تعیین خواص رئولوژیکی گوجه‌فرنگی(lycopersiconescolentum mill) با استفاده از آزمون خزش

نگین سهرابی[1*]، حمیدرضا قاسم‌زاده[1] و حسین بهفر[1]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۶

۱-گروه آموزشی مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

[*]مسئول مکاتبه snegin.sohrabi@gmail.com

چکیده

در تحقیق حاضر خواص رئولوژیکی دو رقم میوه گوجه‌فرنگی ارگون و شقایق با انجام آزمایش خزش- بازگشت مطالعه شد. جهت بررسی تأثیر رقم و زمان نگهداری بر خواص رئولوژیکی بدست آمده، از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. نتایج نشان دادند که مدل چهار المانه برگر مناسب‌ترین مدل برای بیان مشخصات ویسکوالاستیک گوجه‌فرنگی در آزمون خزش می‌باشد. اثر رقم در سطح احتمال یک درصد بر مدول الاستیسیته، ضریب ویسکوزیته و زمان تأخیر معنی‌دار و مقدار این پارامترها برای رقم شقایق بزرگ‌تر از رقم ارگون بود. همچنین با افزایش مدت زمان نگهداری، مدول الاستیسیته، ویسکوزیته و زمان تأخیر کاهش یافتند؛ کاهش آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: خزش، رئولوژی، گوجه فرنگی، ویسکوالاستیک

۱- مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی (lycopersiconescolentum mill) گیاهی علفی، یکساله و فرازگرا از رسته دولپه‌ای‌ها از تیره سیب‌زمینی سانان(Solanaceous) و جنس (Lycopersicon) می‌باشد (معاونی، ۱۳۸۸). گوجه‌فرنگی یکی از محصولات ارزشمند سبزی و صیفی در خاورمیانه است که از نظر اقتصادی پس از سیب‌زمینی در مقام دوم جهان قرار دارد (بی‌نام[1]، ۲۰۰۹). میوه گوجه‌فرنگی با دارا بودن آنتی اکسیدان‌هایی مانند کاروتنوئید، لیکوپن، ویتامین C، ویتامین E و ترکیبات فنولی نقش مهمی در سلامتی انسان ایفا می‌کند. مصرف گوجه‌فرنگی و مشتقات آن باعث کاهش خطر گسترش بیماری‌های گوارشی و سرطان پروستات می‌شود (دوماس[2] و همکاران، ۲۰۰۲). گوجه‌فرنگی به دو صورت تازه‌خوری و فرآوری شده مصرف می‌شود. کشور ایران از جنبه فرآوری پس از کشورهای آمریکا، ایتالیا، چین و ترکیه رتبه پنجم را در دنیا داراست. کشور ایران از جنبه صادرات به‌منظور مصرف بصورت تازه‌خوری رتبه ۲۶ را در میان کشورهای صادر کننده گوجه فرنگی داراست؛ از این‌رو در زمینه جذب بازارهای مصرف بصورت تازه‌خوری نیازمند توسعه است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۷).

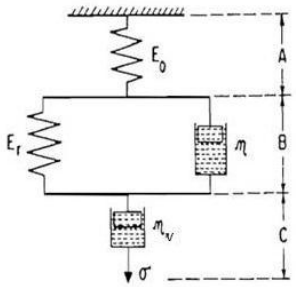
حفظ کیفیت و کاهش صدمات محصولات کشاورزی اولین عامل در کاهش ضایعات آنها و جذب در بازارهای مصرف می‌باشد (بهروزی‌لار، ۱۳۹۱). این محصولات در طول برداشت، جابجایی، نقل و انتقال و انبارداری مستعد صدمه پذیری مکانیکی هستند. میوه‌ها و سبزی‌ها دارای خواص ویسکوالاستیک هستند. یعنی دارای ترکیبی از خواص جامدات و مایعات می‌باشند. از این‌رو جهت شناخت رفتار محصولات تحت اثر تنش‌های وارده به بررسی خواص رئولوژیکی آنها پرداخته می‌شود. توصیف رئولوژی عبارت است از: علم مطالعه تغییر شکل و جریان؛ بعلاوه رئولوژی نقش زمان را در طول بارگذاری جسم درنظر می‌گیرد. پس از نظر رئولوژی رفتار مکانیکی ماده برحسب سه پارامتر نیرو، تغییر شکل (تغییر شکل و جریان) و زمان بیان می‌شود. آزمون خزش یکی از مهم‌ترین آزمون‌ها در مطالعه خواص رئولوژیکی محصولات کشاورزی می‌باشد. اطلاع کامل از خواص رئولوژیکی در تدوین روش‌هایی برای جلوگیری از بروز صدمات مکانیکی محصولات بسیار کارآمد است (محسنین[3]، ۱۹۸۶). از این‌رو هدف از پژوهش حاضر اطلاع از مشخصات ویسکوالاستیک میوه گوجه‌فرنگی با دارا بودن اولویت دوم پس از گندم در برنامه مدیریت کنترل و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی، می‌باشد. در راستای این هدف آزمون خزش- بازگشت انجام گرفت. همچنین اثر تعداد روزهای پس از برداشت و رقم بر مشخصات رئولوژیک گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. با دانستن این مشخصات می‌توان جعبه مناسب، شرایط انبارمانی و شرایط حمل و نقل مناسب برای این محصول پیشنهاد نمود، به‌گونه‌ای که محصول تا رسیدن به بازار مصرف کیفیت‌های مؤثر در بازارپسندی خود را حفظ نماید.

۱-۲ ملاحظات تئوری

برای بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک و محاسبه زمان تأخیر میوه‌ها و سبزی‌ها آزمون خزش – بازگشت یک روش مناسب می-

[1]Anonymous
[2]Dumas
[3]Mohsenin

باشد (محسنین، ۱۹۸۶). در این آزمون در ماده تحت تنش ثابت، با گذشت زمان کرنش افزایش می‌یابد و پس از حذف تنش تغییر شکل الاستیک از بین رفته و تغییر شکل ویسکوز در ماده باقی می‌ماند. هنگام بارگذاری ابتدا کرنش الاستیک آنی در ماده رخ می‌دهد و به دنبال آن تغییر شکل تأخیری انجام می‌شود و وقتی بار حذف می‌شود تغییر شکل الاستیک تقریباً آنی از بین می‌رود و به دنبال آن تغییر شکل ویسکوالاستیک با تأخیر از بین می‌رود. هرگز ماده به اندازه اولیه خود نمی‌رسد و تغییر شکل دائمی ویسکوپلاستیک در آن باقی می‌ماند. خروجی مهم در این آزمون زمان تأخیر می‌باشد. زمان تأخیر زمانی است که از لحظه بارگذاری طول می‌کشد تا تغییر شکل به $1-1/e$ مقدار نهایی برسد. معادله خزش - بازگشت از مدل چهار المانه برگر و مدل عمومی کلوین به‌دست می‌آید (محسنین، ۱۹۸۶). مدل چهار المانه برگر یکی از بهترین مدل‌های رئولوژیک برای بیان رفتار خزش - بازگشت محصولات کشاورزی است. مدل برگر از اتصال سری یک فنر (A)، یک داشپات (C) و یک فنر و داشپات موازی شده باهم (B) تشکیل شده است (شکل ۱). در بار ثابت، بار وارده روی هر سه قسمت A، B و C با هم برابر و کرنش آنها با هم متفاوت می‌باشد و حاصل جمع کرنش هر سه قسمت کرنش کل را تشکیل می‌دهد. پس از باربرداری کرنش قسمت A فوری و کرنش قسمت B با یک تأخیر زمانی برمی‌گردد و کرنش قسمت C اصلاً بر نمی‌گردد.



شکل ۱- مدل چهار المانه برگر

$$\sigma_A = E_0\varepsilon_A \quad (۱)$$

$$\sigma_B = E_r\varepsilon_B + \eta\dot{\varepsilon}_B \quad (۲)$$

$$\sigma_C = \eta_v\dot{\varepsilon}_C \quad (۳)$$

$$\ddot{\varepsilon} + \dot{\varepsilon}/T_{ret} = 1/E_0\,[\ddot{\sigma} + (\frac{E_0}{E_r T_{ret}} + \frac{E_0}{\eta} + 1/T_{ret})\dot{\sigma} + (\frac{E_0}{T_{ret}\eta_v})\sigma] \quad (۴)$$

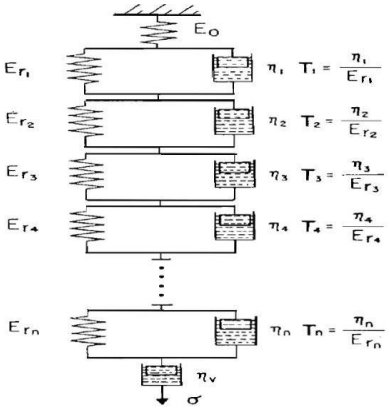
معادله (۴) را هم در شرایط بار ثابت و هم در شرایط کرنش ثابت می‌توان استفاده نمود ولی به طور معمول از این معادله در آزمون خزش - بازگشت استفاده می‌شود که در آن بار ثابت است از اینرو مشتقات تنش برابر با صفر بوده و معادله به شکل زیر خلاصه می‌شود:

$$\ddot{\varepsilon} + \dot{\varepsilon}/T_{ret} = \frac{\sigma_0}{T_{ret}\eta_v} \quad (۵)$$

که معادله دیفرانسیل (۵) در سال ۱۹۶۵ توسط مورو[1] حل شد و به دست آمد:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E_r}(1 - e^{-t/T_{ret}}) + \frac{\sigma_0 t}{\eta_v} \quad (۶)$$

در معادله‌های فوق T_{ret} زمان تأخیر و ضرایب موجود مدول الاستیسیته و ضرایب ویسکوزیته می‌باشند که اجزای مدل رئولوژیک چهار المانه برگر را تشکیل می‌دهند. در مواد بیولوژیک بیش از یک زمان تأخیر وجود دارد (محسنین، ۱۹۸۶). بنابراین معمولاً به جای مدل چهار المانه از زنجیره‌ای از مدل‌های ساده کلوین و برگر به شرح شکل (۲) که مدل عمومی کلوین می‌باشد استفاده می‌شود.



شکل ۲- مدل عمومی کلوین

۱-۳- پیشینه تحقیق

در یک آزمون برای مدل کردن خزش در آنالیز ساختاری ذرات چربی گوشت پخته شده از مدل چهار المانه برگر استفاده شد و مشاهده گردید که بین پارامترهای TPA و داده‌های حاصل از آزمون خزش - بازگشت رابطه معنی‌داری وجود دارد. مقدار برگشت پذیری خزش بطور قابل ملاحظه‌ای با افزایش چربی و با کاهش دما افزایش می‌یابد (تحسین‌یلماز[2] و همکاران، ۲۰۱۲). برای ارزیابی خواص ویسکوالاستیک خمیر آرد ۱۷ رقم مختلف گندم در آزمون خزش – بازگشت از مدل چهار المانه برگر استفاده شد. نتایج نشان دادند که کاهش سرعت باربرداری سبب افزایش زمان تأخیر می‌شود. همچنین در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که بر اساس ویژگی‌های ویسکوالاستیک ۱۷ رقم گندم در سه گروه جای می‌گیرند (ون-باکستیل[3] و همکاران ۲۰۱۱). ارتباط بین صفات حسی و رئولوژیکی کیک برنج با استفاده از آزمون‌های خزش – بازگشت، اندازه‌گیری-

[1] Morrow
[2] Tahsin Yilmaz
[3] Van Bockstaele

های دینامیکی و TPA و روش‌های حسی ارزیابی شده است. مدل چهار المانه برگر برای مدل کردن داده‌های حاصل از آزمون خزش استفاده شد نتایج نشان دادند که روابط متقابلی بین داده‌های حاصل از آزمون خزش با آنالیز ساختاری و اندازه‌گیری‌های دینامیکی وجود دارد،اما بین آنها با ارزیابی حسی رابطه‌ای مشاهده نشد (چاوچی-چوانگ[1] و یه[2]، ۲۰۰۶). برای ارزیابی تأثیر میزان گلوتن بر خواص ویسکوالاستیک گندم از مدل عمومی کلوین شامل یک مدل ساده کلوین سری شده با مدل چهار المانه برگر استفاده شده است (هرنانـدز[3] و همکاران، ۲۰۱۲) تأثیر تغییر گلوتن بر خواص ویسکوالاستیک گندم در گستره‌های پایین کم و در گستره‌های بالا با معنی بود (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۲). مدل چهار المانه برگر برای مدل کردن داده‌های حاصل از آزمون خزش - بازگشت گرد و غبار غلات در بالابرهای سیلوهای صنعتی استفاده شد (چانگ[4] و مارتین[5]، ۱۹۸۲). غفاری و همکاران (۱۳۹۱) برای بیان تأثیر رطوبت بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک رقم مضافتی خرما در ازمون خزش-بازگشت از مدل چهار المانه برگر استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که میزان رطوبت تأثیر زیادی بر خصوصیات رئولوژیکی خرما دارد و نیز با افزایش رطوبت، مقادیر خزش افزایش می‌یابد. آزمون خزش – بازگشت برای دانه‌های کلزا انجام شد و از مدل چهار المانه برگر برای مدل کردن داده‌های حاصل از آزمون استفاده شد (چنکوفسکی[6] و همکاران، ۱۹۹۱). قاسمی و همکاران (۱۳۸۹) از مدل چهار المانه برگر برای بیان رفتار ویسکوالاستیک سیب‌زمینی رقم آگریا و پیاز رقم زرد استفاده کردند.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق گوجه‌فرنگی رقم ارگون و شقایق از گلخانه‌های گوجه‌فرنگی و خیار اطراف شهرستان میانه استان آذربایجان شرقی تهیه گردید. انتخاب نمونه‌ها در دو حالت قرمز و سبز رسیده به‌صورت کاملاً تصادفی به‌گونه‌ای انجام گرفت که یکنواختی در میان میوه‌های انتخابی حفظ گردد و میوه‌ها هیچ‌گونه آسیب ظاهری نداشته باشند. پس از نمونه‌برداری، میوه‌ها به نحوی که در فرآیند انتقال تا حد ممکن از وارد آمدن آسیب به آن‌ها خودداری گردد، در ظروف یکبار مصرف به یخچال منتقل شدند. سپس ابعاد اصلی میوه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری جرم و حجم (با استفاده از روش جابجایی آب) از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده گردید. اثر تعداد روزهای پس از برداشت بر خواص رئولوژیکی گوجه‌فرنگی به عنوان یک فاکتور در نظر گرفته شد.

نمونه‌های قرمز رسیده در چهار سطح یک، دو، پنج و پانزده روز پس از برداشت بررسی شدند. دمای نگهداری برای محصول گوجه-فرنگی قرمز رسیده، که میوه‌ای گرمسیری و حساس به سرمازدگی می‌باشد ۱۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد؛ چرا که نگهداری محصولات در دمای پایین، در گستره بالاتر از نقطه انجماد تا حدود کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد می‌تواند سبب بروز خسارت سرمازدگی در میوه‌ها، سبزی‌ها خصوصاً محصولات گرمسیری و نیمه گرمسیری شود (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۱). برای نمونه‌های گوجه‌فرنگی سبز رسیده تیمار آب گرم و دمای ۱۳ درجه سانتیگراد انتخاب گردید. نمونه‌های سبز رسیده یک روز پس از برداشت بررسی شدند. نمونه-های سبز رسیده و تیمار شده ۴۰ روز در یخچال با دمای ۱۳ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. نمونه‌های تیمار شده با آب گرم ۳۰ روز پس از برداشت و ۴۰ روز پس از برداشت مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمون خزش - بازگشت برای هر تیمار در پنج تکرار انجام شد. برای انجام این آزمون از دستگاه طراحی شده آزمون رئولوژی UTTM[7] استفاده شد (شکل ۳). در این آزمون نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه تحت بار ثابت چهار کیلوگرمی (۳۹/۲۴ نیوتن) قرار گرفتند و تغییرات ارتفاع محصول در فواصل زمانی نیم ثانیه ثبت گردید.

شکل ۳- دستگاه آزمون رئولوژی UTTM

پس از باربرداری، به مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر ارتفاع محصول در فواصل زمانی یک دقیقه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع رخ داده در محصول پس از باربرداری مقدار ارتفاع اندازه‌گیری شده از ارتفاع اولیه محصول کم شد. با تقسیم تغییرات ارتفاع بر ارتفاع اولیه برای هر نمونه کرنش‌های رخ داده در محصول به‌دست آمد. برای محاسبه مساحت تخت شده نمونه‌ها ابتدا پیرامون سطح تخت شده به وسیله خودکار مرزکشی شد، و با استفاده از کولیس بزرگترین و کوچکترین قطر سطح اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از معادله مساحت بیضی،

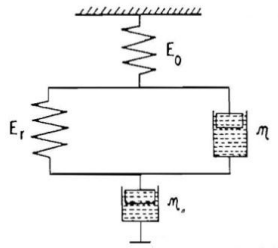
[1] Chao-Chi Chuang
[2] Yeh
[3] Hernadez
[4] Chang
[5] Martin
[6] Cenkowski
[7] University of Tabriz Testing Machine

سطح اعمال نیرو به‌دست آمد. با تقسیم نیرو بر سطح، تنش محاسبه شد. برای برازش مدل‌ها از جعبه ابزار برازش منحنی نرم‌افزار متلب R2010a استفاده گردید. برای یافتن مدل و تعداد المان‌های مناسب برای مدل، تعداد ۱۵ نمونه بصورت تصادفی انتخاب گردید. از مدل چهار المانه برگر و عمومی کلوین شامل دو تا ۵ زمان تأخیر برای هر نمونه ۵ معادله و برای هر معادله ضرایب تبیین بدست آمده و ثبت گردید. در نهایت بر اساس ضرایب تبیین مناسب‌ترین معادله (مدل) تعیین و سپس روی همه داده‌ها برازش گردید. پس از بدست آوردن مدول الاستیسیته و زمان‌های تأخیر ضرایب ویسکوزیته بدست آمد. پس از برازش منحنی‌ها و تعیین مدول الاستیسته، ضرایب ویسکوزیته و زمان‌های تأخیر برای هر نمونه نتایج برای بررسی تأثیر رقم و تیمار با استفاده از نرم‌افزار MSTATC ارزیابی آماری شدند. ارزیابی آماری نتایج حاصل از برازش منحنی با آزمون فاکتوریل با دو فاکتور رقم و تعداد روزهای پس از برداشت در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج نشان دادند که رقم ارگون دارای ابعاد، جرم و حجم بزرگتر از رقم شقایق می‌باشد. از بررسی اولیه ضرایب تبیین بدست آمده در هر دو رقم شقایق و ارگون مشخص گردید معادله (۷) یعنی مدل چهار المانه برگر (شکل ۴) مناسب‌ترین معادله برای تبیین داده‌های حاصل از آزمون خزش - بازگشت می‌باشد. سپس ضرایب این مدل برای هر نمونه آزمایش میوه گوجه‌فرنگی بدست آمد.

$$\varepsilon(t) = \sigma_0[\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_r}(1 - e^{-t/T_{ret}}) + \frac{t}{\eta_v}] \quad (۷)$$



شکل ۴- مدل خزش-بازگشت گوجه‌فرنگی

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان دادند که اثر رقم و تعداد روزهای پس از برداشت بر همه ضرایب مدل چهار المانه برگر در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین اثر متقابل آنها بر مقدار همه ضرایب به غیر از مدول الاستیسیته تأخیری E_r معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد. از اینرو آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن برای آنها اجرا شد (جدول ۱). نتایج آزمون دانکن نشان دادند که مقدار ضریب الاستیسیته لحظه‌ای E_0 میوه سبز رقم شقایق یک روز پس از برداشت با میانگین ۱۹۸۹ کیلوپاسکال و چهل روز پس از برداشت رقم ارگون با میانگین ۱۰۵۰ کیلوپاسکال به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار می‌باشد. همچنین مشاهده گردید که مقدار مدول الاستیسیته لحظه‌ای رقم ارگون با بیشینه، کمینه و میانگین به ترتیب ۱۷۷۱، ۱۰۰۷ و ۱۳۰۱/۰۹ کیلوپاسکال کمتر از رقم شقایق با بیشینه، کمینه و میانگین به ترتیب ۲۰۰۸، ۱۳۲۵ و ۱۶۵۰/۳۷ کیلو پاسکال می‌باشد. با افزایش تعداد روزهای پس از برداشت مقدار مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد و همانطور که ذکر گردید کاهش آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌های ضریب ویسکوزیته تأخیری η_r نشان دادند که بیشترین مقدار این ضریب میوه سبز رقم شقایق یک روز پس از برداشت با میانگین ۱۱۳/۴ گیگاپاسکال در ثانیه و کمترین مقدار ضریب ویسکوزیته تأخیری η_r چهل روز پس از برداشت رقم ارگون با میانگین ۱۵/۸۳ گیگاپاسکال در ثانیه می‌باشد. ضریب ویسکوزیته تأخیری η_r رقم ارگون با بیشینه، کمینه و میانگین به ترتیب ۱۱۱/۰۱، ۱۳/۴۸ و ۴۲/۲۵ گیگاپاسکال در ثانیه کمتر از رقم شقایق با مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین به ترتیب ۱۳۵/۸۲، ۴۴/۴۸ و ۷۲/۱۱ گیگاپاسکال در ثانیه است. همچنین با افزایش زمان نگهداری ضریب ویسکوزیته تأخیری η_r کاهش یافته است. مقایسه میانگین‌های آزمون دانکن نشان داد که ضریب ویسکوزیته η_v میوه سبز رقم شقایق بیشترین مقدار را با میانگین ۳۱۵/۱ گیگاپاسکال در ثانیه دارا می‌باشد که با سایر مقادیر این ضریب در معادلات دیگر تفاوت آن در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. کمترین مقدار ضریب ویسکوزیته η_v چهل روز پس از برداشت رقم ارگون با میانگین ۱۶۱/۴ گیگاپاسکال در ثانیه می‌باشد. ضریب ویسکوزیته η_v رقم ارگون از ۴۰-۲ روز پس از برداشت و رقم شقایق بین ۵-۲ روز، ۵-۱۵ روز و۳۰-۱۵ روز و همچنین ۴۰-۳۰ روز پس از برداشت اختلاف مقدار آن با هم غیر معنی‌دار است. مقدار ضریب ویسکوزیته η_v رقم شقایق با مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین ۳۵۶/۶، ۱۴۵/۶ و ۲۲۴/۲۰ گیگاپاسکال در ثانیه بیشتر از رقم ارگون با مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین ۲۹۱/۹، ۱۵۲/۸ و ۱۹۷/۱۸ گیگاپاسکال در ثانیه می‌باشد. همچنین با افزایش تعداد روزهای پس از برداشت مقدارضریب ویسکوزیته η_v کاهش می‌یابد.

نتایج مقایسه میانگین‌های بررسی اثر رقم و تعداد روزهای پس از برداشت بر مقدار زمان تأخیر نشان دادند که بیشترین زمان تأخیر در میوه سبز رقم شقایق با میانگین ۵۴/۴ ثانیه و کمترین مقدار زمان تأخیر مربوط به میوه ۴۰ روز پس از برداشت رقم ارگون با میانگین ۱۲/۰۹ و ۳۰ روز پس از برداشت رقم ارگون با میانگین ۱۱/۵۷ ثانیه می‌باشد. زمان تأخیر رقم شقایق با مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین

۵۴/۸۱، ۳۱/۵۹ و ۳۹/۷۴ ثانیه بیشتر از رقم ارگون با مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین ۵۴/۴۷، ۹/۹۲ و ۲۳/۶۹ ثانیه و این اثر در سطح یک درصد معنادار می‌باشد. با افزایش تعداد روزهای پس از برداشت مقدار زمان تأخیر در هر دو رقم کاهش می‌یابد اما از نتایج مقایسه میانگین‌ها مشاهده گردید که این کاهش از ۱۵ تا ۴۰ روز پس از برداشت در هر رقم غیر معنی‌دار می‌باشد. نتایج آزمون دانکن ضریب الاستیسیته تأخیری E_r نشان دادند که بیشترین مقدار این ضریب میوه سبز یک روز پس از برداشت با میانگین ۲۰۴۱ کیلوپاسکال و کمترین مقدار میوه ۴۰ روز پس از برداشت با میانگین ۱۴۱۱ کیلوپاسکال می‌باشد. همچنین بین ضریب الاستیسیته تأخیری E_r میوه قرمز و سبز یک روز پس از برداشت، همچنین بین پنج و ۱۵ روز پس از برداشت اختلاف معنی‌دار از نظر آماری مشاهده نشده است. مقدارضریب الاستیسیته تأخیری E_r رقم شقایق با مقدار بیشینه، کمینه و میانگین به ترتیب ۲۴۷۸، ۱۴۰۸ و ۱۷۸۳/۳۴ کیلوپاسکال بیشتر از رقم ارگون با مقدار بیشینه، کمینه و میانگین به ترتیب ۲۰۳۸، ۱۳۳۶ و ۱۶۸۴/۸۹ می‌باشد و این اثر در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

نتایج نشان دادند که همه ضرایب مدل چهار المانه برگر رقم شقایق بزرگتر از رقم ارگون می‌باشد از اینرو این رقم توانایی تحمل نیروی بیشتری را دارد. هم‌چنین با افزایش مدت زمان نگهداری مدول الاستیسیته، ضرایب ویسکوزیته و زمان تأخیر کاهش یافته‌اند. علت کاهش مدول الاستیسیته و ضرایب ویسکوزیته میوه را می‌توان تجزیه پروپکتین به پکتین، و همچنین تجزیه پکتین به ترکیبات ساده‌تر دانست. در میوه‌ی نارس مواد پکتینی به صورت پروپکتین هستند که موجب سفت شدن بافت میوه می‌شود. طی رسیدن میوه پروپکتین هیدرولیز شده و سلولز و همی‌سلولز از آن جدا می‌شود و پکتین به وجود می‌آید. رسیدگی بیشتر موجب هیدرولیز پکتین به زنجیره‌های کوتاه‌تر شده و میوه نرم می‌شود (قنبرزاده، ۱۳۸۸). همچنین سایر محققین در مورد سیب زمینی (سولومون[1] و جیندال[2]، ۲۰۰۷) و میوه خرمالو (سلمانی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱) نشان دادند که با افزایش مدت زمان انبارداری مدول الاستیسیته و ضرایب ویسکوزیته کاهش می‌یابد.

در تمامی مدل‌های خزش ارائه شده مشاهده گردید که مقدار ضریب ویسکوزیته تأخیری کمتر از مقدار ضریب ویسکوزیته η_v می‌باشد. ضریب ویسکوزیته برابر است با نسبت تنش برشی به نرخ کرنش برشی (معادله ۸) که چون سیال موجود در داشپات تراکم ناپذیر می‌باشد از اینرو نرخ کرنش بسیار کوچک می‌باشد که سبب بسیار بزرگ شدن مقدار کسر یا به عبارتی η_v می‌شود (محسنین، ۱۹۸۶). اما ویسکوزیته تأخیری با یک المان الاستیک (E_r) موازی شده است و تغییر شکل و به عبارتی کرنش و نرخ کرنش آن تحت تأثیر این المان نیز می‌باشد در نتیجه نرخ کرنش آن زیاد می‌شود از اینرو مقدار ویسکوزیته تأخیری کمتر از ضریب ویسکوزیته η_v می‌باشد.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \qquad (۸)$$

۴- نتیجه‌گیری نهایی

ویژگی‌های فیزیکی گوجه‌فرنگی رقم شقایق کوچکتر از رقم ارگون می‌باشد. خزش گوجه‌فرنگی با رفتار مدل چهار المانه برگر سازگار می‌باشد. اثر رقم و زمان نگهداری بر مدول الاستیسیته تأخیری و همچنین اثر متقابل آنها بر سایر ضرایب مدل چهار المانه برگر در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. مدول الاستیسیته، ضریب ویسکوزیته و زمان تأخیر رقم شقایق بزرگتر از رقم ارگون می‌باشد و با افزایش تعداد روزهای پس از برداشت این مدول کاهش می‌یابند. در حمل و نقل میوه جهت کمینه کردن آسیب‌های مکانیکی تابع کرنش رخ داده در یک تنش مشخص معادلات (۹) و (۱۰) به ترتیب برای رقم‌های شقایق و ارگون قابل استفاده هستند. (تنش بر حسب کیلوپاسکال و زمان بر حسب ثانیه است.)

$$\varepsilon(t) = \sigma_0[\frac{1}{1357/4} + \frac{1}{1454/2}(1 - e^{-t/34/54}) + \frac{t}{166/82\times10^6}] \qquad (۹)$$

$$\varepsilon(t) = \sigma_0[\frac{1}{1050/2} + \frac{1}{1367}(1 - e^{-t/11/57}) + \frac{t}{161/36\times10^6}] \qquad (۱۰)$$

[1] Solomon
[2] Jindal

جدول ۱- آنالیز واریانس ضرایب مدل چهار المانه برگر

منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات				
		E_0 (kPa)	E_r (kPa)	η_r (GPa.S)	η_v (GPa.S)	T_{ret} (S)
رقم	۱	۲۱۳۵۰۰۸/۹۳**	۱۶۹۶۴۱/۶۶**	۱۵۶۰۸/۱۲**	۱۲۷۷۱**	۴۵۰۷/۷۲**
تعداد روز های پس از برداشت	۶	۵۱۷۱۱۸/۷۹**	۵۵۸۵۶۳/۴۵**	۶۵۳۳/۲۱**	۲۲۶۵۷/۲۵**	۹۹۹/۰۴**
رقم × تعداد روزهای پس از برداشت	۶	۹۳۱۴/۰۹**	۱۱۳۲۴/۳۲^{ns}	۲۵۱/۵۷**	۱۴۹۰/۵۰**	۱۹۸/۷۶**
خطا	۵۶	۲۴۵۵/۲۸	۷۹۸۵/۴۴	۴۹/۷۳	۳۳۲/۳۵	۵/۸۴
ضریب تغییرات (٪)		۳/۳۶	۵/۱۵	۱۲/۳۳	۸/۶۵	۷/۶۲

*،** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

منابع مورد استفاده

بهروزی‌لار، م. ۱۳۹۱. **اصول طراحی ماشین‌های برداشت و سیستم انتقال مواد جلد سوم (ترجمه و تألیف)**. انتشارات سروا. ۵۴۶ صفحه.

حاتمی، م.، س. کلانتری، و م. دلشاد. ۱۳۹۱. **اثر تیمار پس از برداشت آب گرم و شرایط دمای نگهداری بر میوه رسیده سبز گوجه-فرنگی.** مجله علوم باغبانی ایران. جلد ۴۳، شماره ۲؛ صص ۱۱۳ تا ۱۲۳.

سلمانی‌زاده، ف.، ع. زمردیان، ح. ،صفی یاری، و ح. رحمانیان. ۱۳۹۱. **اثر مدت زمان نگهداری بر روی خواص ویسکوالاستیک و مکانیکی میوه خرمالو در شرایط محیطی.** هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.۱۴ الی ۱۶ شهریور. شیراز: دانشگاه شیراز.

غفاری، ع. الف.، س. کامگار، س. م. نصیری، د. زارع، ع. ر. زمردیان. ۱۳۹۱. **تعیین خواص ویسکوالاستیک خرما (رقم مضافتی)در رطوبت‌های مختلف محصول.** هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۱۴ الی ۱۶ شهریور. شیراز: دانشگاه شیراز.

قاسمی، ع.، ع. همت و الف. گودرزی. ۱۳۸۹. **مدل‌سازی خواص رئولوژی پیاز و سیب‌زمینی با استفاده از آزمون خزش** .هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۱۴ الی ۱۶ شهریور. شیراز: دانشگاه شیراز.

قنبرزاده، ب. ۱۳۸۸. **فشرده شیمی مواد غذایی (تألیف)**. انتشارات آییژ. ۲۹۵ صفحه.

مرتضوی، س. ا. ق.، ث. رضاپور، م. ع. فتاحی و م. جعفرزاده. ۱۳۸۷. **بررسی جایگاه ایران در تولید و تجارت جهانی گوجه‌فرنگی**. اولین کنگره ملی فناوری تولید و فرآوری گوجه‌فرنگی. ۲۳ و ۲۴ بهمن. مشهد دانشگاه فردوسی.

معاونی، پ. ۱۳۸۸. **گیاهان دارویی**، جلد دوم. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس. صص ۱۱۳۰ تا ۲۲۵۳.

Anonymous. **FAO.** Retrieved from WWW.FAO.Org.2009.

Chang, C. S. and C. R. Martin. 1982. **Rheological Properties of Grain Dust.** Transactions of the ASAE. 26(4): 1249-1256.

Van Bockstaele F., I. De Leyn, M. Eeckhout and K. Dewettinck. 2011. **Non-Linear Creep-Recovery Measurements as a Tool for Evaluating the Viscoelastic Properties of Wheat Flour Dough.** Journal of Food Engineering, 107(1): 50-59.

Chuang, G. C. C. and A.Yeh. 2006. **Rheological Characteristics and Texture Attributesof Glutinous Rice Cakes (mochi).** Journal of Food Engineering, 74(3): 314-323.

M. T. Yilmaz, S. Karaman, M. Dogan, H. Yetim and A. Kayacier. 2012. **Characterization of O/W Model System Meat Emulsions Using ShearC creep Recovery Tests Based on Mechanical Simulation Models and Their Correlation with Texture Profile Analysis (TPA) Parameters.** Journal of Food Engineering, 108(2): 327-336.

Mohsenin, N. 1986. **Physical Properties of Plant and Animals.** New York: Gordon and Breach Science Publishers. pp.891.

Cenkowski, S., J. Bielewicz and M. Britton. 1991. **A Single Kernel Creep and Recovery Test.** Transactions of the ASABE. 34(6): 2484-2490.

Solomon, W. and V. K. Jindal. 2007. **Modeling Changes in Rheological Properties of Potatoes During Storage Under Constant and Variable Conditions. LWT** - Food Science and Technology, 40(1): 170-178.

Y. Dumas,M. Dadomo, G. Di luccaand P. Grolier. 2002. **Review of theInfluence of Major Environmental and Agronomic Factor on Lycopen Content of Tomato Fruit.** In: Vegetables and potatoes (p. 595-601). Acta Horticulturae (579). Presented at 2. Balkan Symposium, Thessalonique, GRC (2000-10-11 - 2000-10-15). Wageningen, NLD : ISHS. http://prodinra.inra.fr/record/62976

Harnandez-Estrada, Z. J., J. D. C. Figueroa, P. Rayas-Duarte and R. J. Pena. 2012. **Viscoelastic Characterization of Glutenins in Wheat Kernels Measured by Creep Tests.** Journal of Food Engineering, 113(1): 19-26.

Determination of Rheological Properties of Tomato Using Creep Test

N. Sohrabi[1*], H.R. Ghassemzadeh[1] and H. Behfar[1]

Received:14 Apr 2014 Accepted:27 Jun 2015
[1]Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran,
[*]Corresponding author: snegin.sohrabi@gmail.com

Abstract

In the present work, the rheological properties of two varieties of tomatoes were studied under creep recovery test. A factorial experiment in the form of completely randomized design was used to determine the effects of storage time and variety on the viscoelastic properties. The results showed that 4-elements model (Burgers model) can explain the rheological behavior of the products with highest determination coefficients. The variety had a significant effect on the coefficients of elasticity, viscosity and retardation times at 1% level of probability. The values for the mentioned parameters in Shaghayegh cultivar was greater compared to that of Ergon cultivar. Also, the elastic modulus values increased with increasing storage time, where the values for the coefficients of viscosity and retardation times reduced at the same time.

Keywords: Creep, Rheology, Tomato, Viscoelastic