

ارزیابی برخی خواص رئولوژی گوجه زیتونی در داخل فیلم بسته‌بندی در طول انبارداری

محمد مهدی سهرابی^۱، ابراهیم احمدی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۵)

چکیده

از جمله روش‌های رایج جهت ماندگاری و حفظ کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی می‌باشد. در این پژوهش اثر فیلم‌های بسته‌بندی پلی‌اتیلن با چگالی بالا، پلی‌وینیل کلراید و مدت زمان انبارداری بر روی رفتار ویسکو الاستیک گوجه زیتونی، با استفاده از آزمون تنش آسایبی مورد ارزیابی قرار گرفت همچنین برخی از خواص مکانیکی شامل حداکثر نیروی نفوذ، کرنش تسلیم، مدول الاستیسیته و انرژی گسیختگی اندازه‌گیری شد. در این مطالعه نمودار کاهش تنش نسبت به زمان ترسیم شد و مقادیر زمان‌های تنش آسایبی و میزان تنش‌ها محاسبه گردید. با توجه به نتایجی که از این پژوهش به دست آمد، کاربرد این فیلم‌ها تاثیر مثبت افزایشی بر کرنش تسلیم داشت از طرفی محصولات در داخل فیلم‌های بسته‌بندی توانایی نگه‌داری محصولات را تا روز چهارم را داشتند. روند کاهش حداکثر نیروی نفوذ برای محصولات در دمای $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ نسبت به $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ در داخل فیلم‌های بسته‌بندی به مراتب بیشتر بود به طوری که محصولات در داخل فیلم PVC در دمای $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ و $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ به ترتیب در پایان دوره نگهداری برابر ۰/۹۳ و ۱/۵۶ نیوتن و برای فیلم HDPE به ترتیب ۱/۱۰ و ۱/۸۵ نیوتن بود. در طی زمان ماندگاری مقدار اجزاء الاستیک مدل ماکسول عمومی کاهش یافت. نتایج نشان می‌دهد که مدل ماکسول نشان داده شده ($RMSE < 0.6818$ و $R^2 > 0.9158$) به طور قابل اتکایی متناسب با داده‌های تجربی است. استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی باعث کند شدن روند کاهش زمان تنش آسایبی گوجه زیتونی می‌شود که موجب حفظ بهتر خواص رئولوژی محصول نسبت به محصولات غیر بسته‌بندی می‌گردد.

کلید واژگان: آزمون تنش آسایبی، فیلم‌های بسته‌بندی، حداکثر نیروی تسلیم، گوجه زیتونی، ویسکوالاستیک

* مسئول مکاتبات: eahmadi@basu.ac.ir

۱- مقدمه

سالانه مقدار زیادی از محصولات کشاورزی در اثر لهیدگی و سایر آسیب‌های مکانیکی هنگام برداشت، حمل و نقل و نگه‌داری از بین می‌روند یا دچار افت کیفیت می‌شوند که دلیل این آسیب‌ها وجود هر دو نوع بارگذاری استاتیکی و دینامیکی در مراحل مختلف پس از برداشت می‌باشد. بسیاری از محصولات کشاورزی از نظر مقاومت به بارهای استاتیکی و دینامیکی رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند مطالعه در زمینه کاهش تنش‌های ناشی از جابه‌جایی و افزایش زمان ماندگاری به منظور جلوگیری از افت کیفیت محصولات کشاورزی امری ضروری است [۲،۱]. گوجه زیتونی *Lycopersicon esculentum* 'Santa' Mill. یکی از ارقام گوجه فرنگی است که دارای ارزش بالای گلخانه‌ای، غذایی، سهولت استفاده و همچنین منبع غنی از لیکوپن و ویتامین‌های A، K و C است. این محصول به دلیل لطافت و حساسیت بسیار بالا در مقابل ضربه و فشار آسیب پذیر بوده و مستعد فساد سریع و لهیدگی می‌باشد [۳]. از جمله روش‌های مفید جهت افزایش ماندگاری این محصول استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی در زمان پس از برداشت می‌باشد. فیلم‌های بسته‌بندی با تشکیل یک حفاظ فیزیکی بر روی سطح محصولات با جلوگیری از کاهش رطوبت مانع از دست دادن آب و افت کیفیت بافت شده و همچنین خواص فیزیکی، مکانیکی و کیفی محصول را ارتقا بخشیده و عمر انبارداری محصول را گسترش می‌دهد [۴]. تنوع زیاد مواد غذایی و عدم تطابق بین نیازهای آن‌ها با ویژگی‌های فیلم مورد استفاده در بسته‌بندی این محصولات، اغلب منجر به عدم دستیابی به اهداف روش بسته‌بندی می‌شود. بنابراین نکته کلیدی برای بهره‌مندی از فواید ارزشمند این روش، پس از شناخت دقیق نیازهای ماده غذایی مورد نظر، انتخاب یک فیلم بسته‌بندی مناسب است. در این میان بسته‌بندی پلی اتیلن با چگالی بالا و پلی‌وینیل کلراید برخی از متداول‌ترین فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی به روش کنترل دما و اتمسفر است که به عنوان موانع رطوبت و گاز عمل کرده و رشد میکروبی را کنترل می‌کند [۵]. فیلم‌های بسته‌بندی پلی‌اتیلن با چگالی بالا و پلی‌وینیل کلراید دارای خاصیت سفتی با قابلیت کشسان بوده که محصول را در برابر ضربه‌ها و تنش‌های غیر قابل کنترل حفظ می‌کند همچنین این فیلم‌ها به عنوان عایقی در برابر اکسیژن عمل کرده و از فساد زودرس محصولات باغی و محصولات

با قابلیت فساد بالا جلوگیری می‌کند همچنین این دو فیلم بسته‌بندی دارای خاصیت کنترل دمایی بوده به طوری که تغییرات دمایی بیرون فیلم تاثیر چندانی در فضای داخلی فیلم بسته‌بندی نمی‌گذارد [۶]. کنترل محصولات کشاورزی در دوره انبارداری مورد توجه بسیاری از محققین بوده است که منجر به ارائه پیشنهادهایی از جانب آنها می‌باشد. آکینو و همکاران در سال ۲۰۱۶ تاثیر بسته‌بندی پلی‌پروپیلن را بر روی پارامترهای اسیدیته، مواد جامد محلول، مقدار رطوبت نسبی و استحکام گوجه گیلاسی را با نمونه شاهد مورد بررسی قرار دادند آنها بیان کردند که محصولات داخل فیلم پلی‌پروپیلن به طور معنی داری باعث حفظ استحکام، رطوبت نسبی و اسیدیته محصول شده است [۷]. گیسون و همکاران (۱۹۸۵) تاثیر فیلم PVC را بر روی کیفیت ظاهری محصول گوجه فرنگی بررسی کردند. در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که محصولات در داخل فیلم PVC دارای استحکام بالاتر بوده و همچنین رنگ اولیه محصول بهتر حفظ شده است [۸]. بومیک (۱۹۹۲) با بررسی تاثیر فیلم‌های بسته‌بندی بر روی گوجه فرنگی به این نتایج رسید که فیلم‌های بسته‌بندی تاثیر معنی داری بر روی حفظ کیفیت، رطوبت نسبی، کاهش وزن و استحکام گوجه فرنگی دارد [۹]. داس در سال ۲۰۰۶ اظهار داشت که فیلم‌های بسته‌بندی به عنوان یک روش مفید و اقتصادی در جهت کاهش ضایعات پس از برداشت و افزایش عمر انبارداری محصول گوجه فرنگی نقش بسزایی ایفا می‌کند همچنین خواص مکانیکی گوجه فرنگی ذخیره شده تحت تیمار بسته‌بندی تحت اتمسفر کنترل شده مورد بررسی قرار گرفت [۱۰]. جهت تعیین نیروی شکست و چقرمگی، آزمون سوراخ کردن (نفوذ) را روی نمونه‌ها انجام دادند و نیروی شکست را از نمودار نیرو-تغییر شکل، تعیین و با محاسبه مساحت زیر نمودار تا نقطه پارگی تا شکست، چقرمگی محاسبه گردید [۱۱]. در مطالعه‌ای که توسط کاباس و اوزمرزی در سال ۲۰۰۸ بر روی محصول گوجه گیلاسی صورت گرفت که مقدار مدول یانگ، سفتی و خواص فیزیکی در طول ذخیره‌سازی و در دمای ۲۰ °C مورد بررسی قرار گرفت که در این مطالعه مقادیر سفتی و مدول یانگ در طول ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد [۱۲].

اغلب محصولات کشاورزی از دو فاز، ویسکوز و الاستیک تشکیل شده‌اند، بدین صورت که نه خواص الاستیک ایده‌آل و نه ویسکوز ایده‌آل را از خود نشان می‌دهند. در این حالت ماده

۲-۲- تیمارهای مورد آزمایش

۲-۲-۱- نوع و رقم مورد بررسی در آزمایش

در این پژوهش از گوجه فرنگی رقم زیتونی سانتلا استفاده شد. این محصول کوچک و باریک بوده و معمولاً زودرس است، همچنین به دلیل ارزش غذایی و صادراتی بالا و مصارف تزئینی این محصول اغلب در ظروف بسته بندی قرار می‌گیرد.

۲-۲-۲- بسته‌بندی و روش انجام آزمایش

به منظور بررسی تاثیر شرایط مختلف نگهداری و تغییرات کیفی محصول گوجه زیتونی در زمان انبارمانی، نمونه‌ها در فیلم‌های بسته‌بندی پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن با چگالی بالا و بدون تیمار فیلم بسته بندی، جمع‌آوری و در دو دمای مختلف، شامل محیط (دمای 20 ± 2 °C) و یخچال با دمای 4 ± 1 °C به مدت ۴۰ روز نگهداری شد.

پایزموهای مکانیکی و رئولوژی روی انواع گوجه زیتونی (با بسته‌بندی و بدون بسته‌بندی) در دو دمای نگهداری و در فواصل زمانی ۵ روزه انجام شد. این کار برای هر تیمار در سه تکرار انجام پذیرفت. همچنین آزمایشات تعیین خواص رئولوژی و مکانیکی بر روی انواع گوجه زیتونی (با بسته‌بندی و بدون بسته‌بندی) در دو دمای نگهداری و در فواصل زمانی پنج روزه نیز انجام شد و برای هر تیمار سه تکرار صورت گرفت.

۲-۳- ویژگی‌های مکانیکی محصول

جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی، آزمون پنچری بر روی نمونه‌های گوجه زیتونی انجام گرفت. این آزمون به کمک دستگاه بافت مواد غذایی (Zwick/roell مدل bt1_fr0.5th.d114 ساخت کشور آلمان، مدل لودسل آن xforce hp با ظرفیت 500N) انجام شد که از یک میله فلزی به قطر ۳/۱۵ میلیمتر و در سرعت بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و با توجه به میزان سفتی بافت میوه و حساسیت نمونه‌ها به سرعت بارگذاری، مورد استفاده قرار گرفت. برای هر آزمایش، همزمان با نفوذ میله به درون هر نمونه، تغییرات نیروی نفوذ و مقدار نفوذ آن اندازه‌گیری شد. با تبدیل منحنی نیرو- تغییر شکل ترسیم شده توسط دستگاه به منحنی تنش - کرنش، مقادیر مدول الاستیسیته و کرنش تا نقطه تسلیم بیولوژیکی اندازه‌گیری شد. نقطه‌ای که رفتار ماده از حالت

خصوصیاتی شبیه جامد و مایع را با هم دارد و در این محصولات تغییر شکل فقط تابعی از تنش وارد نمی‌باشد، بلکه به زمان هم بستگی دارد. این رفتار وابسته به زمان را اصطلاحاً ویسکوالاستیک می‌نامند [۱۳]. ویژگی‌های ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی و مواد غذایی برای طراحی تجهیزاتی اعم از برداشت، حمل و نقل، مرتب سازی و ادوات بسته‌بندی امری ضروری است. این ویژگی از مواد با استفاده از آزمون‌های تنش آسایی، خزش و آزمون‌های دینامیکی بررسی می‌گردد. یکی از مهمترین مشخصه‌های مواد ویسکوالاستیک، تنش آسایی می‌باشد که در یک تغییر شکل اولیه‌ی سریع و معین، تنش با گذشت زمان به صورت پیوسته کاهش یافته و به سمت صفر میل می‌کند. در آزمون تنش آسایی از مدل ماکسول برای توصیف رفتار استراحت تنش محصولات استفاده می‌شود [۱۴، ۱۵]. بررسی‌های انجام شده نشان داد که از بسته‌بندی‌های پلی‌وینیل کلراید و پلی اتیلن با چگالی بالا به عنوان فیلم بسته بندی بر روی محصول گوجه زیتونی تاکنون استفاده نشده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر این نوع بسته‌بندی‌ها بر روی خواص مکانیکی از جمله: حداکثر نیروی نفوذ، کرنش تسلیم، مدول الاستیسیته و انرژی گسیختگی و مقایسه تنش و زمان تنش آسایی در المان‌های ویسکوالاستیک در آزمون تنش آسایی در طی ذخیره‌سازی تحت تیمار مختلف فیلم‌های بسته‌بندی در مقایسه با تیمار بدون بسته‌بندی در دو دمای 4 °C و 20 °C بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی نمونه

عملیات اجرای این طرح در آزمایشگاه خواص مکانیکی و رئولوژی گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام گرفت. نمونه‌های گوجه زیتونی مورد استفاده در این آزمایش از گلخانه‌ای در اطراف شهرستان همدان تهیه شد. محصولات به آرامی و با دست چیده شدند و هیچ گونه آسیب دیدگی مکانیکی نداشتند. پس از جدا کردن مواد زائد و خارجی، میوه‌ها در ظروف بسته‌بندی پلی وینیل کلراید و پلی اتیلن با چگالی بالا و همچنین بدون بسته‌بندی نگهداری شدند.

ساخت کشور آلمان استفاده شد. نمونه‌ها روی صفحه ثابت قرار گرفت و پروب دستگاه با یک سرعت معین حرکت کرده و به نمونه نیروی عمودی وارد می‌کند. به منظور تنظیم سرعت پروب، سرعت‌های متفاوتی آزمایش شده، که با توجه به بافت گوجه فرنگی زیتونی در نهایت سرعت 10 mm/min برای فشرده سازی محصول انتخاب گردید.

سرعت آغاز تست: 50 mm/min^{-1}

سرعت بارگذاری: 10 mm/min^{-1}

مدت زمان آزمون تنش آسایبی: ۳۵۰ ثانیه

با توجه به اینکه پس از گذشت زمان طولانی مقداری از تنش ایجاد شده در محصولات کشاورزی باقی می‌ماند، برای رفع این عیب فیزی با ضریب E_e به مدل ماکسول عمومی اضافه می‌کنند [۱۳]. نمونه‌ای از نمودار تست تنش آسایبی گوجه زیتونی در شکل ۱ نشان داده شده است.

الاستیک خارج شده و وارد حالت پلاستیک می‌شود و نشان دهنده‌ی پارگی اولیه سلول در ساختار سلولی ماده است. این آزمون برای هر تیمار در سه تکرار انجام شد. انرژی گسیختگی با محاسبه سطح زیر نمودار تنش- کرنش تا نقطه شکست محاسبه می‌شود [۱۷، ۱۶].

۲-۴- آزمون تنش آسایبی

در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری و بررسی خواص ویسکوالاستیک، آزمون تنش آسایبی بر روی نمونه‌ها انجام شد. در این آزمون نمونه تحت یک تغییر شکل سریع، معین و ثابت قرار می‌گیرد، سپس مقدار تنش به عنوان تابعی از زمان در یک تغییر شکل ثابت اندازه‌گیری گردید. با گذشت زمان تنش در نمونه کاهش یافته و زمانی که مقدار آن به ۳۷٪ تنش اولیه خود برسد، زمان تنش آسایبی (T_{rel}) می‌نامند [۱۳]. برای انجام این آزمون از دستگاه تست مواد Zwick/roell مدل bt1- fr0.5th.d14 xforce hp با لودسل با ظرفیت ۵۰۰ N

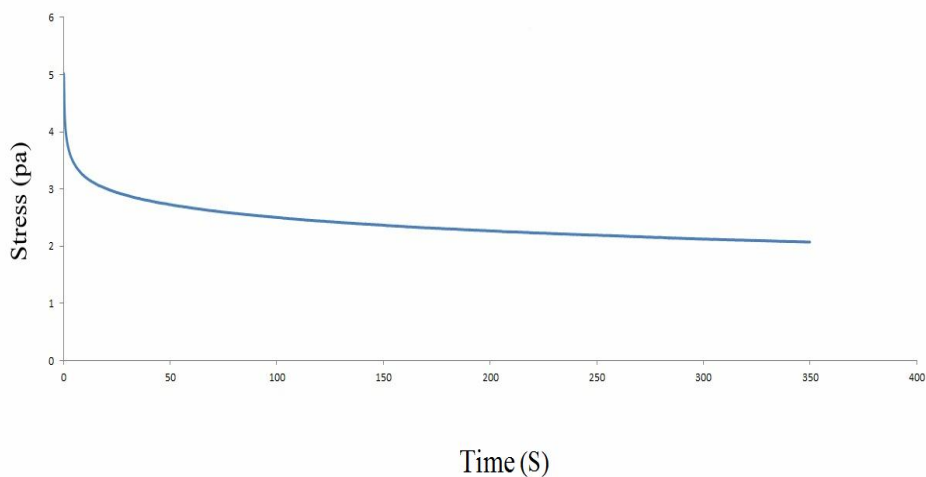


Fig 1 The sample of stress relaxation curve grape tomato

آزمایش با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید [۱۳].

(۳)

$$T_{rel} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \sigma(t_1) - \ln \sigma(t_2)}$$

منحنی تنش- زمان در یک کرنش ثابت توسط نرم افزار دستگاه ترسیم شد. از منحنی تنش آسایبی به دست آمده، ضرایب مدل استخراج شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. رفتار مدل با روش باقیمانده‌های متوالی بررسی گردید، در این روش پس از رسم

رابطه (۱) بیان ریاضی مدل عمومی ماکسول را نشان می‌دهد.

(۱)

$$\sigma_1(t) = \sigma_1 e^{-\frac{t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{-\frac{t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{-\frac{t}{T_{reln}}}$$

که در آن با در نظر گرفتن $E_i = \sigma_i$ و $E_e = \sigma_e$ می‌توان

آن را به صورت رابطه ۲ نوشت:

(۲)

$$\sigma_1(t) = [\sigma E_1 e^{-\frac{t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 E_2 e^{-\frac{t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n E_n e^{-\frac{t}{T_{reln}}} + E_e] \epsilon$$

ثابت زمانی T_{rel} یا به عبارتی زمان تنش آسایبی نمونه‌های مورد

محصولات بسته‌بندی شده تا پایان روز چهارم تحت آزمون قرار گرفتند لذا تمام محصولات یکبار تا پایان روز بیستم به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تحلیل قرار گرفتند و یکبار نیز محصولات بسته‌بندی شده از روز اول تا روز چهارم با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تحت بررسی قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل آماری، داده‌های حاصل از آزمون‌های مکانیکی با استفاده از نرم افزار Minitab 14 نرمال سازی شدند و سپس با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistic 23 و با مدل خطی عمومی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و کلیه نمودارها با Excel 2013 رسم شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- حداکثر نیروی تسلیم

در دوره نگهداری بیست روزه، اثر دما و زمان ذخیره سازی در سطح احتمال یک درصد بر روی نیروی نفوذ معنی‌دار شد. این در حالی است که در دوره نگهداری چهل روزه اثرهای اصلی نوع بسته‌بندی، دما و زمان ذخیره‌سازی با سطح احتمال یک درصد بر روی حداکثر نیروی نفوذ معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دما در زمان ذخیره‌سازی در سطح یک درصد بر روی نیروی نفوذ معنی‌دار شد (جدول ۱ و ۲).

منحنی تنش- زمان، بخشی از منحنی اصلی که به صورت موازی با محور افقی (زمان) درآمده است را در نظر گرفته، خطی بر منحنی اصلی در این قسمت مماس کرده و معادله رگرسیون خطی آن را با استفاده از نرم افزار متلب (نسخه ۲۰۱۵) بدست آمد. سپس مقدار زمان‌ها را در معادله بدست آمده جایگزین نموده و مقدار تنش به دست آمده توسط این معادله برای هر زمان را از مقدار تنش اصلی در آن زمان کسر و در نهایت نمودار تنش به دست آمده را در برابر زمان رسم شد. عرض از مبدا معادله رگرسیون حاصل شده، ضریب جمله نمایی معادله تنش آسای است. روش مذکور مجدداً تکرار شد تا زمانی که منحنی واقعی توسط یک تعداد کافی از شرایط نمایی نشان داده شدند و منحنی به دست آمده آخر به صورت خط راست باشد با استفاده از این روش زمان تنش آسای نمونه‌های مورد آزمایش به دست خواهد آمد. این آزمون برای هر تیمار در سه تکرار انجام شد.

۲-۵- طرح آزمایشی و تجزیه آماری داده‌ها

این پژوهش به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این طرح آزمایشی تاثیر دما در دو سطح (۴ و ۲۰ درجه سلسیوس) و زمان انبارداری در ۹ سطح (۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ روز) بر خواص مکانیکی گوجه زیتونی در بسته‌بندی پلی‌وینیل کلراید، پلی‌اتیلن با چگالی بالا و بدون بسته‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که محصولات بدون بسته‌بندی، بعد از روز بیستم قابل استفاده نبودند و

Table 1 Summary analysis of variance (mean squares) of mechanical parameters evaluated in a factorial experiment (until the day 20) ϵ_{\max}

| Sources of change | Degrees of freedom | F _{max} | E _{modules} | W | ϵ_{\max} |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Packaging films | 2 | 0.78* | 0.002** | 1.694* | 0.826** |
| Temperature | 1 | 0.35 ^{n.s} | 4.946E-9 ^{n.s} | 2.195* | 0.25 ^{n.s} |
| Period | 4 | 0.850** | 0.003** | 1.595* | 0.178** |
| Pack × Temperature | 2 | 0.022 ^{n.s} | 0.000** | 1.401 ^{n.s} | 0.099** |
| Pack × Period | 8 | 0.040* | 0.000** | 1.533** | 0.046** |
| Temperature × Period | 4 | 0.006 ^{n.s} | 0.000** | 0.777 ^{n.s} | 0.083** |
| Pack × Period × Temperature | 8 | 0.011 ^{n.s} | 4.379E-5 ^{n.s} | 0.179 ^{n.s} | 0.024 ^{n.s} |
| Test error | 60 | 0.018 | 4.838E-5 | 0.539 | 0.013 |
| CV (%) | | 12.78 | 23.78 | 22.87 | 24.43 |

“ns” means there was no significant relationship here.

* Significant relationship between two parameters at $P < 0.05$.

** Significant relationship between two parameters at $P < 0.01$.

دوره ذخیره سازی چهل روزه این پارامتر از ۲,۲۱ به ۳,۳۶ ادر روز چهارم کاهش پیدا کرد (شکل ۲).

میزان نیروی نفوذ در طی ذخیره سازی کاهش یافت به طوری که میزان میانگین نیروی نفوذ در طی ذخیره سازی بیست روزه این پارامتر از ۲,۲۱ به ۱,۵۶ نیوتن در روز بیستم کاهش و برای

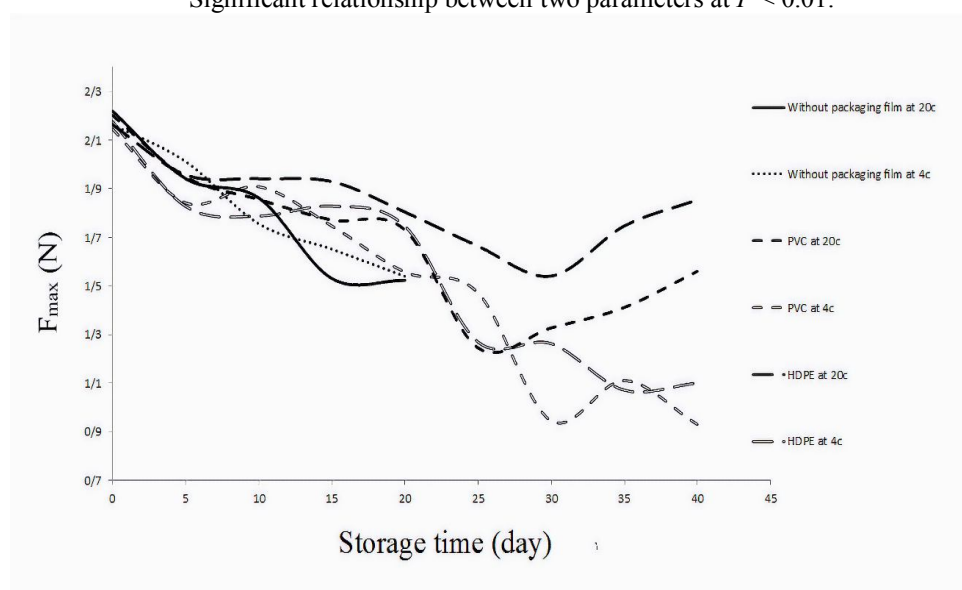
Table 2 Summary analysis of variance (mean squares) of mechanical parameters evaluated in a factorial experiment (until the day 40)

| Sources of change | Degrees of freedom | F _{max} | E _{modules} | W | ε _{max} |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Packaging films | 1 | 0.324** | 0.000 ^{n.s} | 6.226** | 0.067 ^{n.s} |
| Temperature | 1 | 1.249** | 0.005** | 1.585 ^{n.s} | 1.606** |
| Period | 8 | 1.274** | 0.002** | 3.860** | 0.141** |
| Pack × Temperature | 1 | 0.120 ^{n.s} | 0.000 ^{n.s} | 0.008 ^{n.s} | 0.007 ^{n.s} |
| Pack × Period | 8 | 0.031 ^{n.s} | 0.000 ^{n.s} | 1.461 ^{n.s} | 0.011 ^{n.s} |
| Temperature × Period | 8 | 0.168** | 0.001** | 0.981 ^{n.s} | 0.220** |
| Pack × Period × Temperature | 8 | 0.43 ^{n.s} | 9.165E-5 ^{n.s} | 0.530 ^{n.s} | 0.021 ^{n.s} |
| Test error | 72 | 0.37 | 8.24E-5 | 0.881 | 0.019 |
| CV (%) | | 23.7 | 24.19 | 23.19 | 27.97 |

“ns” means there was no significant relationship here.

* Significant relationship between two parameters at $P < 0.05$.

** Significant relationship between two parameters at $P < 0.01$.

**Fig 2** Effect of storage time and packaging film on firmness

بسته‌بندی بر کرنش تسلیم در جدول ۲ نشان داده شده است. از لحاظ آماری اثرات زمان نگهداری و فیلم بسته‌بندی بر روی کرنش تسلیم در مدت ذخیره‌سازی بیست روز در سطح یک درصد معنی‌دار شد همچنین اثر دما بر روی کرنش تسلیم در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. این فاکتور تحت تاثیر اثرات متقابل بسته‌بندی در دما برای نگهداری بیست روزه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. این در حالی است که در مدت ذخیره‌سازی چهل روز اثرات دما و زمان ذخیره‌سازی بر روی این پارامتر در سطح یک درصد معنی‌دار شد و برای اثر متقابل دما در زمان ذخیره‌سازی در سطح یک درصد نیز معنی‌دار شد.

علت کاهش استحکام و نرم شدن محصولات در طی ذخیره‌سازی، حل شدن پلیمرهای پکتین در لایه‌های بافت می‌باشد و از آنجایی که این مواد پکتینی موجب چسبیدن سلول‌ها به هم می‌شود بنابراین کاهش استحکام محصول را به دنبال خواهد داشت [۱۸]. با توجه به اینکه فیلم‌های بسته‌بندی PVC و HDPE به عنوان حفاظ فیزیکی و کنترل اتمسفر اطراف محصول عمل می‌کند نسبت به انتقال رطوبت و آب محصول به خوبی عمل کرده، و مانع کاهش استحکام و نرم شدن محصول در طی انبارمانی می‌شود [۱۸].

۲-۳- کرنش تسلیم

نتایج تجزیه واریانس تاثیر مدت ذخیره‌سازی، دما و فیلم

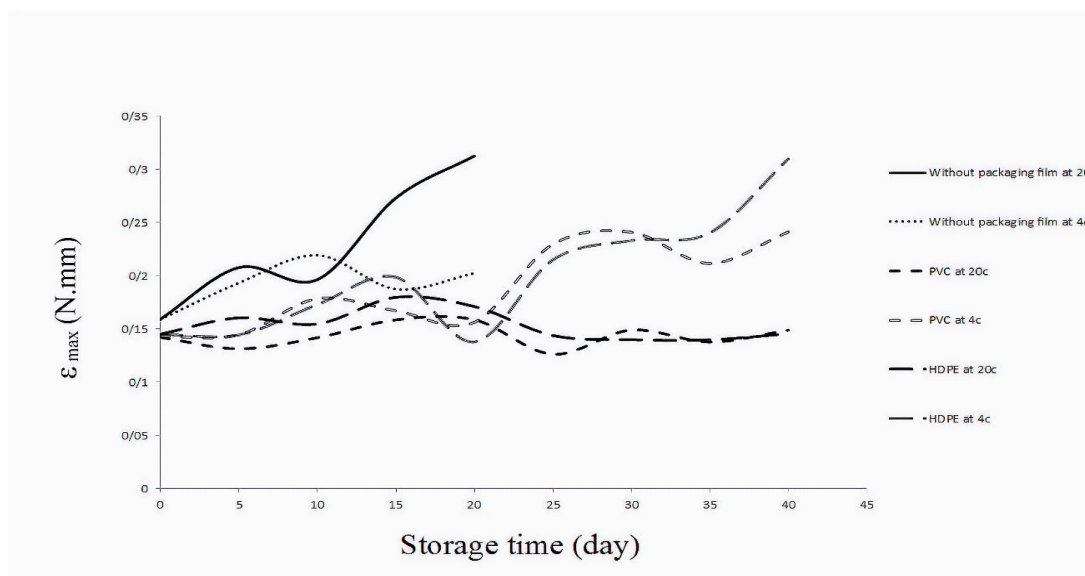


Fig 3 Effect of storage time and packaging film on yield strain

درصد و اثر اصلی زمان ذخیره سازی در سطح پنج درصد معنی دار شد. این در حالی است که با توجه به جدول ۲ و دوره انبارداری چهل روزه اثر اصلی دما و زمان بر روی پارامتر مدول الاستیسیته در سطح یک درصد معنی دار شد همچنین اثر متقابل دما در مدت زمان ذخیره سازی در سطح یک درصد معنی دار شد. با توجه به نتایج، این فاکتور در طول ذخیره سازی تا مقدار ۰,۰۵۲ و ۰,۰۵۶ نیوتن بر میلی متر مربع در طی ذخیره سازی بیست و چهل روزه کاهش یافت (شکل ۴).

مقادیر کرنش تسلیم برای نمونه‌های بدون بسته‌بندی بیشتر از نمونه‌های بسته‌بندی بوده است که نشانگر نرمی بیشتر آن است و همچنین انعطاف پذیری بیشتری در برابر بارهای خارجی دارد [۱۹]. مقادیر کرنش تسلیم با توجه به جداول مقایسه میانگین در طی ذخیره سازی برای هر دو دوره افزایش یافت که نشان دهنده نرم شدن محصول در طی انبارداری است (شکل ۳).

۳-۳- مدول الاستیسیته

با توجه به جدول ۱ در دوره نگهداری بیست روزه اثر اصلی نوع فیلم بسته‌بندی و دما بر روی مدول الاستیسیته در سطح یک

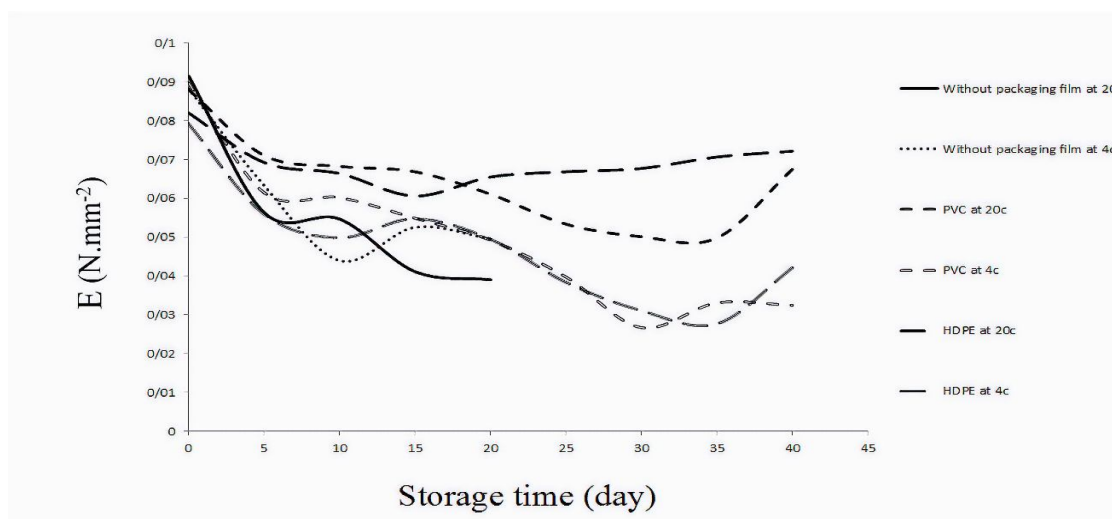


Fig 4 Effect of storage time and packaging film on elasticity module

بالا، اثر اصلی نوع بسته‌بندی و زمان ذخیره‌سازی بر روی پارامتر انرژی گسیختگی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. میانگین مقدار انرژی گسیختگی در طول دوره بیست روزه از ۴,۱۳ به ۳,۱۱ نیوتن میلی‌متر و برای دوره چهل روزه از ۴,۰۶ در روز اول به ۳,۳۰ نیوتن میلی‌متر در روز چهارم کاهش یافت (شکل ۵). میانگین مقدار انرژی گسیختگی در نمونه‌های بسته‌بندی شده ۳,۹۶ و ۳,۶۳ نیوتن میلی‌متر و برای نمونه‌های بدون بسته‌بندی ۳,۳۷ نیوتن میلی‌متر به دست آمد. که این نتیجه نشان دهنده استحکام بیشتر نمونه‌های بسته‌بندی شده در مقابل نمونه‌های بدون بسته‌بندی در طول ذخیره‌سازی می‌باشد (جدول ۱ و ۲). همچنین اثر متقابل دما در زمان نگهداری در طول بیست روز در دمای 20°C و 4°C برای هر دو مورد دچار کاهش شد.

تغییراتی که در مدول الاستیسیته بافت محصول مشاهده می‌شود، ناشی از تغییر در فشار تورم سلولی و ضخامت دیواره سلولی است در صورتی که ضخامت دیواره سلولی کاهش یابد، استحکام آن کاهش یافته و در واقع سفتی بافت کاهش می‌یابد [۳]. برخی از محققین نیز اظهار داشتند که با افزایش زمان ماندگاری، به علت رسیدگی میوه، مدول الاستیسیته بافت کاهش می‌یابد [۱۹].

۳-۴- انرژی گسیختگی

اثر اصلی نوع فیلم بسته‌بندی، دما و زمان ذخیره‌سازی بر روی انرژی گسیختگی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل بسته‌بندی در دما و همچنین دما در زمان در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. در طول نگهداری چهل روزه گوجه زیتونی در بسته بندی پلی‌وینیل‌کلراید و پلی اتیلن با چگالی

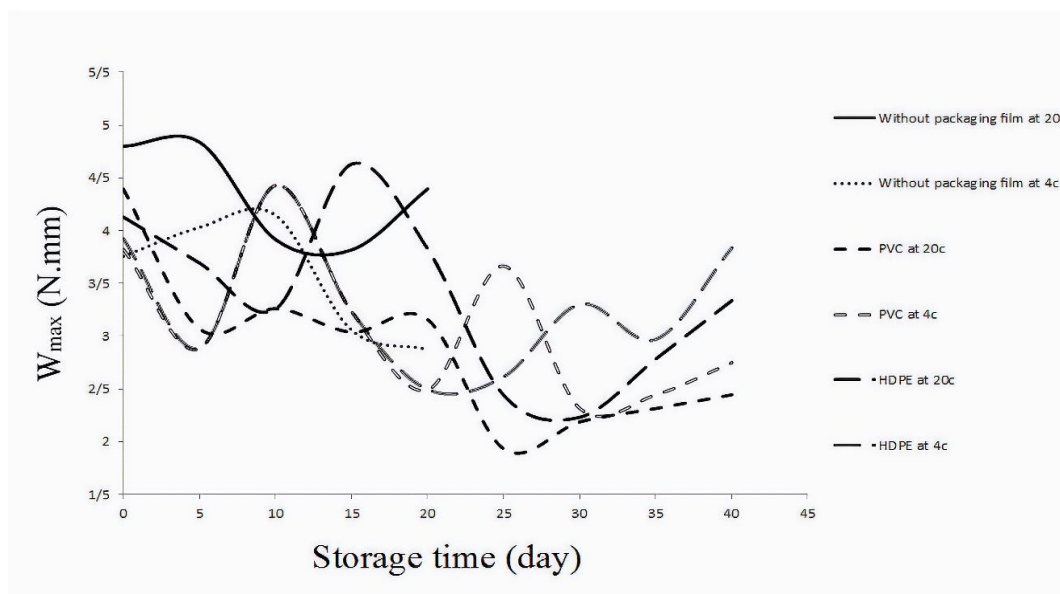


Fig 5 Effect of storage time and packaging film on energy of rupture

۳-۵- زمان آسایش و اجزاء الاستیک (ضرایب

جملات مدل ماکسول)

با توجه به نتایج بدست آمده، در طی ذخیره‌سازی زمان تنش آسایشی محصول در حالت بدون بسته‌بندی و در دمای 20°C در گستره ۴۷۵,۶۴ تا ۵۳۸,۹۵ متغیر بوده و مقدار میانگین آن ۵۰۳,۷۵ ثانیه محاسبه شد. برای حالت بدون بسته‌بندی و در دمای 4°C این مقدار تا ۴۵۴,۶۱ ثانیه در روز دهم کاهش یافت (جدول ۳).

از این تغییرات چنین به نظر می‌آید که در ابتدای زمان ذخیره‌سازی کار مورد نیاز برای ایجاد پارگی در بافت گوجه زیتونی برای نمونه‌های تیمار شده با فیلم‌های بسته‌بندی و در انتهای زمان نگهداری کمتر است این بدان معنا است که با افزایش زمان نگهداری بافت گوجه زیتونی نرم‌تر شده و انرژی کمتری برای نفوذ در بافت مورد نیاز می‌باشد [۳].

Table 3 Average values of stress and relaxation time in the Maxwell three-component model viscoelastic elements for without packaging

| sample | day | Relaxation time (s) | | | Stress (pa) | | | |
|---------------------------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | T _{rel1} | T _{rel2} | T _{rel3} | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_e |
| Withoutpackaging at 20 °C | harvest | 475.64 | 40.02 | 4.03 | 0.1874 | 0.0724 | 0.0519 | 0.0943 |
| | 5 | 538.95 | 42.57 | 3.96 | 0.1815 | 0.07 | 0.0505 | 0.0912 |
| | 10 | 509.91 | 47.09 | 3.18 | 0.1776 | 0.0694 | 0.0501 | 0.0893 |
| | 15 | 516.21 | 39.04 | 2.88 | 0.1843 | 0.0716 | 0.0513 | 0.0903 |
| | 20 | 478.08 | 37.67 | 3.22 | 0.1801 | 0.0667 | 0.0509 | 0.0889 |
| Withoutpackaging at 4 °C | harvest | 475.64 | 40.02 | 4.03 | 0.1874 | 0.0724 | 0.0519 | 0.0943 |
| | 5 | 482.82 | 40.02 | 3.74 | 0.1863 | 0.0709 | 0.0516 | 0.0937 |
| | 10 | 454.61 | 34.04 | 2.96 | 0.1702 | 0.0673 | 0.0497 | 0.0856 |
| | 15 | 493.14 | 37.46 | 3.10 | 0.1689 | 0.0648 | 0.0480 | 0.0910 |
| | 20 | 469.17 | 43.54 | 2.96 | 0.1857 | 0.0712 | 0.0505 | 0.0849 |

داشت که در روز پایانی ذخیره‌سازی این پارامتر به ترتیب به ۴۳۱٫۶۷ و ۴۷۵٫۶۴ رسید (جدول ۴).

همچنین مقدار زمان تنش آسایی برای نمونه‌های بسته‌بندی شده داخل پلی اتیلن با چگالی بالا در دمای ۴ °C و ۲۰ °C به ترتیب در ۹ دوره نگهداری میانگین ۴۶۹٫۱۳ و ۴۸۰٫۵۱ ثانیه را

Table 4 Average values of stress and relaxation time in the Maxwell three-component model viscoelastic elements for PVC packaging

| sample | day | Relaxation time (s) | | | Stress (pa) | | | |
|-------------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | T _{rel1} | T _{rel2} | T _{rel3} | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_e |
| PVC at 20°C | harvest | 475.64 | 40.02 | 4.03 | 0.1874 | 0.0724 | 0.0519 | 0.0943 |
| | 5 | 500.69 | 42.12 | 3.71 | 0.1844 | 0.0671 | 0.0521 | 0.0968 |
| | 10 | 486.16 | 40.90 | 3.46 | 0.1801 | 0.0704 | 0.0507 | 0.0921 |
| | 15 | 492.47 | 38.47 | 4.09 | 0.1746 | 0.0692 | 0.0497 | 0.0886 |
| | 20 | 485.22 | 44.75 | 4.34 | 0.1797 | 0.0676 | 0.0501 | 0.0899 |
| | 25 | 461.84 | 39.94 | 3.21 | 0.1821 | 0.0691 | 0.0488 | 0.0875 |
| | 30 | 469.59 | 43.37 | 5.01 | 0.1769 | 0.0688 | 0.0482 | 0.0869 |
| | 35 | 448.61 | 37.12 | 3.96 | 0.1805 | 0.0691 | 0.0476 | 0.0873 |
| | 40 | 457.56 | 39.35 | 4.48 | 0.1787 | 0.0678 | 0.0479 | 0.0862 |
| PVC at 4 °C | harvest | 475.64 | 40.02 | 4.03 | 0.1874 | 0.0724 | 0.0519 | 0.0943 |
| | 5 | 496.25 | 46.31 | 5.11 | 0.1764 | 0.0694 | 0.0505 | 0.0936 |
| | 10 | 490.97 | 41.52 | 4.56 | 0.1779 | 0.0687 | 0.0509 | 0.0944 |
| | 15 | 501.26 | 44.61 | 4.35 | 0.1746 | 0.0709 | 0.0491 | 0.0884 |
| | 20 | 484.45 | 47.25 | 3.95 | 0.1805 | 0.0718 | 0.0482 | 0.0872 |
| | 25 | 448.79 | 39.49 | 3.78 | 0.1826 | 0.0703 | 0.0472 | 0.0858 |
| | 30 | 451.46 | 40.02 | 5.07 | 0.1755 | 0.0689 | 0.0478 | 0.0864 |
| | 35 | 429.16 | 36.29 | 3.91 | 0.1789 | 0.0668 | 0.0461 | 0.0859 |
| | 40 | 407.49 | 37.28 | 3.84 | 0.1792 | 0.0664 | 0.0443 | 0.0847 |

محصولات داخل این بسته‌بندی و در دمای ۴ °C این روند کاهش در طول ذخیره‌سازی افزایش یافت و از بیشترین مقدار (۵۰۱٫۲۶ ثانیه) در روز پانزدهم تا کمترین مقدار (۴۰۷٫۴۹ ثانیه) در روز چهارم کاهش یافت (جدول ۵).

در طول دوره نگهداری زمان تنش آسایی محصولات داخل فیلم بسته‌بندی پلی‌وینیل کلراید در دمای ۲۰ °C از بیشترین مقدار (۵۰۰٫۶۹ ثانیه) در روز پنجم تا کمترین مقدار (۴۴۸٫۶۱ ثانیه) در روز سی و پنجم کاهش یافت این در حالی بود که برای

Table 5 Average values of stress and relaxation time in the Maxwell three-component model viscoelastic elements for HDPE packaging

| sample | day | Relaxation time (s) | | | Stress (pa) | | | |
|---------------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | T _{rel1} | T _{rel2} | T _{rel3} | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_e |
| HDPE at 20 °C | harvest | 475.64 | 40.02 | 4.03 | 0.1874 | 0.0724 | 0.0519 | 0.0943 |
| | 5 | 514.32 | 48.34 | 5.13 | 0.1751 | 0.069 | 0.0516 | 0.0958 |
| | 10 | 486.34 | 46.13 | 3.45 | 0.1803 | 0.0731 | 0.0507 | 0.0921 |
| | 15 | 500.09 | 39.57 | 3.29 | 0.1767 | 0.0725 | 0.0491 | 0.0898 |
| | 20 | 485.36 | 43.61 | 4.09 | 0.1839 | 0.0681 | 0.0496 | 0.0889 |
| | 25 | 470.33 | 40.95 | 4.57 | 0.1744 | 0.0709 | 0.0483 | 0.0880 |
| | 30 | 468.19 | 44.61 | 3.46 | 0.1795 | 0.0686 | 0.0494 | 0.0865 |
| | 35 | 466.96 | 41.28 | 4.66 | 0.1731 | 0.0684 | 0.0480 | 0.0877 |
| | 40 | 457.36 | 37.67 | 4.21 | 0.1779 | 0.0694 | 0.0478 | 0.0872 |
| HDPE at 4 °C | harvest | 475.64 | 40.02 | 4.03 | 0.1874 | 0.0724 | 0.0519 | 0.0943 |
| | 5 | 508.51 | 48.93 | 5.11 | 0.1751 | 0.0713 | 0.0510 | 0.0936 |
| | 10 | 493.47 | 43.49 | 5.26 | 0.1762 | 0.0731 | 0.0508 | 0.0922 |
| | 15 | 481.13 | 44.62 | 4.46 | 0.1784 | 0.0694 | 0.0493 | 0.0904 |
| | 20 | 478.59 | 46.23 | 4.08 | 0.1801 | 0.0687 | 0.0484 | 0.0892 |
| | 25 | 459.38 | 40.29 | 3.74 | 0.1817 | 0.0709 | 0.0498 | 0.0878 |
| | 30 | 447.81 | 43.10 | 4.82 | 0.1745 | 0.0694 | 0.0501 | 0.0884 |
| | 35 | 445.97 | 43.76 | 4.27 | 0.1757 | 0.0684 | 0.0482 | 0.0868 |
| | 40 | 431.67 | 38.84 | 3.96 | 0.1788 | 0.0696 | 0.0487 | 0.0858 |

Table 6 the statistical indicators correlation coefficient and root mean square error for Maxwell three-component model for without packaging

| Samples without film | Day | Verification statistics | |
|----------------------|-----|-------------------------|--------|
| | | R ² | RMSE |
| at 20 ⁰ C | 0 | 0.9391 | 0.3540 |
| | 5 | 0.9112 | 0.4693 |
| | 10 | 0.9280 | 0.4022 |
| | 15 | 0.9308 | 0.6818 |
| | 20 | 0.9554 | 0.4319 |
| at 4 ⁰ C | 0 | 0.9391 | 0.3540 |
| | 5 | 0.9263 | 0.4613 |
| | 10 | 0.9280 | 0.5524 |
| | 15 | 0.9519 | 0.3671 |
| | 20 | 0.9506 | 0.5445 |

با توجه به جدول ۶ میزان این شاخص‌های آماری برای تمامی تیمارهای بدون فیلم بسته‌بندی در محدوده $RMSE < 0.6818$ و $R^2 > 0.9112$ و برای تیمار فیلم PVC در محدوده $RMSE < 0.6342$ و $R^2 > 0.9158$ می‌باشد همچنین این پارامترها برای تیمار فیلم بسته‌بندی HDPE < 0.6193 و $R^2 > 0.9149$ می‌باشد. این ارقام نشان دهنده آن است که مدل ارائه شده با توجه به ضریب R^2 بالا و $RMSE$ پایین، رضایت بخش بوده و متناسب با داده‌های تجربی می‌باشد (جدول ۷ و ۸).

مقدار زمان تنش آسایی بسته به سهم ویژگی ویسکوز یا الاستیک ماده متفاوت می‌باشد به طوریکه هرچه خاصیت الاستیک ماده بیشتر باشد زمان استراحت تنش بالاتری را هم دارا خواهد بود [۲۰]. فیلم‌های بسته‌بندی با تشکیل یک سد در اطراف سطح میوه مانع کاهش زود هنگام رطوبت و از دست دادن آب می‌شود و از تخریب سریع آنزیمی دیواره سلولی در طی نگهداری جلوگیری می‌کند [۱].

جهت مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و داده‌های تجربی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ضریب تعیین (R^2) برای تیمارها محاسبه گردید.

Table 7 the statistical indicators correlation coefficient and root mean square error for Maxwell three-component model for PVC packaging

| Samples inside PVC | day | Verification statistics | |
|--------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | R ² | RMSE |
| at 20°C | 0 | 0.9391 | 0.3540 |
| | 5 | 0.9291 | 0.4511 |
| | 10 | 0.9158 | 0.5541 |
| | 15 | 0.9309 | 0.4764 |
| | 20 | 0.9280 | 0.3649 |
| | 25 | 0.9408 | 0.5587 |
| | 30 | 0.9456 | 0.4573 |
| | 35 | 0.9524 | 0.6342 |
| at 4 °C | 0 | 0.9391 | 0.3540 |
| | 5 | 0.9264 | 0.4018 |
| | 10 | 0.9184 | 0.3693 |
| | 15 | 0.9247 | 0.5510 |
| | 20 | 0.9250 | 0.4205 |
| | 25 | 0.9373 | 0.6328 |
| | 30 | 0.9388 | 0.3041 |
| | 35 | 0.9571 | 0.5015 |
| 40 | 0.9519 | 0.6076 | |

Table 8 the statistical indicators correlation coefficient and root mean square error for Maxwell three-component model for HDPE packaging

| Samples inside HDPE | day | Verification statistics | |
|---------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | R ² | RMSE |
| at 20 °C | 0 | 0.9391 | 0.3540 |
| | 5 | 0.9174 | 0.5903 |
| | 10 | 0.9267 | 0.3012 |
| | 15 | 0.9358 | 0.4616 |
| | 20 | 0.9461 | 0.4185 |
| | 25 | 0.9332 | 0.3917 |
| | 30 | 0.9496 | 0.6193 |
| | 35 | 0.9550 | 0.4737 |
| at 4 °C | 0 | 0.9391 | 0.3540 |
| | 5 | 0.9213 | 0.4319 |
| | 10 | 0.9149 | 0.4910 |
| | 15 | 0.9304 | 0.3029 |
| | 20 | 0.9230 | 0.5138 |
| | 25 | 0.9364 | 0.4781 |
| | 30 | 0.9465 | 0.6175 |
| | 35 | 0.9541 | 0.3192 |
| 40 | 0.9538 | 0.5746 | |

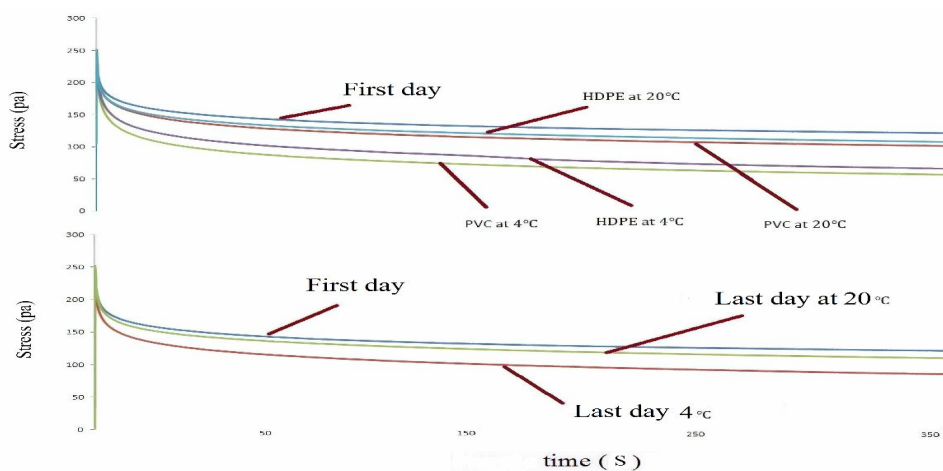


Fig 6 The sample of stress relaxation curve grape tomato at the beginning and end of storage time inside different packaging

رسیدن محصول در مورد گوشت میوه افزایش و در مورد پوست و حبه‌ی آن کاهش یافت. همچنین آن‌ها اظهار داشتند که با ردیابی تغییرات ویسکوالاستیک میوه در حین رسیدن نه تنها تغییرات زمان استراحت را پیش‌بینی نمود بلکه شرایط بهینه‌ای را نیز برای برداشت تعیین کرد.

هیرس (۱۹۷۲) با استفاده از مدل ماکسول عمومی رفتار تنش آسایبی برخی از غذاهای جامد را توصیف کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که مدل ارائه شده رضایت بخش بوده و متناسب با داده‌های تجربی می‌تواند باشد [۲۳]. در همین راستا وانگ (۲۰۰۸)، آزمایش تنش آسایبی را بر روی پنج رقم مختلف گندم، در سه سطح رطوبتی ۹٪، ۱۳٪ و ۱۵٪ مورد بررسی قرار داد. بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها مشخص گردید که فاکتور رطوبت تاثیر معنی داری بر روی خواص ویسکوالاستیک دانه گندم دارد، به طوری که با افزایش رطوبت فاکتور عامل نیرو کاهش و نسبت کاهش نیرو به طور خطی افزایش می‌یابد [۲۴]. برخی محققین دیگر نیز خواص ویسکوالاستیک پسته دهان بسته را تحت بارگذاری شبه استاتیکی بررسی کردند. بر طبق گزارشات آن‌ها با افزایش رطوبت، ضرایب مربوط به فنرهای مدل ماکسول عمومی کاهش یافت که با توجه به اینکه ضرایب مذکور در مدل ماکسول عمومی بیان کننده خصوصیات الاستیک فنر می‌باشند، لذا با افزایش رطوبت، ضریب کشسانی دانه پسته دهان بسته (ماده ویسکوالاستیک)، نیز کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها بیان داشتند که با افزایش سرعت بارگذاری عامل نیرو در منحنی تنش آسایبی افزایش یافته که دلیل این امر داشتن زمان کمتر برای نشان دادن خواص ویسکوز نمونه‌ها در سرعت‌های بالاتر می‌باشد [۲۰].

۴- نتیجه گیری کلی

۱- استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی پلی‌وینیل کلراید و پلی اتیلن با چگالی بالا در حفظ کیفیت و ویژگی‌های کیفی بافت گوجه - زیتونی دارای تاثیر مثبت در جهت ماندگاری می‌باشد.
۲- از آنجایی که پارامتر حداکثر نیروی نفوذ برای فیلم‌های بسته‌بندی برای مدت بیست روز دارای مقادیر بیشتری بود و همچنین محصولات در داخل فیلم‌های بسته‌بندی توانایی انجام آزمایش تا روز چهارم را داشتند، بنابراین میتوان نتیجه گرفت که استحکام و سفتی بافت محصولات در داخل فیلم بسته‌بندی بیشتر است و در مدت ذخیره سازی ساختار بافتی آن‌ها بهتر

شکل شماره ۶ نمودار تنش آسایبی گوجه زیتونی بسته‌بندی شده و بدون بسته‌بندی را در ابتدا و انتهای انبارداری نشان میدهد. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، کاهش اندک زمان تنش آسایبی برای نمونه‌های بسته‌بندی شده تا روز بیستم نگه‌داری، حفظ ویژگی الاستیک میوه را تایید می‌کند و موید این مطلب است که فیلم بسته‌بندی PVC و HDPE موجب حفظ ویژگی کیفی و انبارمانی گوجه زیتونی بوده است. این استنتاج با نتایج محققین دیگری که اظهار داشتند فیلم‌های بسته‌بندی موجب حفظ فاکتورهای کیفی و افزایش عمر قفسه‌ای محصولات کشاورزی می‌شود همخوانی دارد [۲۱].

در جدول مقدار تنش تعادلی (σ_e) که محدوده تغییرات آن به ترتیب بین ۰,۰۸۴۹ تا ۰,۰۹۴۳ کیلو پاسکال و ۰,۰۸۸۹ تا ۰,۰۹۴۳ کیلو پاسکال برای نمونه‌های بدون بسته بندی در دمای ۴ °C و ۲۰ °C نشان داده شده است. همچنین محدوده تغییرات مقدار تنش تعادلی برای نمونه‌های داخل بسته‌بندی پلی‌وینیل کلراید در دمای ۴ °C و ۲۰ °C به ترتیب، ۰,۰۸۴۷ تا ۰,۰۹۴۴ کیلو پاسکال و ۰,۰۸۶۲ تا ۰,۰۹۶۸ کیلو پاسکال محاسبه شد که مقدار تنش تعادلی برای تیمارهای بدون بسته‌بندی و داخل بسته‌بندی پلی‌وینیل کلراید برای هر دو تیمار دمایی در طی زمان ذخیره‌سازی کاهش یافت.

برای نمونه‌های داخل بسته بندی پلی اتیلن با چگالی سنگین در دمای ۲۰ °C و ۴ °C، محدوده تغییرات تنش تعادلی به ترتیب ۰,۰۸۶۵ تا ۰,۰۹۵۸ کیلو پاسکال و ۰,۰۸۵۸ تا ۰,۰۹۴۳ کیلو پاسکال به دست آمد که این پارامتر با گذشت زمان نگه‌داری به طور نسبی کاهش یافت (جدول ۴). با توجه به این نتایج، مجموع مقادیر المان‌های مدل (σ_1 ها) در نمونه‌های بدون بسته‌بندی کاهش، و در نمونه‌های بسته‌بندی شده با روند کندتری کاهش یافته است که بیان کننده‌ی حفظ ویژگی الاستیک گوجه زیتونی می‌باشد (شکل ۲). تغییرات خواص ویسکوالاستیک یک ماده در حین نگه‌داری می‌تواند بر تنش یا زمان استراحت اثر گذار باشد. در این زمینه برخی از محققین اظهار داشتند که کاهش مجموع مقادیر σ_1 ، σ_2 و σ_3 به عنوان اجزاء و پارامترهای مدل ماکسول بیان کننده‌ی کاهش ویژگی الاستیسیته محصول می‌باشد [۲۲].

با توجه به نتایج بولز (۱۹۹۲) که با انجام آزمون تنش آسایبی بر روی انگور، خواص ویسکوالاستیک آن‌را بررسی کرده و بیان داشتند که مقدار اجزاء الاستیک مدل، با طی شدن زمان رشد و

- Nutrition. 30, 927-935.
- [4] Cantwell, M., Nie, X., and Hong, G. 2009. Impact of storage conditions on grape tomato quality. 6th ISHS Postharvest Symposium. Antalya, Turkey. April 8-12.
- [5] Sehat, N. N. B. M. 2012. Effect of dipping treatment and cassava starch coating on keeping quality of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). Final Year Project Report Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Science (Hons.) Food Science and Technology in the Faculty of Applied Sciences, University Teknologi MARA, Malaysia.
- [6] Mangaraj, S., Goswami, T. K., & Mahajan, P. V. (2009). Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, 1(2), 133.
- [7] D'Aquino, S., Mistrionis, A., Briassoulis, D., Lorenzo, M. L. D., Malinconico, M., and palma, A. (2016). Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology*. 115, 103-112.
- [8] Geeson, J. D. and Browne, K. M. (1985). Modified atmosphere packaging to extend the shelf life of tomatoes. *International Journal of Food Science & Technology*. 20, 339-349.
- [9] Bhowmik, S. R. and Pan, J. C. (1992). Shelf life of mature green tomatoes stored in controlled atmosphere and high humidity. *Journal of Food Science*. 58, 943-952.
- [10] Das, E., Gurakan, C. and Bayındırlı, A. (2006). Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella* Enteritidis on cherry tomatoes. *Food Microbiology*. 23, 430-438.
- [11] Li, Z., Li, P., & Liu, J. (2011). Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot's harvesting. *Journal of Food Engineering*, 103(2), 170-178.
- [12] Kabas, O. and Ozmerzi, A. (2008). Determining the mechanical properties of cherry tomato varieties for handling. *Journal of Texture Studies*. 39, 199-209.
- [13] Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Publishers, New York, NY.
- [14] Hassanpour, A., M. Esmaili, A. Modarres Motlagh, and A. Rahmani Didar. 2011. Changes in viscoelastic properties of

حفظ می‌شود و همچنین دارای مقاومت در برابر بار بیشتری نسبت به محصولات بدون بسته‌بندی است.

۳- محصولات در داخل فیلم‌های بسته‌بندی دارای انرژی گسیختگی بیشتری نسبت به محصولات بدون فیلم تا روز بیستم می‌باشد بنابراین محصولات در داخل فیلم، دارای استحکام بیشتری در مقابل گسیختگی هستند و از آنجایی که سطح زیر نمودار بیشتری را تا روز بیستم به خود اختصاص داده‌اند از استحکام بیشتری برخوردارند.

۴- بر اساس نتایج، ضرایب منحنی تنش آسایی با افزایش زمان ماندگاری کاهش یافت.

۵- استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی بر روی محصولات باعث عدم کاهش سریع زمان تنش آسایی و حفظ ویژگی الاستیک محصول در طی انبارمانی شده است.

۵- علائم اختصاری

| تنش در عنصر ترکیبی | σ_i | حداکثر نیروی تسلیم (N) | F_{max} |
|---------------------------------------|---------------|------------------------|------------------|
| ویسکوز الاستیک (MPa) | | | |
| تنش تعادلی (MPa) | σ_e | زمان (s) | t |
| مدول الاستیسیته (N.mm ⁻²) | $E_{modules}$ | زمان تنش آسایی (s) | T_{rel} |
| کرنش اولیه | ϵ_0 | تنش (MPa) | σ |
| انرژی گسیختگی (N.mm) | W | کرنش تسلیم | ϵ_{max} |

۶- منابع

- [1] Kader, A. A., Zagory, D., Kerbel, E. L. and Wang, C. Y. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Food Science and Nutrition*. 28, 1-30.
- [2] Nadim, Z., E. Ahmadi, H. Sarikhani, and R. Amiri Chayjan. 2015. Effect of methylcellulose-based edible coating on strawberry fruit's quality maintenance during storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 80-90.
- [3] Simonne, A. H., Fuzeré, J. M., Simonne, E., Hochmuth, R. C., and Marshall, M. R. 2007. Effects of nitrogen rates on chemical composition of yellow grape tomato grown in a subtropical climate. *Journal of Plant*

- apricots, and apples. INJURY, 1(1), p. 4.
- [20] Finney, E. E. (1967). Dynamic elastic properties of some fruits during growth and development. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 12(4), pp.249-256.
- [21] Bowles, J.E. (1992). *Engineering properties of soils and their measurement*. McGraw-Hill, Inc.
- [22] Kojima, K., Sakurai, N., & Kuraishi, S. (1994). Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. *Physiologia Plantarum*, 90(4), 772-778.
- [23] Hirth, John P. (1972). "The influence of grain boundaries on mechanical properties." *Metallurgical Transactions* 3, no. 12: 3047-3067.
- [24] Wang, J. T., Liu, J. Q., Tao, J., Su, Y. L. and Zhao, X. (2008). Effect of grain size on mechanical property of Mg-3Al-1Zn alloy. *Scripta Materialia*, 59(1), pp.63-66.
- Thompson seedless grapes during ripening. *Journal of Food Research* 2:133-145. (In Farsi).
- [15] Faridi, H., & Ahmadi, E. (2015). Rheological evaluation of chicken meat parts under various antibiotic treatments prior and post cooking process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2(9), 195-205.
- [16] Razavi, S. M. A., and R. Akbari. 2007. *Biophysical properties of agricultural and food materials*. Ferdosi University of Mashad Publisher, Iran. (In Farsi).
- [17-Galetto, C. D., Verdini, R. A., Zorrilla, S. E. and Rubiolo, A. C. 2010. Freezing of strawberries by immersion in CaCl₂ solutions. *Food Chem.* 123, 243-248.
- [18] Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. Davis, California: University of California, Department of Agriculture and Natural Resources, Cooperative Extension.
- [19] Fridley, R.B. and Adrian, P.A. (1966). Mechanical properties of peaches, pears,

Some Rheological properties of packaged grape tomatoes in the storage

Sohrabi, M. M ¹, Ahmadi, E ^{2*}

1. MS.c Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan.
2. Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan.

(Received: 2018/06/09 Accepted:2019/01/15)

Packaging films are one of the common ways to maintain the quality of food and agricultural products. The effect of PVC and HDPE packaging films, storage and temperature on some mechanical properties, including: the firmness force, yield strain, energy of rupture and modulus of elasticity and also, the viscoelastic behavior of the strawberry fruit was investigated. The mechanical test and relaxation test were done using a texture analyzer. In this study, the stress versus time graph was plotted and three-component Maxwell model coefficients were obtained. According to the results of this study, the use of these films had a positive impact on the yield strain. On the other hand, products in the packaging films were able to store products until the 40th day. In this study, the firmness force of HDPE packaging fruits in 4 °C and 20 °C from 2.17 to 1.10 N, 2.16 to 1.85 N, decrease respectively, during storage. The results show that Maxwell model (RMSE<0.6818 and R2 >0.9158) fits the experimental data. Also, with a retention time, the elastic component of the model is relatively reduced and the application of the packaging prevents the decrease in relaxation time.

Keywords: Stress relaxation, Packaging films, Firmness force, Grape tomatoes, Viscoelastic

*Corresponding Author Email Address: eahmadi@basu.ac.ir