

تاثیر رقم و زمان برداشت بر خواص ویسکوالاستیک سیب

بنت الهدی قاسمی باغبادرانی^{۱*}، عباس همت^۲

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی

اصفهان b.ghasemibaghdarani@ag.iut.ac.ir

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این پژوهش خواص آسایش تنش سه رقم سیب طی سه تاریخ برداشت تحت آزمون فشار تک محوری به صورت محصور و غیر محصور مورد مطالعه قرار گرفت. سیب رفتاری همانند سایر مواد ویسکوالاستیک (رفتار وابسته به زمان) از خود نشان داد. مدل دو جزیی ماکسول می‌تواند به عنوان معادله مشخصه ارقام مورد آزمایش سیب مورد استفاده قرار گیرد. تابع آسایش تنش برشی از نتایج آزمون آسایش تنش فشاری محصور با استفاده از رابطه خواص الاستیک نیز بدست آمد. نتایج نشان داد اثر رقم و زمان برداشت بر تمامی پارامترهای بدست آمده از مدل ماکسول به جز زمان‌های آسایش تنش، معنی‌دار بود. نتایج این تحقیق می‌تواند در مدل‌سازی رفتار مکانیکی سیب با روش اجزاء محدود استفاده گردد. شبیه‌سازی سیب در حین بارگذاری‌های مختلف (فرآیندهای برداشت، حمل و نقل، بسته‌بندی و انبار کردن آن) می‌تواند در شناخت و بررسی عوامل موثر بر صدمات مکانیکی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آسایش تنش، جنگلد، سیب، فوجی، گلاب کهنژ.

مقدمه

اجسام ویسکوالاستیک اجسامی هستند که رفتار آن‌ها وابسته به زمان است. بنابراین خواص آن‌ها با نرخ بارگذاری و مدت زمانی که تحت بار قرار می‌گیرند، تغییر می‌کند. برای تعیین توزیع تنش در یک جسم ویسکوالاستیک، باید معادله‌های مشخصه آن‌ها را بدست آورد. این معادله‌ها از منحنی‌های مشخصه که از طریق آزمایش‌های تجربی تعیین می‌شوند بدست می‌آیند. تجزیه و تحلیل رفتار آسایش تنش میوه می‌تواند مشخصه‌ای برای نشان دادن تغییر ساختار بافت آن حین رسیدگی باشد (Sakuria and Nevin, 1992). چندین محقق درباره رفتار ویسکوالاستیک خطی مواد کشاورزی تحقیق کرده‌اند. مدل‌های مکانیکی ساده که از ترکیب عناصر الاستیک و ویسکوز جسم گسترش پیدا کردند، برای توصیف رفتار مواد زمانی که تحت بار محوری فشاری یا کششی قرار گرفته‌اند، استفاده شده است (Mohsenin, 1986).



یک روش آزمایشی برای تعیین خواص ویسکوالاستیک گوشت سیب رد دلشیز ارائه شد. این روش نیازمند انجام آزمایش آسایش تنش روی نمونه استوانه‌ای یک بار به صورت محصور و یک بار به صورت غیر محصور بود. در این روش با استفاده از اصل هم‌خوانی بین معادله‌های الاستیک و معادله‌های تبدیل لاپلاس ویسکوالاستیک، مدول حجمی ظاهری، مدول برشی و نسبت پواسون را به صورت توابع وابسته به زمان بدست آمد (De Baerdemaeker and Segerlind, 1976).

گزارش شده است که با رشد و رسیدن انگور سفید بیدانه اجزای الاستیک مدل ماکسول آن کاهش می‌یابد (Hasanpour *et al.*, 2011). همچنین بررسی افت تنش هشت وارپته خرما در دو مرحله رسیدگی (خلال و رطب) نشان داد که زمان آسایش تنش همه وارپته‌ها بجز سوکاری، در مرحله‌ی خلال کوتاهتر از مرحله‌ی رطب بوده است (Hassan *et al.*, 2004).

تاکنون پژوهشی کمی درباره تعیین خواص ویسکوالاستیک سیب در ایران انجام گرفته است. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی خواص ویسکوالاستیک سه رقم سیب گلاب کهنز، جناگلد و فوجی طی مراحل رسیدن است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۱ انجام شد. سه رقم سیب گلاب کهنز، جناگلد و فوجی از دو باغ وابسته به مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اصفهان، واقع در شهرستان سمیرم برداشت شد. تاریخ‌های برداشت و شرایط آزمایش سیب‌های برداشت شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

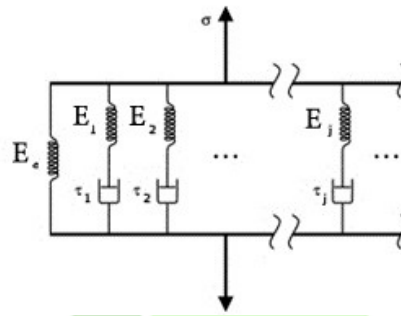
جدول ۱- ارقام، تاریخ برداشت و شرایط هوا در زمان انجام آزمایش‌ها

Table 1- Cultivar, harvest date and weather conditions at the time of testing

رقم سیب	تاریخ برداشت	دما (°C)	رطوبت نسبی هوا (%)	
Apple Cultivar	Harvest date	Temperature (°C)	Relative humidity of air	
گلاب کهنز	92/5/1	27	27	
Golab Kohanz	91/5/9	27.3	25	
	91/5/12	27	25	
جناگلد	91/7/15	22.8	26	
	91/7/26	27	22	
	91/8/3	20.3	34	
فوجی	91/8/3	20	34	
	Fuji	91/8/14	20.5	32
		91/8/20	22.6	35



برای استخراج خواص ویسکوالاستیک اجسام از طریق آزمایش‌های خزش یا آسایش تنش از مدل‌های رئولوژی استفاده می‌شود. مدل بیانگر ساختار داخلی جسم نیست بلکه می‌تواند کلیت رفتار جسم را به صورت یکسری روابط ریاضی بیان کند. مدل عمومی ماکسول از تعداد n عنصر ماکسولی با یک عنصر ارتجاعی که با عنصر n ام به صورت موازی قرار گرفته است، برای مدل‌سازی رفتار اجسام ویسکوالاستیک خطی در آزمایش آسایش (کاهش) تنش استفاده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. مدل عمومی ماکسول

Figure1- Generalized Maxwell model

مدول الاستیک آخرین فنر (E_e) مربوط به مدول الاستیسیته جسم در زمان‌های طولانی پس از شروع آزمایش آسایش تنش است. در این مدل n ضریب الاستیک و زمان آسایش تنش مربوط به هر مدل ساده ماکسول که به صورت موازی با هم قرار گرفته‌اند، می‌باشد. رابطه ۱ معادله آسایش تنش مدل عمومی ماکسول که از ترکیب دو مدل ساده ماکسول و یک عنصر ارتجاعی ساخته شده است را بیان می‌کند.

$$\sigma(t) = [E_1 \exp(-t/\tau_1) + E_2 \exp(-t/\tau_2) + E_e] \varepsilon_0 \quad (1)$$

$$E_0 = E_e + (E_1 + E_2)$$

که ε_0 کرنش ثابت اعمال شده اولیه، E_1 و E_2 به ترتیب مدول الاستیسیته و τ_1 و τ_2 به ترتیب زمان‌های آسایش تنش عنصر ۱ و ۲ مدل ماکسول، E_e مدول الاستیسیته تعادلی و E_0 مدول الاستیسیته اولیه جسم می‌باشد.

نحوه آزمایش‌های آسایش تنش

ده عدد سیب از هر برداشت از هر رقم انتخاب شد و نصف گردید و از یک طرف برای آزمایش آسایش تنش محصور و از طرف دیگر برای آزمایش آسایش تنش غیر محصور نمونه با نمونه‌گیر به قطر ۱۲ میلی‌متر خارج شد. طول اولیه نمونه‌ها ب اکولیس اندازه‌گیری شد. برای آزمایش محصور از استوانه‌ای با قطر داخلی ۱۲ میلی‌متر، استفاده شد. آزمون‌ها با استفاده از دستگاه جامع کشش- فشار سنتام انجام گرفت. نرخ بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه بود. پس از رسیدن کرنش ۰/۱، فک دستگاه ثابت شد و



نمودار نیرو بر حسب زمان تا ۵ دقیقه رسم گردید. برای انجام آزمایش‌های محصور از یک استوانه توخالی با قطر داخلی ۱۲ میلی‌متر و قطر خارجی ۳۰ میلی‌متر و یک سنجه فولادی هم اندازه قطر داخلی آن برای اعمال بارگذاری، استفاده شد. با تقسیم نیروها بر مساحت نمونه، نمودار تنش بر حسب زمان بدست آمد و سپس با برازش منحنی روی نمودار تنش-زمان متغیرهای رابطه ۱ برای آزمایش‌های محصور و غیر محصور بدست آمد. از سری پرونی^۱ برای برازش منحنی‌های آسایش تنش و استخراج پارامترهای مدل عمومی ماکسول استفاده شد (Mohsenin, 1986). برای برازش سری پرونی از نرم افزار متلب^۲ استفاده شد.

تابع آسایش فشاری محصور با استفاده از رابطه ۲ به تابع آسایش برشی برآورد شد (Tshoeglet *et al.*, 2002).

$$G(t) = E_r(t) \left(\frac{1 - 2\mu}{2(1 - \mu)} \right) \quad (2)$$

که در این رابطه μ نسبت پواسون، $E_r(t)$ تغییرات مدول الاستیسیته محصور بر حسب زمان و $G(t)$ تغییرات مدول برشی بر حسب زمان در آزمایش آسایش تنش است.

برای بدست آوردن نسبت پواسون سیب‌ها در زمان‌های برداشت شده آزمون فشاری روی نمونه‌های استوانه‌ای به صورت محصور و غیر محصور با ده تکرار انجام گردید و سپس با روابط مربوطه نسبت پواسون محاسبه شد (Gyasi *et al.*, 1981).

نتایج و بحث

در شکل‌های ۳ تا ۵(الف) به ترتیب منحنی‌های آسایش تنش سیب گلاب کهنزه، جناگلد و فوجی در سه تاریخ برداشت نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود تنش در زمان صفر در برداشت‌های اول دارای بیشترین مقدار، ۰/۳۸ مگاپاسکال برای سیب گلاب کهنزه، ۰/۳۲ مگاپاسکال برای سیب جناگلد و ۰/۳۵ مگاپاسکال برای سیب فوجی می‌باشد این کاهش در تنش اولیه به دلیل تغییرات ساختاری بافت سیب در مراحل مختلف رسیدگی است. افزایش محتوی قند سلول هنگام رسیده شدن، باعث تغییر پکتین توسط آنزیم پکتیناز شده و منجر به نرمی بافت سیب در برداشت‌های دوم و سوم نسبت به برداشت اول می‌گردد که موجب می‌شود (Hassan *et al.*, 2004)، منحنی آسایش تنش برداشت دوم و سوم گلاب کهنزه تقریباً بر هم منطبق است که به نسبت برداشت اول کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد. منحنی‌های آسایش تنش سیب جناگلد در برداشت اول و دوم اختلاف کمی دارند ولی در برداشت سه تنش کاهش یافته است (شکل ۴(الف)). منحنی‌های آسایش تنش سیب فوجی تقریباً بر هم منطبق است (شکل ۵(الف)).

به منظور بررسی شدت تغییرات تنش حین رسیدگی تنش در هر زمان بر مقدار تنش اولیه تقسیم شده و منحنی‌های تنش نرمال شده سیب گلاب کهنزه، جناگلد و فوجی به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. تنش‌های نرمال شده گلاب کهنزه نشان می‌دهد که در برداشت اول تنش با نرخ بیشتری کاهش می‌یابد به عبارتی تنش زودتر میرامی‌گردد (شکل ۳). این ممکن

^۱Prony

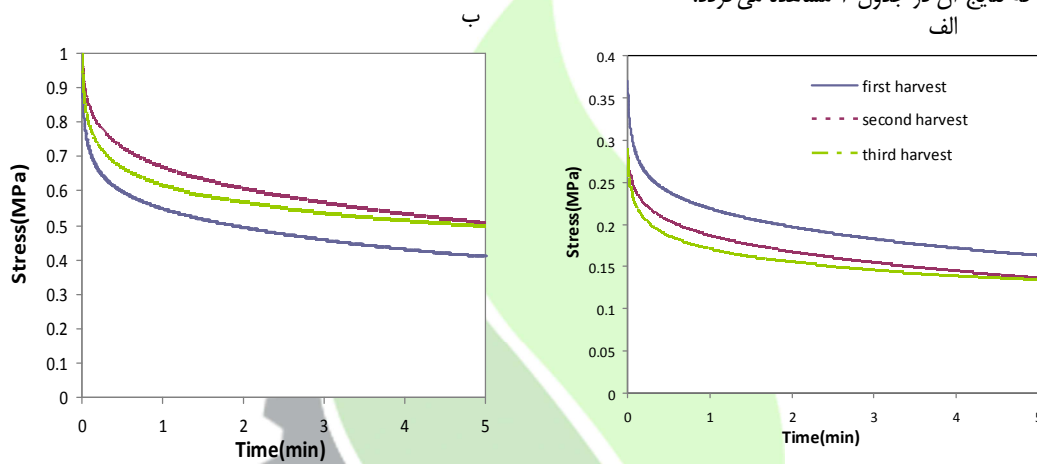
^۲MATLAB



است به دلیل افزایش رطوبت سیب در برداشت دوم و سوم باشد (Khazaei and Mann, 2005). در تحقیقی روی انگور سفید بید دانه نیز نتایج مشابه بدست آمده است که حین رسیدگی شدت افت تنش کاهش یافته است (Hasan poor et al, 2010). منحنی‌های تنش نرمال شده‌ی سیب جناگلد و فوجی در هر سه برداشت دارای روند مشابهی است بنابراین تنش‌ها در هر سه برداشت به یک نسبت کاهش یافته‌اند (شکل ۴ و ۵ (ب)).

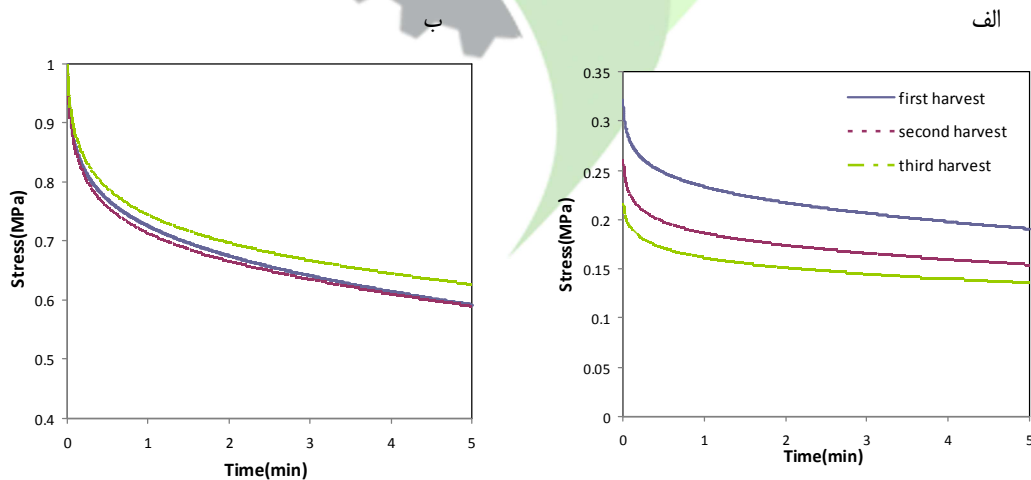
برای توصیف رفتار آسایش تنش سیب‌ها، مدل ماکسول بر روی همگی منحنی‌های آسایش تنش با مقادیر R^2 بزرگ‌تر از ۰/۹۹۸ برازش شد. تجزیه واریانس پارامترهای بدست آمده از مدل ماکسول برای آزمایش آسایش تنش غیر محصور انجام گردید.

که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می‌گردد.



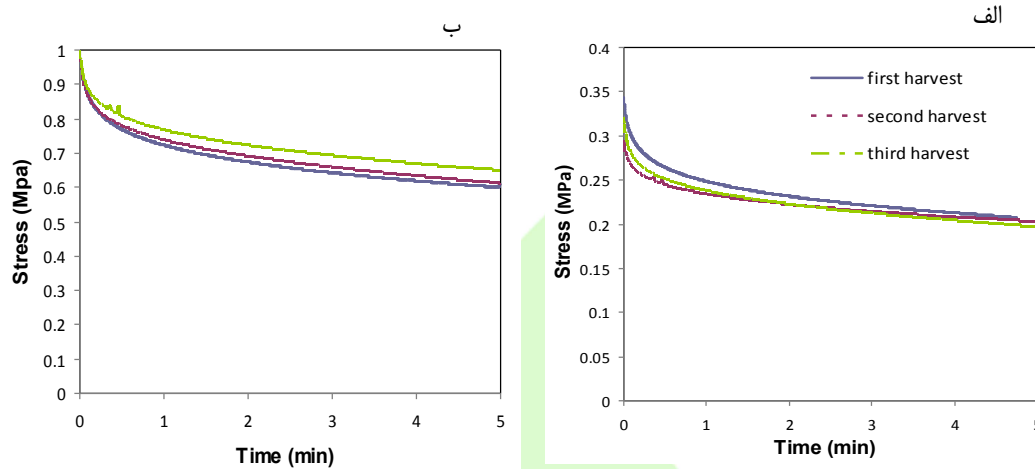
شکل ۳- (الف) منحنی آسایش تنش و (ب) منحنی آسایش تنش نرمال شده‌ی سیب گلاب کهنز در سه تاریخ برداشت.

Figure 3-Stress relaxation functions (right side) and Normalized relaxation functions (left side) for Golab Kohanz apples at three harvest dates.



شکل ۴- (الف) منحنی آسایش تنش و (ب) منحنی آسایش تنش نرمال شده‌ی سیب جناگلد در سه تاریخ برداشت.

Figure 4-Stressrelaxation functions (right side) and Normalized relaxation functions(left side) for Gonagold apples in three harvest date.



شکل ۵- (الف) منحنی آسایش تنش و (ب) منحنی آسایش تنش نرمال شده‌ی سیب فوجی در سه تاریخ برداشت .

Figur -relaxation functions (right side) and Normalized relaxation functions(left side) for Fuji apples in three harvest date.

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس پارامترهای بدست آمده مدل ماکسول در آزمایش آسایش تنش غیر محصور.

Table 2- Summary of analysis of variance parameters of the Maxwell model in a non-confining stress relaxation tests.

منابع تغییرات Source of Variability	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean Square					
		E_1 (MPa)	T_1 (s)	E_2 (MPa)	T_2 (s)	E_e (MPa)	E_0 (MPa)
رقم Cultivar	2	0.03*	30.97 ^{ns}	0.31**	16476 ^{ns}	2.17**	1.76*
تاریخ برداشت Harvest date	2	0.24**	31.25 ^{ns}	0.23**	14966 ^{ns}	0.56*	2.88**
رقم×تاریخ برداشت Cultivar× Harvest date	4	18**	60.60 ^{ns}	0.37**	15892 ^{ns}	0.69**	2.66**
خطا Error	81	0.01	51.59	0.02	18490	0.09	0.20

^{ns} بی معنی، * معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

Levels of treatment means followed by (ns) is un significant, (*) are significantly different at $p = 0.05$ and (**) are significantly different at $p = 0.01$

اثر رقم و زمان برداشت‌ها بر مقدار زمان‌های آسایش تنش T_1 و T_2 اثر معنی‌داری نداشت که این با نتایج تحقیقی که بر انگور

سفید دانه طی رسیدن انجام گرفته، مشابه است (Hasanpour *et al.*, 2011). زمانی که ماده اوکسین (تحریک کننده رشد) تولید



می‌شود، موجب کاهش T_1 دیواره سلولی نمونه می‌گردد. تغییر در کاهش T_1 به واسطه اوسین در سیستم بسیاری از گیاهان مانند برنج، نخود، لوبیا، کدو و بافت غده سیب زمینی ترش مشاهده شده است (masuda, 1990). بنابراین کاهش در مقدار T_1 به عنوان شاخصی برای نشان دادن سست شدن دیواره سلول بر اثر رشد است. سست شدن دیواره سلولی بر اثر تخریب پلی ساکاریدهای دیواره بوجود می‌آید. تجزیه و تحلیل آسایش تنش بافت میوه این تغییرات در دیواره سلول را مشخص می‌کند. مقایسه میانگین‌ها برای پارامترهای بدست آمده از آزمایش آسایش تنش غیر محصور در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای حاصل از آسایش تنش غیر محصور.
Table 3- Comparison of parameters obtained from unconfined stress relaxation test.

تیمار Treatment	E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	E_c (MPa)	E_0 (MPa)
کهنز (Kohanz)				
برداشت اول First harvest	0.53 ^b	1.07 ^a	1.46 ^{ab}	3.06 ^a
برداشت دوم Second harvest	0.38 ^{cd}	0.46 ^{ed}	0.77 ^c	1.62 ^c
برداشت سوم Third harvest	0.35 ^{ed}	0.59 ^{bcd}	0.89 ^c	1.83 ^c
چناگلد (Gonagold)				
برداشت اول First harvest	0.71 ^a	0.48 ^{cde}	1.57 ^{ab}	2.77 ^{ab}
برداشت دوم Second harvest	0.43 ^{bcd}	0.59 ^{bcd}	1.43 ^b	2.45 ^b
برداشت سوم Third harvest	0.25 ^e	0.37 ^e	1.05 ^c	1.68 ^c
فوجی (Fuji)				
برداشت اول First harvest	0.45 ^{cb}	0.66 ^b	1.71 ^{ab}	2.84 ^{ab}
برداشت دوم Second harvest	0.36 ^{ed}	0.62 ^{bc}	1.79 ^a	2.77 ^{ab}
برداشت سوم Third harvest	0.37 ^{cd}	0.60 ^{bcd}	1.50 ^{ab}	2.48 ^b

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه است، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

Means in each column with the same letter according to LSD test revealed no significant difference at the 5% probability level.

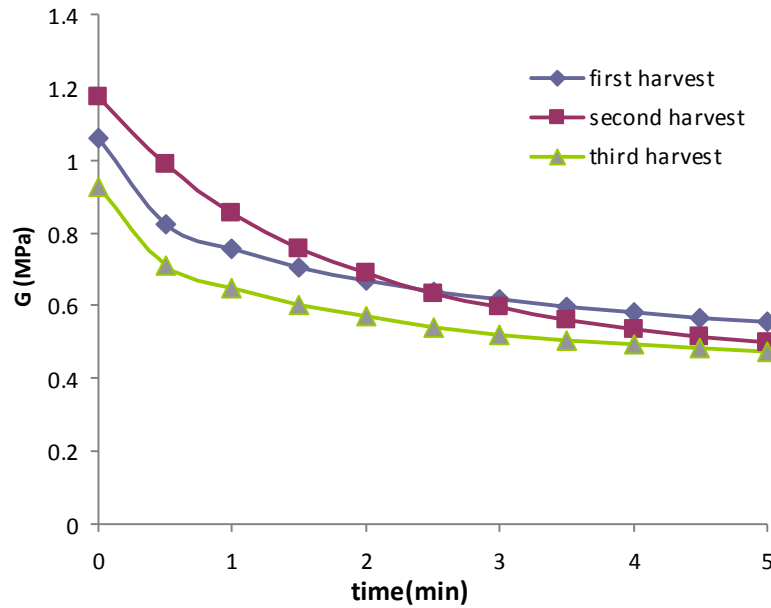
برای سیب گلاب کهنز مقدار تمامی اجزای الاستیک در برداشت اول بیشترین مقدار را داشته و در برداشت دوم و سوم تفاوت معنی داری نداشتند. برای سیب چناگلد مقدار E_1 در سه برداشت تفاوت معنی داری و کاهش داشتولی سایر اجزای الاستیک در برداشت اول و دوم تفاوت معنی داری نداشته و در برداشت سوم کاهش یافت. برای سیب فوجی مقدار E_1 در برداشت اول با دوم و سوم تفاوت معنی داری داشته ولی سایر اجزای الاستیک در زمان‌های برداشت شده تفاوت معنی داری نداشتند. کاهش مقادیر

اجزای الاستیک در مدل ماکسول حاکی از کاهش ویژگی الاستیسیته ماده‌ی تحت آزمایش است (Kajuna et al, 1998). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت با تاخیر در برداشت الاستیسیته و ویسکوزیته سب‌های مورد آزمایش کاهش یافته است. نتایج برازش مدل ماکسول بر منحنی آسایش تنش محصور در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که در مواد و روش‌ها بیان شد، با ثابت در نظر گرفتن نسبت پواسون حین آسایش تنش، می‌توان آسایش مدول برشی را با استفاده از منحنی آسایش تنش محصور برآورد کرد. چون مدول برشی با استفاده از ضریبی از مدول الاستیسیته محصور محاسبه شده است پس رفتاری مشابه با آن دارد.

جدول ۴- میانگین پارامترهای حاصل از منحنی آسایش تنش محصور.
Table 4- Average values of parameters obtained from confined stress relaxation test.

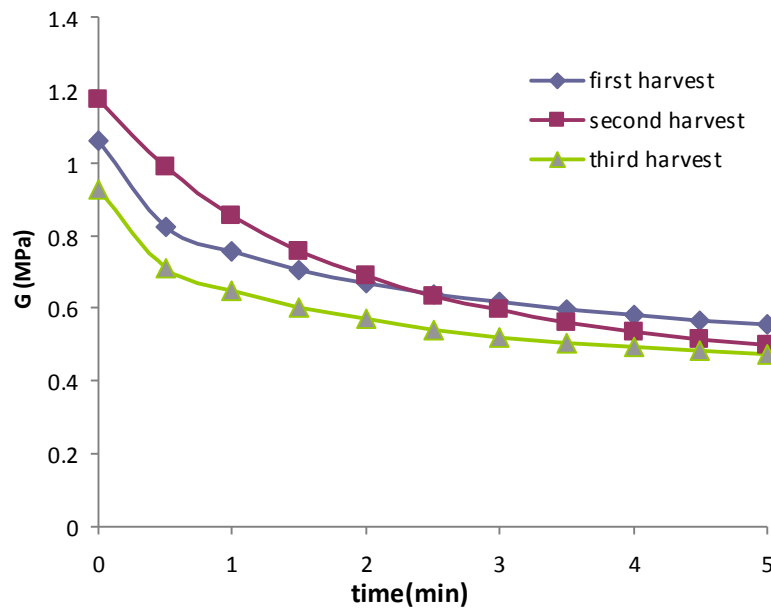
تیمار treatment	E ₁ (MPa)	T ₁ (s)	E ₂ (MPa)	T ₂ (s)	E _e (MPa)	E ₀ (MPa)
کهنز (Kohanz)						
برداشت اول First harvest	1.13	138.68	0.55	11.52	1.59	3.27
برداشت دوم Second harvest	1.11	217.54	1.11	11.70	1.13	3.13
برداشت سوم Third harvest	0.92	121.50	0.42	9.10	1.24	2.57
جناگلد (Gonagold)						
برداشت اول First harvest	1.25	107.26	1.04	7.22	2.32	4.60
برداشت دوم Second harvest	1.16	108.33	1.10	6.36	2.03	4.29
برداشت سوم Third harvest	0.99	111.76	0.82	9.06	1.58	3.40
فوجی (Fuji)						
برداشت اول First harvest	1.38	126.30	1.09	7.13	2.94	5.41
برداشت دوم Second harvest	1.33	116.47	1.19	6.03	2.63	5.16
برداشت سوم Third harvest	1.39	108.20	0.95	7.57	2.64	4.97

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، مدول برشی در برداشت اول و دوم و سوم گلاب کهنز در قسمت اولیه منحنی تقریباً با شیب یکسانی کاهش یافته است و پس از آن نیز در یک مقدار یکسان به تعادل رسیده است. در شکل ۷ برای سبب جناگلد مدول برشی در برداشت یک و دو تقریباً با شیب یکسانی کاهش می‌یابد ولی در برداشت سه این شیب کمتر شده است. شکل ۸ نشان می‌دهد روند تغییرات مدول برشی سبب فوجی با زمان شبیه جناگلد است.



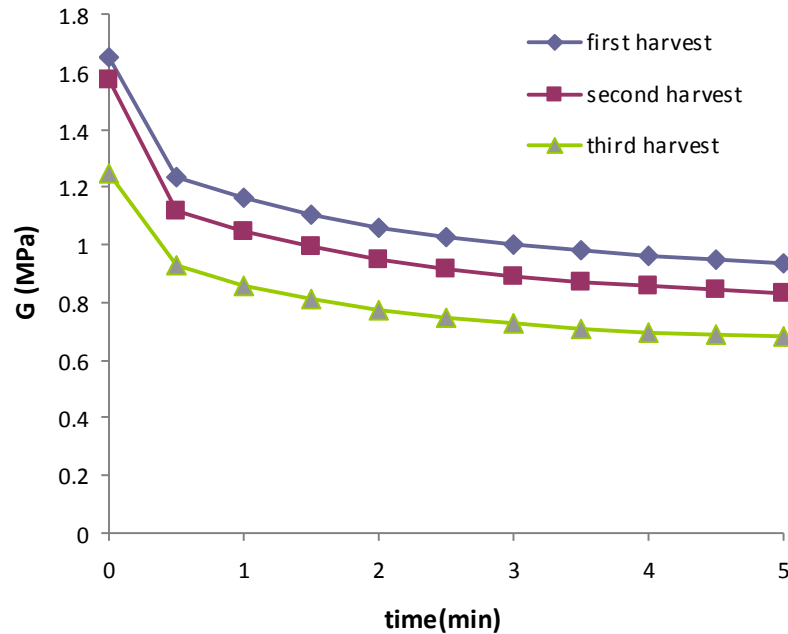
شکل ۶- آسایش مدول برشی سیب گلاب کهنز در سه تاریخ برداشت.

Figure 6- Shear relaxation function of Golab Kohanz apple at three harvest dates.



شکل ۷- آسایش مدول برشی سیب جناگلد در سه تاریخ برداشت.

Figure 7- shear relaxation function of Gonagold apple at three harvest date.



شکل ۸- آسایش مدول برشی سیب فوجی در سه تاریخ برداشت.
Figur - Shear relaxation function of Fuji apple at three harvest dates.

نتیجه گیری

- ۱- سیب همانند سایر مواد ویسکوالاستیک رفتار وابسته به زمان از خود نشان داد.
- ۲- مدل دو جزیی ماکسول بهترین برازش ($R^2 > 0.99$) برای رفتار سه رقم سیب آزمایش شد، داشت.
- ۳- زمان برداشت انتخاب شده هر سه رقم بر زمان‌های آسایش تنش اثر معنی داری نداشت.
- ۴- با تاخیر در برداشت مدول الاستیسیته و ویسکوزیته گلاب کهنز در برداشت دوم و سوم نسبت به برداشت اول و سیب جناگلد در برداشت سوم نسبت به برداشت اول و دوم کاهش یافت. مقدار اجزای الاستیک سیب فوجی به جز مقدار E_1 تفاوت معنی داری نشان نداد.
- ۵- با فرض ثابت در نظر گرفتن نسبت پواسون جین آسایش تنش می‌توان تابع مدول برشی بر حسب زمان را بدست آورد که از این نتایج در مدلسازی سیب به صورت ویسکوالاستیک بهره برد.

منابع

- 1- De Baerdemaeker, J. G and L. J. Segerlind. 1976. Determination of the Viscoelastic Properties of Apple Flesh. Transactions of the ASAE. 19: 346-348.
- 2- Gyasi, S. L., R. B. Fridley and P. Chen. 1981. Elastic and Viscoelastic Poisson's Ratio Determination for Selected Citrus Fruits. Transactions of the ASAE 24: 747-750.
- 3- Hasanpour, A., M. Esmaili., A. Modarres Motlagh and A. Rahmani Didar. 2011. Changes in viscoelastic properties of Thompson seedless grapes during ripening. Reseach in Food Technology 20(2): 133-144
- 4- Hassan B. H, Alhamdan A. M. and A. M, Elansari 2004. Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity. Journal of Food Engineering. 66: 439-445.
- 5- Kajuna S., W. K. Bilanski and G. S. Mittal. 1998. Effect of ripening on the parameters of three stress relaxation models for banana and plantain. Transactions of the ASAE 41(1): 55-61.
- 6- Khazaei, J and D. D. Mann. 2004. Effects of Temperature and Loading Characteristics on Mechanical and Stress-Relaxation Behavior of Sea Buckthorn Berries. Part 3. Relaxation Behavior. Agricultural Engineering International. CIGR Journal of Scientific Research and Development. 5: 1-12.
- 7- Khazaei J and D. D, Mann 2005. Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation behaviour of chickpea kernels. Inter Agrophysics 19: 305-313.
- 8- Masuda, Y. 1990. Auxin-induced cell elongation and cell wall changes. Bot. Mag.Tokyo 103:345-370.
- 9- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers. Newyork.
- 10- Sakuria, N and D. J. Nevins. 1992. Evaluation of stress relaxation in fruit tissues. Horticultural Technologies. 2(3): 398-402.
- 11- Tshoegl, N.W., W. G. Knauss and I. Emri. 2002. Poisson's ratio in linear viscoelasticity -a critical review. Mechanics of Time-dependent Materials and Processes. 6: 3-51.

Effect of Cultivar and Harvest Time on Viscoelastic Properties of Apple

Bentolhoda ghasemibaghadrani^{1*} and Abbas Hemmat²

1- Graduated from the Masters, Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology, b.ghasemibaghadrani@ag.iut.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract

In this study, stress relaxation properties of three apple cultivars at three harvest times under uni-axial compression were studied. Apples had a time dependent behavior similar to other viscoelastic materials. The two-term Maxwell model was chosen as the best fit equation to the relaxation data. Shear stress relaxation function obtained with using of confined compression stress relaxation test results and elastic properties relationship. The results showed that the effect of cultivar and harvest date on all the parameters obtained from the Maxwell model, except stress relaxation times was significant. The results can be used in finite element modeling of the mechanical behavior of apple. Simulation of apple behavior under different loading during (harvest processing, transport, packaging and storing it) can be used to identify and evaluate the factors of mechanical damage.

Keywords: Apple, Fuji, Golab Kohanz, Gonagold, Stress relaxation.