بارگذاری فشاری

برای محاسبه ی مقدار مدول الاستیسیته ظاهری گوجه فرنگی در بارگذاری روی نمونه ی کامل، از روابط حاصل از تئوری هرتز استفاده گردید (Mohsenin, 1986). با توجه با حالت بارگذاری و شکل متقارن نمونه گوجه فرنگی، رابطه ی زیر برقرار می باشد.

$$R'_1 = R'_2 \text{ و } R_1 = R_2 \quad (6)$$

در نتیجه معادله ی مربوط به مدول الاستیسیته محصول از طریق رابطه ی ۷ قابل محاسبه می باشد (Strohine, 1994).



$$E = \frac{0.956K^{3/2}F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right]^{1/2} \quad (7)$$

که در آن، E مدول الاستیسته ی ظاهری (Pa)، F مقدار نیرو (N)، D مقدار تغییر شکل (m)، R_1 شعاع انحنا حداقل در نقطه تماس (m)، R_1' شعاع انحنا حداکثر در نقطه تماس (m)، K فاکتور بدون بعد وابسته به ویژگی هندسی صفحه ی تخت بارگذاری نمونه و μ نسبت پواسون می باشد.

که این نسبت برای گوجه فرنگی ۰/۵ در نظر گرفته می شود (Broniowska et al, 2012).

برای بدست آوردن ماکزیمم تنش وارده به نمونه از رابطه ی ۸ استفاده می شود (Strohine, 1994).

$$\sigma_{max} = \frac{1.5F}{\pi ab} \quad (8)$$

که a و b برابر با نصف بزرگترین ضخامت و نصف کوچکترین ضخامت بوده و از روابط زیر بدست می آیند (Strohine, 1994).

$$a = m \left[3Fk \left(\frac{2}{R_1} + \frac{2}{R_1'} \right) - 1 \right]^{1/3} \quad (9)$$

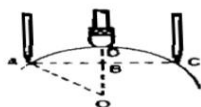
$$b = n \left[3Fk \left(\frac{2}{R_1} + \frac{2}{R_1'} \right) - 1 \right]^{1/3} \quad (10)$$

در این رابطه m و n ثابت های بدون بعد می باشند و k از رابطه ی زیر بدست می آید (Strohine, 1994).

$$k = \frac{1-\mu^2}{E} \quad (11)$$

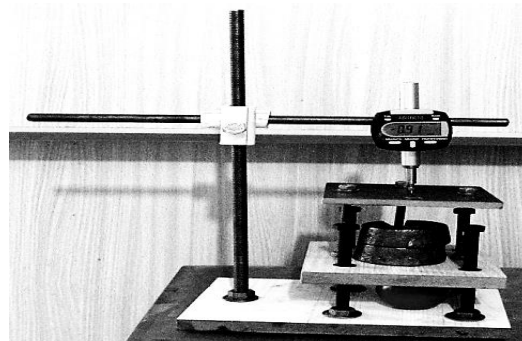
تعیین شعاع های انحنای محصول

به منظور ایجاد امکان اندازه گیری پارامتر های هندسی محصول شامل R_1, R_1', D ، دستگاه بارگذاری فشاری ساخته شد (شکل ۳). به منظور اندازه گیری پارامتر D از ساعت اندیکاتوری دیجیتال با دقت ۰/۰۱ استفاده می شود. همچنین به منظور اندازه گیری شعاع انحنا از دوربین دیجیتال canon استفاده شد. سپس عکس گرفته شده به نرم افزار paint منتقل شده و شعاع انحنا مطابق شکل ۴ بدست می آید.



$$\text{RADIUS} = \frac{(AC)^2}{8(BD)} + \frac{(BD)}{2}$$

شکل ۴ - نحوه بدست آوردن شعاع انحنا



شکل ۳ - دستگاه بارگذاری فشاری



جدول ۱- میانگین مقادیر رطوبت رقم سوپر بتا

شاخص	رقم سوپر بتا
رطوبت	۷۵/۳

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی

در این آزمایش، تعدادی از خصوصیات فیزیکی گوجه فرنگی شامل ارتفاع، قطرها، قطر میانگین، ضریب کرویت، حجم و سطح تعیین شد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ - خصوصیات فیزیکی گوجه فرنگی

ویژگی	مقدار
ارتفاع، (mm)T	۵۳/۷۲±۵/۱۲
قطر بزرگ، (mm)L	۵۸/۵۰±۶/۸۳
قطر کوچک، (mm)W	۵۴/۹۱±۴/۷۸
قطر معادل حسابی، (mm)D _a	۵۵/۷۱±۴/۱۴
قطر میانگین هندسی، (mm)D _g	۵۵/۶۳±۴/۰۸
جرم، (g)m	۹۶/۹۲±۱۶/۸۷
ضریب کرویت، Ø (%)	۹۵/۲۵±۶/۲۳
حجم، (cm ³)V	۱۶۵/۳۷±۵۶/۸۱
نسبت نما، R	۰/۹۳±۰/۰۷
مساحت سطح، (cm ²)S	۹۷/۳۸±۱۳/۸۸

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میانگین قطر بزرگ، قطر کوچک و قطر میانگین هندسی گوجه فرنگی به ترتیب ۵۸/۵۰ mm، ۵۴/۹۱ mm و ۵۵/۶۳ mm به دست آمد که به طور متوسط کمتر از طول میوه انبه (۶۶/۸۰ mm)، میوه پرتقال (۶۹/۲۱ mm)، میوه گلابی (۷۱/۹۳ mm) و میوه انار (۶۵/۵۰ mm) ولی بیشتر از طول میوه هلو (۴۵/۰۲ mm) می‌باشد. همچنین قطر میانگین هندسی آن کمتر از قطر میانگین هندسی پرتقال (۷۰/۷۶ mm) ولی بیشتر از ضخامت میوه انار (۳۵/۴۰ mm) و میوه هلو (۴۰/۸۵ mm) می‌باشد (Al-maiman and Dilshad, 2002- Bovi and Spiering, 2002- Kabas et al, 2006 and Jha et al, 2006).

آزمون تنش ثابت

در این آزمون بار ۱/۵ کیلوگرمی بر روی صفحه ی صلب روی میوه گوجه فرنگی قرار داده شده و میزان میانگین تغییر شکل به فاصله ۱۰ دقیقه ای و به مدت ۶۰ دقیقه ثبت گردید. در طی ۶۰ دقیقه میزان تغییر طول در هر سه جهت اندازه گیری و ثبت گردید. در نتیجه ی این بارگذاری، در راستای z کاهش طول ایجاد و در دو جهت دیگر افزایش طول مشاهده شد. داده های حاصل از آزمون تنش ثابت در جدول ۳ نشان داده شده است.

برای تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط $d\sigma/dt=0$ ، از رابطه موجود برای دستگاه کلون همگانی استفاده گردید. در این صورت افزایش کرنش برابر است با:

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[\left(\frac{1}{E_0} \right) + \left[\frac{1}{E_1} \right] \left(1 - e^{-t/\tau_1} \right) + \left[\frac{1}{E_2} \right] \left(1 - e^{-t/\tau_2} \right) + \dots + \left[\frac{1}{E_n} \right] \left(1 - e^{-t/\tau_n} \right) + (t/\eta_v) \right]$$



جدول ۳ - داده های بدست آمده برای مرحله تنش ثابت (بار ۱۵ نیوتن)

s	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰
X	۶۲/۵۷	۶۲/۶۱	۶۲/۶۷	۶۲/۸۳	۶۳/۰۷
Y	۵۸/۰۷	۵۸/۱۰	۵۸/۱۷	۵۸/۳۶	۵۸/۶۱
Z	۵۱/۱۱	۵۰/۶۸	۵۰/۴۵	۴۹/۸۷	۴۹/۱۴
ϵ_x	۰	-۰/۰۰۰۷	-۰/۰۰۱۰	-۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۲۰
ϵ_y	۰	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۱۷	-۰/۰۰۲۲
ϵ_z	۰	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۷۷
ϵ_{ave}	۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۲

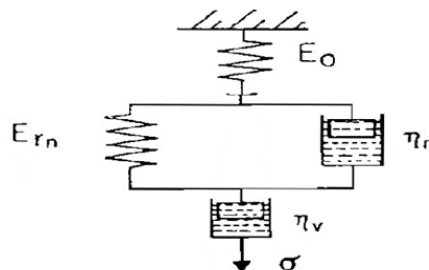
با توجه به تابع بدست آمده برای ϵ ، می توانیم $\epsilon(t)$ را به صورت زیر بنویسیم:

$$\epsilon(t) = ae^{-bt} + ct + d$$

برای بدست آوردن مقادیر a ، b ، c و d برای زمانهای مختلف در نرم افزار matlab معادلات حاصل از این چهار مجهول حل گردیده و رابطه ی زیر بدست آمد.

$$\epsilon(t) = 0.00005e^{(-0.0549 + 0.218i)t} - (0.00002 + 0.00002i)t + 0.00125 - 0.0005i$$

فرض بر اینکه $\eta_v = 0.31$ می باشد (Rong et al, 2004).



شکل ۵ - مدل رئولوژیکی گوجه فرنگی در حالت تنش ثابت

آزمون بارگذاری فشاری

به منظور محاسبه میزان تنش وارده در سه سطح بارگذاری از ضرایب بدست آمده از جدول ۴ استفاده نموده تا با استفاده از فرمول های ذکر شده در بخش های پیشین بتوان تنش را محاسبه نمود.

جدول ۴ - ضرایب بدست آمده در آزمون بارگذاری

n	M	K	R_1 (mm)	R_1 (mm)	(N)F
۰/۸۸۴	۱/۱۴۲	۱/۳۳۹	۱۴/۱۹	۱۰/۱۵	۵
۰/۹۳۲	۱/۰۷۷	۱/۳۴۷	۱۸/۵۲	۱۴/۹۱	۱۰
۰/۹۴۱	۱/۰۶۵	۱/۳۴۸	۲۰/۸۱	۱۷/۳۲	۱۵



همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود با افزایش در میزان فشار وارده، فشردگی افزایش و مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد ولی از آنجایی که تاثیر مقادیر a و b بر میزان تنش وارده بیشتر از میزان تاثیر فشار می‌باشد، لذا با کاهش در این دو مقدار تنش ماکزیمم کاهش یافته است.

جدول ۵ - مقایسه اثر مقدار نیرو در آزمون بارگذاری

σ_{max}	b	a	k	E	D	F
۷۱/۹۳	۱۶	۲۰/۷	۰/۰۱۳	۵۶/۹۷	۰/۵۴	۵
۷۰/۹۲	۲۴/۱	۲۷/۹	۰/۰۱۴	۵۳/۴۹	۰/۸۱	۱۰
۶۵/۶۱	۳۱/۱	۳۵/۱	۰/۰۱۷	۴۴/۳۸	۱/۱۵	۱۵

نتیجه گیری

به طور خلاصه می‌توان نتایج برجسته این تحقیق را به شرح زیر بیان نمود:

- با افزایش در میزان فشار وارده به نمونه، میزان فشردگی محصول افزایش ولی مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد.
- تاثیر مقادیر a (نصف بزرگترین ضخامت) و b (نصف کوچکترین ضخامت) به مراتب خیلی بیشتر از تاثیر فشار می‌باشد به همین دلیل با افزایش فشار تنش کاهش پیدا می‌کند.
- در شرایط تنش ثابت، مدل رئولوژیکی کلون همگانی برای تخمین تغییر کرنش در محصول نسبت به زمان مناسب است.
- با توجه به ضریب کرویت بالای محصول گوجه فرنگی، قطر میانگین حسابی و هندسی این محصول بسیار بهم نزدیک است.
- با توجه به نتایج تحقیق، از پارامترهای این آزمون می‌توان برای تخمین و پیش بینی وضعیت انبارمانی، حمل و بسته بندی محصول گوجه فرنگی استفاده نمود.

مراجع

- ۱- افکاری سیاح، ا. ح. و مینایی، س. ۱۳۸۸. مبانی و بررسی ارزیابی ضایعات مکانیکی در محصولات کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد استان اردبیل، ۱۸۳ ص.
- ۲- مظاهری تهرانی، م. مرتضوی، ع. ضیاءالحق، ح. و قندی، ا. ۱۳۸۶. تولید و فرآوری گوجه فرنگی. انتشارات مرز دانش تهران، ۲۴۰ ص.
- ۳- مقیمی، علی. سعیدی راد، محمد حسین (۱۳۸۹). بررسی رفتار ویسکوالاستیک گیلان تحت کرنش ثابت. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.
- 4- ASAE. 1991 ASAE Standars: Moisture measurement – unground grains and seed. American Society of Agricultural Engineers, S352.2 .
- 5- Al-Maiman S. A., Dilshad A. 2002. Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. Food Chemistry 76 (2002) 437–441.
- 6- Bovi M. L. A., Spiering S. H. 2002. Estimating peach palm fruit surface area using allometric relationships. Scientia Agricola, v.59, n.4, p.717-721, out./dez. 2002.
- 7- Broniowska, K., Gladyszewska, B., and Ciupal, A. (2012). Effect of storage time and temperature on Poisson ratio of tomato fruit skin. Int. Agrophys., 26, 39-44.
- 8- Galedar, M., Tabatabaefar, A., Jafari, A., Sharifi, A., O'Dogherty, M.J., Rafee, S. and Richard, G., 2008a, Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. Biosys. Eng., 101(2), 199-208.



- 9- Hassan, B.H., Alhamdan, A.M., & Elansari, A.M. (2005). Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*, 6, 439-445.
- 10- Jha S. N., Kingsly A. R. P., Chopra S. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering* 72 (2006)73-76.
- 11- Kabas O., Ozmerzi A., Akinci I. 2006. Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus india L.*) grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering* 73 (2006) 198-202.
- 12- Mohsenin, N.N. 1986. *Physical Properties of plant and animal materials*. 2nd ed. New York: Gordon Breach Science Publishers.
- 13- Rao, M.A., Rizvi, S.S.H., & Datta, A.K. (2005). *Engineering properties of foods* (3rd ed.). Taylor & Francis Group. USA.
- 14- Rong, W., Qunying, J., and Deqiang, W. (2004). On the mechanical damage of grape using finite element analysis. An ASAE/CSAE Meeting presentation.
- 15- Sahin, S., and Sumna, S. (2006). *Physical properties of foods*. Springer-Verlag, Berlin.
- 16- Sitkei, G. (1986). *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, New York, Budapest, Hungary.
- 17- Strohine, R. (1994). *Physical properties agricultural materials food products*. Indiana, USA.
- 18- Wu, T. and Abbott, J. A. 2002. Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices. *Postharvest Biology and Technology*, 24: 59-68.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Determination of the rheological model of the Tomatoes fruit under different pressure loads

Abstract

In order to test the compressive load on agricultural products, a load test machine was designed and built. The system chassis without vibration plate, weight loading, digital cameras and digital indicator consists hours. Technical specifications and dimensions of the device in a way that enables the rheological properties of a variety of agricultural products including herbs during compressive loading in the intact state provides. With the help of this device to measure the modulus of elasticity of fruit rot and fruit are provided. To evaluate the technical characteristics of the device, tomato products were tested in several different circumstances. To stress the samples were placed in full and minimum and maximum radius of curvature of the photograph and paint was transferred to the software. In a second experiment the tension by applying three 5, 10 and 15 Newtons, respectively. The results indicate that the amount of deformation and stresses under the influence of the radius of curvature is more affected by the force.

Keywords: compressive load, rheological properties, modulus of elasticity, tomatoes