نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص.866-858

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 858-866

تعیین خواص رئولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری شبه استاتیکی

مرصاد قربان نژاد شهرودی[1]- عبدالله گل‌محمدی[2*]- داود کلانتری[3]

تاریخ دریافت: 1395/02/25
تاریخ پذیرش: 1395/07/12

چکیده

مقادیر زیادی از محصول گوجه‌فرنگی طی مراحل مختلف برداشت، انتقال و بسته‌بندی از بین می‌رود. تعیین عوامل موثر بر میزان تغییرشکل گوجه‌فرنگی می‌تواند منجر به کاهش ضایعات محصول شود. اثر برخی از پارامترهای مهم انبارمانی گوجه‌فرنگی مانند بارگذاری شبه استاتیکی در سه سطح (2، 6 و 10 نیوتن)، دمای نگه‌داری در دو سطح (4 °C و 25) و راستای بارگذاری در دو جهت برای دو رقم گوجه‌فرنگی بر میزان تغییرشکل مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌ها در یک دوره 15 روزه، طی آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی بررسی شد. نتایج نشان داد که در دمای 25 °C، با افزایش اندازه بار از 2 به 10 نیوتن، مقدار تغییرشکل محصول به میزان 65% افزایش می‌یابد. با کاهش دما از 25 به 4 °C، تغییرشکل در بار ثابت 6 نیوتن به میزان 40% کاهش می‌یابد. در شرایط بارگذاری ثابت، مدل رئولوژیکی کلوین عمومی برای تخمین کرنش بر حسب زمان مناسب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: ارقام، بارگذاری فشاری، مدل رئولوژیک، تغییر شکل

مقدمه

آسیب‌های مکانیکی در محصولات کشاورزی پدیده‌ای است که شرایط را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای ایجاد ضایعات فراهم می‌سازد. آسیب لهیدگی ناشی از نیروی شبه‌استاتیک یکی از مهم‌ترین دلایل افت کیفیت میوه تازه محسوب می‌شود. محصولات کشاورزی در مراحل مختلف برداشت و پس از برداشت مانند جابه‌جایی، حمل‌ونقل، نگه‌داری و فرآوری، تحت تأثیر نیروهای مکانیکی و صدمات فیزیکی متعددی واقع می‌شوند. در بسیاری از موارد نیروهای وارده موجب آسیب‌دیدگی مکانیکی محصول و پارگی دیواره سلولی شده و روند تبادلات طبیعی دیواره سلولی دچار اختلال می‌گردد. این موضوع به یکی از مسائل مهم مدل‌سازی و بررسی تجربی در حوزه علوم مهندسی بیوسیستم تبدیل شده است (Myhan *et al*,. 2012). گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین محصولات باغی است و به‌طور وسیعی در مناطق مختلف دنیا تولید می‌گردد. باید به این نکته توجه نمود که احتمال ایجاد ضایعات در میوه گوجه‌فرنگی زیاد است، زیرا این میوه از 93 تا 95 درصد آب و 5 تا 7 درصد مواد جامد تشکیل شده است (Mazaheri *et al*, 2007). شناسایی شرایط و عوامل موثر بر وقوع صدمات مکانیکی در محصولات کشاورزی می‌تواند به کاهش ضایعات در این بخش منجر شود (Afkari Sayah & Minaee, 2009). محصولات کشاورزی و باغی در طول دوره برداشت، جابجایی، حمل‌ونقل و انبارداری مستعد صدمات مکانیکی و ضربه هستند. در هر یک از این مراحل میوه در معرض بارهای مختلف استاتیکی و دینامیکی قرارگرفته و صدمه می‌بیند. این صدمات کیفیت محصول را کاهش و به دلیل فساد ضایعات محصول را افزایش می‌دهند (Rong *et al*, 2004). اغلب لهیدگی در طی جابجایی و انبارداری به سبب فشار و بار بر روی میوه صورت می‌گیرد. پس از چیدن شدن میوه در جعبه یا انبار، فشار وارد بر میوه رویی با فشاری که بر میوه انتهایی جعبه وارد می‌شود، یکسان نیست. این فشار باعث می‌گردد میوه دچار لهیدگی شود (Tiback *et al*, 2014).

برای مطالعه رفتار ویسکوالاستیک مواد کشاورزی از علم رئولوژی استفاده می‌شود که علم تغییر شکل و جریان پذیری مواد بیولوژیکی تحت تأثیر نیروها در طی زمان‌های مختلف است. برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی رفتار مواد تحت شرایط مختلف تنش و کرنش از مدل‌های مختلف رئولوژی استفاده می‌شود. این مدل‌ها شامل ترکیبات مختلفی از جسم جامد (فنر) و جسم مایع نیوتنی (کمک‌فنر) می‌باشند که رفتار پیچیده مواد مختلف کشاورزی را نشان می‌دهند (Rao *et al*, 2005).

در پژوهشی رفتار ویسکوالاستیک هشت رقم خرما در دو مرحله

1و 2– به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی.
3- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
(* - نویسنده مسئول: (Email: agolmohammadi42@gmail.com
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55948

از رسیدگی، رطب و خلال، بر اساس سه مدل رئولوژیکی پلگ[1]، ماکسول عمومی[2] و ناسینوویچ[3] مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه مدل در ارزیابی رفتار وارفتگی خرما دارای اعتبار می‌باشند. اما مدل ماکسول عمومی در پیش‌گویی داده‌های آزمایش بهترین مدل بود (Hassan *et al*, 2005).

در پژوهشی Moghimi & Saidi Rad (2010) رفتار ویسکوالاستیک گیلاس را در کرنش ثابت بررسی نمودند. آن‌ها از دو مدل رئولوژیکی پلگ و ماکسول عمومی برای تفسیر رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های تحت کرنش ثابت، استفاده نمودند. پژوهشگران مشاهده کردند که مشخصات ویسکوالاستیک گوجه‌فرنگی به‌طور واضح در طی مدت انبارداری تغییر می‌کند (Wu & Abbott, 2002). نتایج تحقیق بر روی خصوصیات بافتی گوجه‌فرنگی در مراحل مختلف رسیدگی، نشان داده که سختی بافت گوجه‌فرنگی با رسیده‌تر شدن کاهش می‌یابد (Kader & Rolle, 1987). در خصوص مدت زمان پس از برداشت، نتایج نشان داد که با گذشت زمان مقاومت گوجه‌فرنگی در برابر فشار کم‌تر می‌شود (Mohammadi Aylar *et al*, 2010).

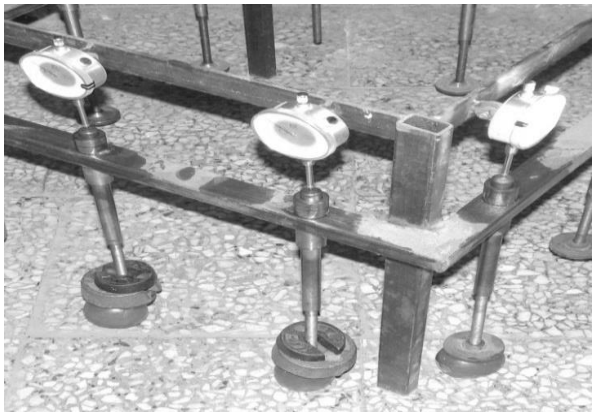
بررسی‌های انجام‌شده، نشان داد که در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه آسیب‌های ناشی از ضربه و فشار بر روی میوه‌ها و محصولات باغی انجام گرفته است، لیکن تحقیقات جامعی پیرامون خواص رئولوژیکی محصول گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری، همچنین تأثیر همزمان پارامترهای مختلفی همچون رقم، مدت زمان نگه‌داری و شرایط انبارداری، راستاهای مختلف بارگذاری انجام نشده است؛ لذا در این پژوهش، بررسی جامع‌تری از خواص رئولوژیکی محصول گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف بارگذاری انجام گرفت و برای تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط نیروی ثابت ($d\sigma/dt = 0$)، با استفاده داده‌های حاصل آزمون ضرایب دستگاه کلوین عمومی استخراج و به‌صورت معادله ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌های اولیه

در این پژوهش از دو رقم گوجه‌فرنگی با نام‌های سوپر بتا[4] و پتوارلی سی اچ[5] برای آزمون استفاده شد. نمونه‌ها در یک مرحله از میزان رسیدگی (تقریباً رسیده با رنگ صورتی متمایل به قرمز) از گلخانه تخصصی، دست‌چین و به‌صورت تک لایه در سبدهای مخصوص و به‌صورت کاملاً کنترل شده، به‌طوری که کمترین تنش فیزیکی بر آن‌ها اعمال شود، به آزمایشگاه منتقل گردیدند. برای اندازه‌گیری جرم (m) از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 gr (ترازوی KIA مدل BL1000، کیا ایران) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری حجم از روش جابه‌جایی آب استفاده گردید (تولوئن روی پوست محصول اثر نامطلوب داشت). همچنین با استفاده از کولیس دیجیتال (MITUTOYO CD-515، ژاپن) با دقت 0/01 mm، قطر بزرگ (L)، قطر کوچک (W) و ارتفاع (T) نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (Galedar *et al*, 2008؛Mohsenin, 1986).

به منظور تعیین اثر عوامل مختلف، شامل شرایط آزمایشگاهی و مدت زمان انبارداری بر مقاومت گوجه‌فرنگی‌ها از دستگاه آزمون بارگذاری فشاری ساخت کارگاه تراشکاری دانشکده استفاده شد (شکل 1).

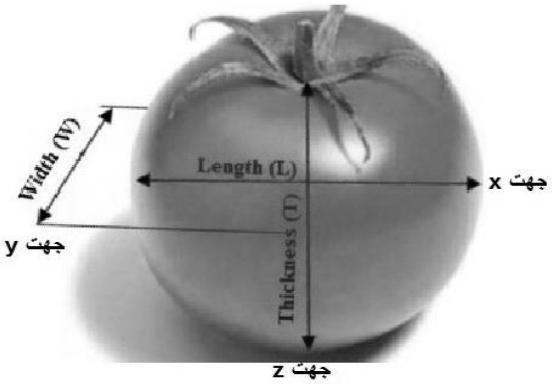


شکل 1- نحوه قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه آزمون بارگذاری فشاری

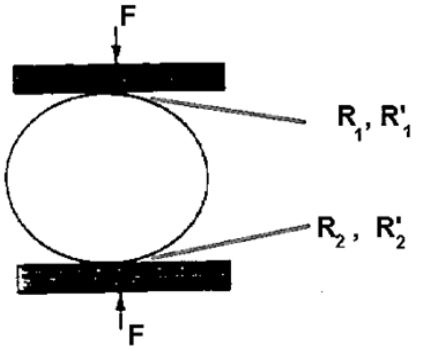
آزمایش‌ها در یک دوره 15 روزه و در دو شرایط متفاوت دمایی، یکی در دمای 4 درجه سلسیوس سردخانه و دیگری در شرایط محیط آزمایشگاهی با دمای 25 درجه سلسیوس انجام شدند. نمونه‌ها در سه سطح 2، 6 و 10 نیوتن و در دو راستای گل (راستای z در شکل 2) و دیگری 90 درجه نسبت به راستای گل (راستای y در شکل 2) تحت بارگذاری قرار گرفت و با استفاده از نشانگر (Dial Indicator، Guanglu) میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی‌ها در مدت زمان 2، 4، 7، 10، 15 روز پس از بارگذاری در شرایط سردخانه و محیط آزمایشگاهی ثبت و مورد بررسی قرار گرفت.

آزمون دوم، به‌منظور تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط نیروی ثابت ($d\sigma/dt = 0$) و تحت نیروی ثابت 15 نیوتن و در دمای آزمایشگاهی انجام شد و میزان تغییر شکل نمونه‌ها در فواصل زمانی 10 دقیقه و به مدت 60 دقیقه ثبت گردید. به‌منظور انجام بارگذاری فشاری از طرح‌واره شکل 3 استفاده شد. وزنه بر روی صفحه متحرک دستگاه قرار گرفت، سپس میزان تغییر شکل بلافاصله یادداشت شد

1 - Peleg
2 - Maxwell
3- Nussinovitch
4- Supper-Beta
5- Petoerly-CH



شکل 2 - راستاهای بارگذاری



شکل 3- طرحواره بارگذاری فشاری

برای محاسبه‌ی مقدار مدول الاستیسیته ظاهری گوجه‌فرنگی در بارگذاری روی نمونه‌های کامل، از روابط حاصل از تئوری هرتز استفاده گردید (Mohsenin,1986). با توجه به حالت بارگذاری و شکل متقارن نمونه‌های گوجه‌فرنگی، رابطه ذیل برقرار می‌باشد.

$$R_1' = R_2', R_1 = R_2 \quad (1)$$

بنابراین معادله‌ی مربوط به مدول الاستیسیته محصول گوجه‌فرنگی از طریق معادله 2 قابل‌محاسبه می‌باشد (Stroshine,1994).

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

که E مدول الاستیسیته ظاهری (Pa)، F مقدار نیرو (N)، D مقدار تغییر شکل (m)، R_1 شعاع انحناء حداقل در نقطه تماس (m)، R_1' شعاع انحناء حداکثر در نقطه تماس (m)، K فاکتور بدون بعد وابسته به ویژگی هندسی صفحه تحت بارگذاری نمونه و μ ضریب پوآسون می‌باشد. ضریب پوآسون برای گوجه‌فرنگی 0/5 در نظر گرفته شد (Broniowska *et al*, 2012).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با 5 تکرار استفاده شد. در این طرح رقم، دما، سطوح بارگذاری، راستا و مدت زمان بارگذاری به‌عنوان پارامترهای مستقل و میزان تغییر شکل به‌عنوان پارامتر وابسته در نظر گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS 2014 و برای ارائه نتایج به‌صورت نمودار از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری تغییر شکل برای هر دو رقم گوجه‌فرنگی سوپر بتا و پتوارلی سی اچ در جدول (1) ارائه‌شده است. با توجه به نتایج جدول، اثر اصلی هر پنج عامل مورد بررسی معنی‌دار شد. بر این اساس در ادامه بحث، روند تغییرات هر یک از عوامل روی تغییر شکل نمونه‌های گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی مربوط به گوجه‌فرنگی شامل ابعاد هندسی، جرم و ضریب کرویت در جدول (2) ارائه‌شده است. با توجه به نتایج حاصل، میانگین ضریب کرویت ارقام سوپر بتا و پتوارلی سی‌اچ به‌ترتیب برابر با 95/25 و 93/31 درصد به‌دست آمد.

جدول 1- تجزیه‌ی واریانس پنج عامل مورد بررسی بر میزان تغییر شکل

منبع تغییرات●	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
نیرو	2	38/953	*40/07
دما	1	20/339	*27/92
رقم	1	1/901	**2/61
راستای بارگذاری	1	1/545	*2/12
مدت زمان	4	226/976	**116/73
نیرو × مدت زمان	8	15/203	*3/91

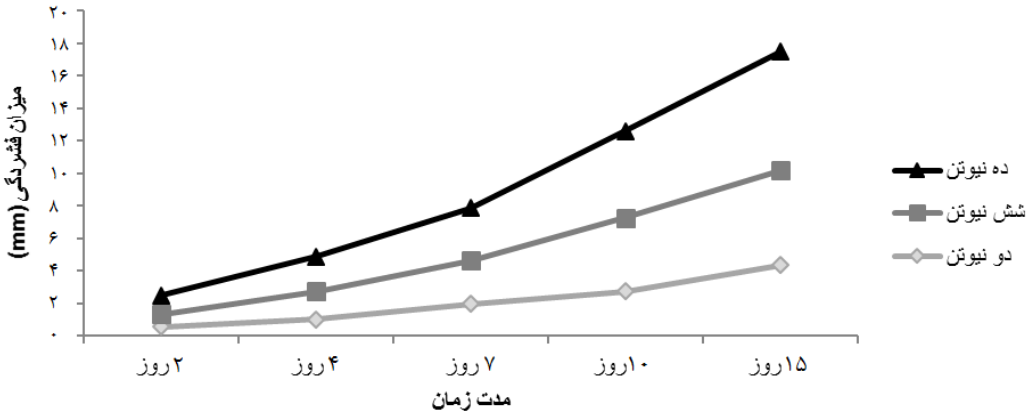
* معنی دار در سطح 5 درصد و ** معنی دار در سطح 1 درصد. ● سایر اثرات متقابل دوگانه و ... معنی‌دار نمی باشد.

جدول 2- خصوصیات فیزیکی گوجه‌فرنگی ارقام سوپر بتا و پتوارلی سی اچ

صفات	ارقام	
	Petoerly-Ch	*Supper-Bta*
ارتفاع، T (mm)	53/72±5/12	51/68±4/96
قطر بزرگ، L (mm)	58/50±6/83	58/02±5/95
قطر کوچک، W (mm)	54/91±4/78	52/98±4/69
قطر معادل حسابی، D_a (mm)	55/71±4/14	54/22±3/28
قطر میانگین هندسی، D_g (mm)	55/63±4/08	54/14±3/77
جرم، m (g)	96/92±16/87	92/69±16/69
ضریب کرویت، Ø (%)	95/25±6/23	93/31±6/02
حجم، V (cm^3)	165/37±56/81	157/82±49/27
نسبت نما (نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ، R)	0/93±0/07	0/91±0/08
مساحت سطح، S (cm^2)	97/38±13/88	92/12±12/34

اثر نیرو و مدت زمان نگهداری بر میزان تغییر شکل

شکل 4 نتایج مربوط به آزمون نیروهای ثابت در مدت زمان 15 روز بارگذاری را نشان می‌دهد. در این آزمون، بار در سه سطح 2، 6 و 10 نیوتن، ثابت نگه داشته شد و تغییر شکل نمونه‌ها در مدت زمان بارگذاری از 1 تا 15 روز ثبت گردید. با توجه به شکل 4، با افزایش مدت زمان بارگذاری، میزان تغییر شکل نمونه‌ها به‌صورت غیرخطی (نمایی یا درجه 2) افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها در هر سه سطح بارگذاری، شیب تغییر شکل نمونه‌ها با افزایش مدت زمان بارگذاری افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج نشان داده‌شده در شکل 4، برای راستای گل، با افزایش میزان بار از 2 به 6 نیوتن در روز چهارم، اختلاف در میزان تغییر شکل 0/71 میلی‌متر می‌باشد، درحالی‌که برای روز 15 این مقدار 1/45 می‌باشد. یافته‌های حاصل از مطالعه Allende و همکاران (2004) این نتیجه را تأیید می‌کند. افزایش در میزان تغییر شکل نشان‌دهنده تأثیر مدت زمان بارگذاری در محصولات مانند گوجه‌فرنگی می‌باشد. این امر می‌تواند به علت کاهش نسبت دانسیته توده محصول در طی مدت زمان نگه‌داری باشد، چرا که انجام واکنش‌های بیوشیمیایی مؤثر در رسیدن میوه و فعال‌تر شدن آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره‌های سلولی در کاهش نسبت دانسیته توده در طی مدت زمان نگه‌داری، میزان نرم‌شدگی و تغییر رنگ محصول نقش موثری دارد (Hosseini *et al*, 2010).

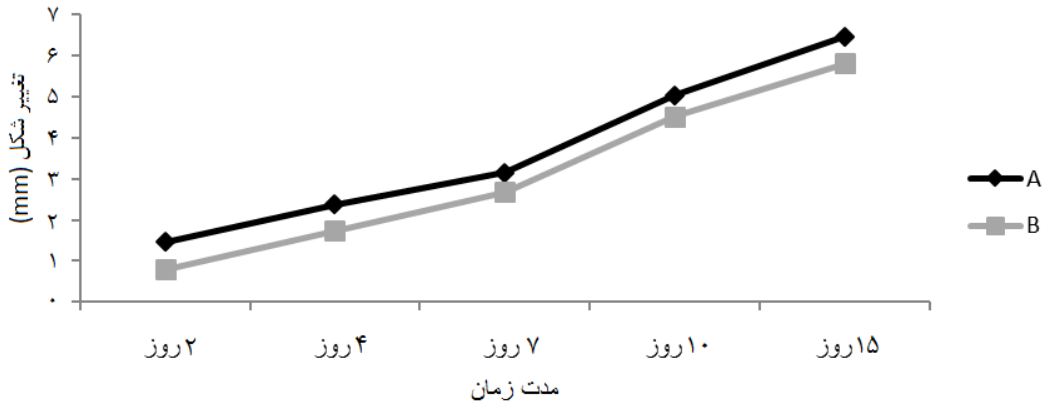


شکل 4- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی برای رقم پتوارلی سی اچ در راستای گل در سه سطح بارگذاری در دمای 25 درجه سلسیوس

اثر راستای بارگذاری بر میزان تغییر شکل

در این آزمون تأثیر دو جهت بارگذاری، راستای گل و عمود بر راستای گل بر میزان تغییر شکل نمونه‌ها بررسی شد. با توجه به اینکه روند تغییرات در سطوح مختلف بارگذاری تقریباً یکسان بوده؛ لذا برای نمونه در شکل 5 فقط نتایج آزمون تغییر شکل مربوط به نمونه‌های رقم پتوارلی سی اچ در نیروی ثابت 6 نیوتنی در دو راستای متفاوت بارگذاری ارائه‌شده است. با توجه به نتایج، راستای 90 درجه نسبت به راستای گل دارای حساسیت بیشتری نسبت به فاکتور تغییر شکل

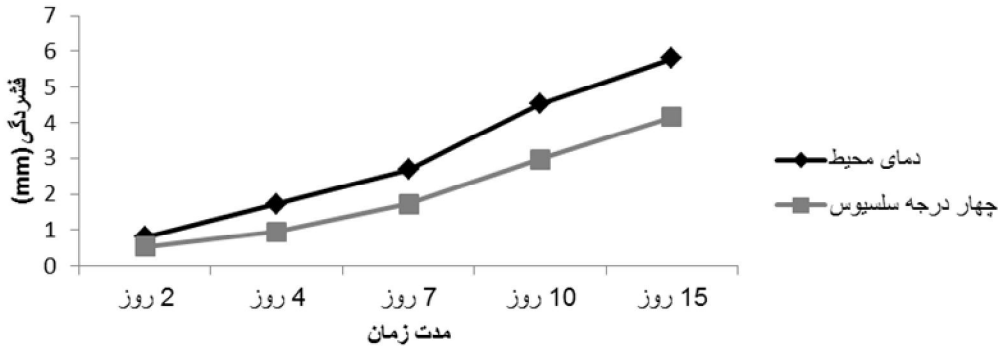
می‌باشد. به‌طور مثال در روز هفتم نگه‌داری گوجه‌فرنگی در شرایط آزمایشگاه، میزان تغییر شکل برای 90 درجه نسبت به راستای گل و راستای گل به ترتیب برابر با 3/15 mm و 2/68 mm به‌دست آمد. از نتایج فوق برداشت می‌شود که نگه‌داری میوه در راستای گل تغییر شکل کمتری نسبت به حالت 90 درجه نسبت به راستای گل ایجاد می‌کند. علت این امر مربوط به بافت گوجه‌فرنگی می‌باشد، زیرا بافت گوجه فرنگی در راستای گل به دلیل قرار گیری گل میوه سفت‌تر و سخت‌تر از بافت گوجه‌فرنگی در راستای عمود بر راستای گل می‌باشد.



شکل 5- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی رقم پتوارلی سی اچ (A=90 درجه نسبت به راستای گل و B=راستای گل) در بار ثابت 6 نیوتنی

اثر دما بر میزان تغییر شکل

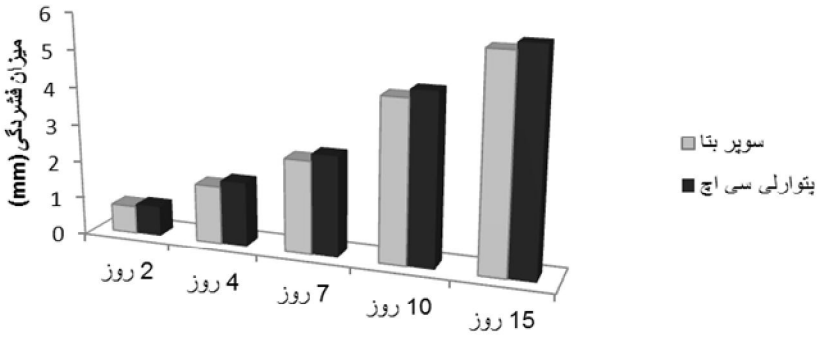
مقایسه مقادیر ارائه‌شده در شکل 6 نشان می‌دهد که با کاهش دما از دمای آزمایشگاهی (25 درجه سلسیوس) به دمای 4 درجه سلسیوس، میزان تغییر شکل کاهش یافته است. نتایج آزمایشات Schoorl & Holt (1977) نشان داده است که با کاهش دما، ویسکوزیته ی محصولات بیولوژیک افزایش‌یافته و دیواره سلول‌ها ترد شده و سفتی بافت افزایش می‌یابد. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که میزان تغییر شکل محصول در دمای کمتر کاهش یابد. این نتیجه با یافته‌های Hyde و همکاران (2001) نیز مطابقت دارد.



شکل 6- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی در شرایط دمایی محیط آزمایشگاه و 4 درجه سلسیوس سردخانه

اثر رقم بر میزان تغییر شکل

نتایج آزمون‌های مربوط به تحقیق حاضر نشان داد که در هر مقدار از سطح بارگذاری و مدت زمان نگهداری، رقم سوپر بتا نسبت به رقم پتوارلی سی اچ مقاومت بیشتری در مقابل بارهای فشاری شبه استاتیکی دارد. البته مقدار اختلاف در میزان تغییر شکل برای کلیه مقادیر بارگذاری و زمان‌های نگهداری کمتر از 5 درصد به‌دست آمد (شکل 7). این نتیجه با نتایج و یافته‌های Mohammadi Aylar و همکاران (2010) مطابقت دارد.



شکل 7- میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی در هر دو رقم سوپر بتا و پتوارلی سی اچ

با توجه به اینکه حداکثر تغییر شکل نمونه‌های گوجه‌فرنگی، مربوط به دمای محیط آزمایشگاهی و حداکثر نیروی بارگذاری می‌باشد؛ لذا برای تعیین مدل رئولوژیکی از نتایج بارگذاری حداکثر نیروی ثابت شبه استاتیکی 15 نیوتن و دمای 25 درجه سلسیوس استفاده شد. در مدت آزمایش میزان تغییر طول نمونه‌ها در هر سه جهت اندازه‌گیری و ثبت گردید. در نتیجه‌ی این بارگذاری، در راستای z کاهش قطر و در دو جهت دیگر افزایش قطر مشاهده شد. داده‌های حاصل از آزمون نیروی ثابت در جدول 3 ارائه‌شده است. برای تعیین مدل رئولوژیکی در شرایط نیروی ثابت ($d\sigma/dt = 0$)، از معادله (3) برای دستگاه کلوین عمومی استفاده شد (Stroshine, 1994).

با توجه به داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها (جدول 3)، و با در نظر گرفتن رابطه (3) برای دستگاه کلوین عمومی و با فرض η_v=0.31 (Rong *et al*, 2004)، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB رابطه مربوط به کرنش بر حسب زمان ε(t) محاسبه و به‌صورت معادله (4) ارائه شد.

با توجه به معادله فوق میزان تغییر شکل گوجه‌فرنگی در دمای محیط آزمایشگاهی (25 درجه سلسیوس) و تحت بارگذاری شبه استاتیکی 15 نیوتن، با استفاده مدل عمومی کلوین به‌صورت تابعی از زمان قابل محاسبه خواهد بود.

$$\varepsilon(t) = \sigma_0\left[\left(1/E_0\right) + \left[1/E_1\right]\left(1 - e^{-t/T_1}\right) + \left[1/E_2\right]\left(1 - e^{-t/T_2}\right) + \ldots + \left[1/E_n\right]\left(1 - e^{-t/T_n}\right) + \left(t/\eta_V\right)\right] \quad (3)$$

$$\varepsilon(t) = 0.00005e^{(-0.0549 + 0.218i)t} - (0.00002 + 0.00002i)t + 0.00125 - 0.0005i \quad (4)$$

جدول 3- داده‌های به‌دست آمده برای مرحله نیروی ثابت (بار شبه استاتیکی 15 نیوتن)

60	40	20	10	0	S (s)
63/07	62/83	62/67	62/61	62/57	X(mm)
58/61	58/36	58/17	58/10	58/07	Y(mm)
49/14	49/87	50/45	50/68	51/11	Z(mm)
-0/0020	-0/0014	-0/0010	-0/0007	0	ε_x
-0/0022	-0/0017	-0/0012	-0/0005	0	ε_y
0/0077	0/0062	0/0045	0/0080	0	ε_z
0/0012	0/0010	0/0008	0/0023	0	ε_{avc}

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این تحقیق با کاهش 80 درصد از مقدار بار شبه استاتیکی وارد شده بر گوجه‌فرنگی که می‌تواند ناشی از انباشتگی محصول بر روی هم باشد، میزان لهیدگی محصول به میزان 65 درصد کاهش می‌یابد. در بار ثابت 6 نیوتن، با کاهش دمای نگهداری از دمای محیط آزمایشگاهی (25 درجه سلسیوس) به دمای 4 درجه سلسیوس، تغییر شکل محصول گوجه‌فرنگی به میزان 40 درصد کاهش می‌یابد. تأثیر رقم محصول گوجه‌فرنگی در میزان تحمل بارهای فشاری معنی‌دار است. با افزایش مدت زمان بارگذاری از 1 تا

15 روز، در هر سه سطح بارگذاری فشاری بر روی محصـول، میـزان تغییر شکل نمونه‌ها به‌صورت غیرخطی افزایش مـی‌یابـد. در شـرایط نیروی ثابت 15 نیوتن، مدل رئولوژیکی کلوین عمومی برای تخمـین تغییرات کرنش در محصول نسبت به زمان مناسب است.

منابع

Afkari Sayah, A., & Minaee, S., 2009, Foundations and mechanical lesions Farm products. *Publications SID unit Ardabil province.* (In Farsi)

Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., & Nicola, M., 2004, Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 34, 131–141.

Broniowska, K., Gladysezewska, B., & Ciupal, A. 2012, Effect of storage time and temperature on Poisson ratio of tomato fruit skin, *Journal of Agro-physic* 26, 39-44.

Galedar, M., Tabatabaeefar, A., Jafari, A., Sharifi, A., O'Dogherty, M. J., Rafee, S., & Richard, G., 2008, Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. *Journal of Bio-systems*. 101(2), 199-208.

Hassan, H., Alhamdan, M., & Elansari, M., 2005, Stress relaxation of dates at Khalal and Rrutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*. 6, 439-445.

Hosseini, Hoshyar, S., Fatemian, H., & Elkhush, B., 2010, The effects of impact forces from a fall on the biophysical properties of the tomato. *Journal of Food Science and Nutrition* (In Farsi)

Hyde, M., Baritelle, L., & Varith, J., 2001, Fruit and vegetable conditioning to improve impact bruise threshold. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering. *Journal of Potsda* Germany 11–14.

Kader A, A., & Rolle, R. S., 1987, The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce, *FAO Agricultural Service Bulletin*

Mazaheri, Tehrani, M., Morteza, A., Zeyalhagh, H., & Ghandi, A., 2007, Tomato processing. *Publication of border*, (In Farsi)

Moghimi, A., & Saidi Rad, M., 2010, Cherry viscoelastic behavior under constant strain. *Sixth National Congress of Agricultural Engineering and Mechanization machines* (In Farsi)

Mohammadi Aylar, S., Minaee, S., & Afkari, Sayah, A., 2010 Mechanical properties of tomato under compressive loads during different stages of post-harvest handling. *Iranian Journal of Bio-systems engineering*.

Mohsenin, N. N., 1986, *Physical properties of plant and animal materials, Vol. 1*. Gordon and Breach Science Publication.

Myhan, R., Bialobrzewski, I., & Markowski, M., 2012, An approach to modeling the rheological properties of food materials. *Journal of Food Engineering*. 111, 351-359.

Rao, M, Rizvi, H., & Datta, K., 2005, *Engineering properties of foods* (3rd Ed.). Taylor and Francis Group. USA.

Rong, W., Qunying, J., & Deqiang, W., 2004, On the mechanical damage of grape using finite element analysis. *An ASAE/CSAE Meeting presentation.*

Schoorl, D., & Hplt, J., 1977, The effects of storage time and temperature on the bruising of Jonathan, Delicious and Granny Smith apples, *Journal of Texture Studied.* 8, 409-416.

Stroshine, R., 1994, Physical properties agricultural materials food products. *Course Manual. Purdue University Press, West Lafayette.* Indiana. USA

Tiback, E., Langton, M., Oliveria, J., & Ahme, L., 2014, Mathematical modeling of the viscosity of tomato, broccoli and carrot purees under dynamic conditions. *Journal of Food Engineering*, 124, 35-42.

Wu, T., & Abbott, J. A., 2002, Firmness and force relaxation characteristics of tomatoes stored intact or as slices, *Postharvest Biology and Technology*, 24, 59-68.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 858-866

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص.866-858

Determination of rheological properties of tomato under quasi static loading conditions

M. Ghorbannejad Shahroudi[1], A. Golmohammadi[2*], D. Kalanatri[3]

Received: 2016.05.14
Accepted: 2016.10.03

Introduction: Mechanical damages in agricultural products cause wastes directly and indirectly. Bruise damage due to quasi static load is one of the most important reasons of fresh fruit quality loss. Agricultural crops undertake many mechanical loads and physical damages during different stages of harvesting and post-harvest such as handling, transport, storage and processing. In many cases imported loads cause mechanical damages and cellular wall rupture and this rupture leads to perturbation of natural cellular interchanges. This object is one of the important problems of modelling and experimental studies in Biosystems engineering sciences. Tomato is one of the most important horticultural products and a widely produced products in the world. Larg amounts of tomato products are destroyed during the different stages of harvesting, transport and packaging. To study the viscoelastic behavior of agricultural crops, rheology science is used which is the science of biological materials deformation and flow ability under affection of loads at different times. For prediction and classification of materials behavior under different conditions of stress and strain, different rheological models are used. These models include different combinations of metallic body (spring) and Newtonian liquid body (dashpot) that illustrate complex behavior of agricultural products. Determining of factors that affect deformation value of tomato, lead to reduction of product waste.

Materials and methods: In this study, the effect of some important parameters such as static loading at three levels (2, 6 and 10 N), storage temperature at two levels (4 and 25 ˚C), loading at two directions for two cultivars (Supper-Beta and Petoerly-CH), were studied on deformation value. Samples were handy harvested at approximate ripeness level (reddish pink) from greenhouse and transported to the Lab. Some physical properties (mass, volume, major and minor diameters, height, sphericity coefficient, surface area) were measured. Samples were subjected to compressive loading using university made apparatus. The Experiments were performed in a fifteen-day period, at two different conditions, ones at temperature 4 ˚C and the other at environmental temperature 25 ˚C, using factorial test in form of completely randomized design. The first test was performed under constant load of 6 N in two directions of fruit axials (Z and Y directions), The second test was performed in three levels 2 and 10 N in direction of calyx face. By indicator, deformation value of tomatoes at 2, 4, 7, 10, and 15 days after loading was investigated. The third test was performed under constant loads of 15 N and deformation values of samples were recorded every 10 mins during a 60-minute period.

Results and conclusions: The Results showed at temperature 25 ˚C, with increasing load from 2 up to 10 N, deformation value of the product would be increased about 65%. Increase of deformation value indicates the effect of loading time for products such as tomatoes. This phenomenon can be a result of bulk density ratio reduction of product during the storage, because biochemical reactions are effective in fruit ripening, activating the destructive enzymes of cellular wall during the storage, softening and color changes. Maintaining fruits in direction of calyx face leads to lower deformation in comparison with 90 degrees proportion to calyx. This phenomenon is because of tomato tissue, its tissue in direction of calyx is harder and stiffer of normal direction, because of being flower. By reducing temperature from 25 to 4 ˚C, at constant load of 6N, deformation was decreased about 40%. With decreasing temperature, viscosity of biologic products would be increased and cellular walls get brittle and tissue stiffness increase. Therefore, it seems logical that deformation value of product at lower temperature decreases. Super-Beta cultivar had more durability in comparison with Petoerly-CH against compressive static loads. Under constant loading conditions, General Kelvin rheological model was considered suitable to estimate the strain versus time.

1 and 2. Former MSc student and Associated Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University
3. Assistant Professor, Department of Mechanical Bio-system, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari.
(*Corresponding author Email: agolmohammadi42@gmail.com)

Key Words: variety, compression loading, rheological properties, deformation