نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

تعیین خواص ویسکوالاستیک میوه گلابی (*Pyrus collunis L.*) با استفاده از آزمون تنش آسایی

نگین سهرابی[۱*]، حمیدرضا قاسم‌زاده[۲]، حسین بهفر[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه آموزشی مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه آموزشی مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تبریز

*ایمیل مکاتبه کننده: Snegin.sohrabi@gmail.com

چکیده

محصولات کشاورزی در مراحل مختلف برداشت، حمل و نقل و فرآوری تحت اثر نیروهای استاتیکی و دینامیکی قرار می‌گیرند. در بسیاری از موارد این نیروها موجب آسیب دیدگی محصول می‌شوند.ایجاد صدمه موجب کاهش کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود، که اولین عامل در افزایش ضایعات و پایین آمدن ارزش بازاری این محصولات می‌باشد. میزان صدمه به نحوه بارگذاری و با توجه به بافت ویسوالاستیک محصولات کشاورزی به ویژگی‌های رئولوژیکی آنها بستگی دارد. یکی از مهمترین رفتارهای رئولوژیکی تنش‌آسایی می‌باشد. از اینرو در تحقیق حاضر خواص رئولوژیکی میوه گلابی با انجام آزمایش تنش‌آسایی مطالعه شد. نتایج نشان دادند که مدل عمومی ماکسول شامل سه مدل ساده ماکسول مناسب‌ترین مدل برای بیان مشخصات ویسکوالاستیک گلابی می‌باشد. ضرایب این مدل برای میوه گلابی به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: گلابی، ویسکوالاستیک، رئولوژیک، تنش آسایی.

مقدمه

گلابی از درختان میوه سردسیری و فرازگرا، جزو گیاهان دانه‌دار (Spermatophyte)، نهان دانگان (Angiospermae)، دو لپه‌ای‌ها (Dicotyledonea)، از راسته رزالیس (Rosalis) و تیره گل‌سرخیان (Rosaceae) و متعلق به جنس Pyrus می‌باشد (رسولزادگان، ۱۳۷۰). گلابی یکی از مهمترین درختان میوه مناطق معتدله محسوب می‌شود که به دلیل طعم مناسب و ارزش اقتصادی بالای آن، سالیان متمادی است که در ایران پرورش می‌یابد (روزبان و همکاران، ۱۳۸۱). گلابی منبعی از قندها، مواد معدنی، ترکیبات فنولی می‌باشد. کیفیت میوه گلابی به وسیله‌ی ویژگی‌هایی از قبیل بافت، اندازه، رنگ، بو و

همچنین پارامترهای شیمیایی از قبیل قندها، اسیدهای آلی، مواد معدنی، مواد معطر، سفتی بافت و ویتامین‌ها تعیین می‌شود (نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). حفظ کیفیت محصولات کشاورزی اولین عامل جهت کاهش ضایعات آنها و جذب بازارهای مصرف می‌باشد (بهروزی‌لار، ۱۳۹۱). شناخت ویژگی‌های بافت در راستای حفظ کیفیت محصولات کشاورزی یکی از اقدامات مهم این زمینه می‌باشد. شناخت بافت محصولات کشاورزی به دلیل دارا بودن خواص ویسکوالاستیک نیازمند شناخت ویژگی‌های رئولوژیکی آنها می‌باشد (محسنین، ۱۹۸٦). از مهمترین مشخصه‌های مواد ویسکوالاستیک مدول الاستیسیته و ضریب ویسکوزیته می‌باشند، که یکی از آزمون‌های مرجع برای بیان این مشخصات آزمون تنش آسایی می‌باشد. در این آزمون ماده تحت کرنش ثابت قرار می‌گیرد و اجازه داده می‌شود با گذشت زمان تنش کاهش یابد. یکی از دیگر پارامترهای مهمی که می‌توان از این آزمون بدست آورد زمان تنش آسایی (مدت زمانی که طول می‌کشد تا تنش به $1/e$ مقدار اولیه خود برسد) است (محسنین، ۱۹۸٦). در این مورد رفتار رئولوژیکی مواد را می‌توان به طرق ریاضی توصیف و به ویژگی‌های حسی مربوط کرد. رفتار رئولوژیکی مواد ویسکوالاستیک را می‌توان براساس ویژگی‌های پایه یعنی الاستیک (فنر از نوع هوکی) و ویسکوز (داشپات با سیال نیوتنی) و با استفاده از مدل توضیح داد (قنبرزاده،۱۳۸۸).

اطلاع کامل از این مشخصه‌ها در تدوین روش‌هایی برای جلوگیری از بروز صدمات مکانیکی محصولات در طی برداشت، حمل و نقل و نگهداری آنها بسیار کارآمد است.

دانشمندان بسیاری به مطالعه‌ی مشخصه‌های فوق با انجام آزمون تنش آسایی پرداخته‌اند. با انجام آزمون تنش آسایی منحنی تنش آسایی هویج پوست کنده شده‌ی خشک شده به روش مایکروویو خلائی رسم گردید. سپس زمان تنش آسایی و مدول الاستیسیته و ضرایب ویسکوزیته برای آن استخراج گردید (بوگدان، ۲۰۰۸). رفتار تنش آسایی انگور سفید بیدانه در طی رسیدن مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده نشان داد با رشد و رسیدن میوه رفتار الاستیک پوست انگور تشدید و سفتی گوشت میوه افزایش می‌یابد (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیقی از مدل عمومی ماکسول شامل سه مدل ساده ماکسول برای بررسی اثر دما و سرعت بارگذاری بر رفتار مکانیکی و تنش آسایی سنجد تلخ استفاده شد و نتایج نشان دادند که میزان تغییر شکل و سرعت بارگذاری یک اثر کاهشی و دما یک اثر افزایشی روی زمان تنش آسایی دارد (خزایی و مان، ۲۰۰٤). با این حال بررسی‌های انجام شده نشان داد تاکنون تحقیقی در راستای تعیین خواص رئولوژیک گلابی با انجام آزمون تنش آسایی انجام نشده است. از اینرو در این تحقیق جهت اطلاع از مشخصات رئولوژیکی میوه گلابی به انجام آزمون تنش آسایی برای آن پرداخته شد. نتایج حاصل از این تحقیق که بیان کننده رفتار میوه گلابی تحت اثر بارهای وارده می‌باشد، در راستای کم کردن صدمات وارده به آن طی عملیات برداشت و پس از برداشت از اطلاعات پایه و اساسی به‌شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق میوه گلابی رقم تبریزی از باغ‌های گلابی واحد تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز تهیه گردید. انتخاب نمونه‌ها 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، به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس ابعاد اصلی میوه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری جرم از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم و حجم با استفاده از روش جابجایی آب استفاده گردید.

آزمون تنش‌آسایی در پنج تکرار انجام شد. برای انجام این آزمون از دستگاه طراحی شده‌ی آزمون رئولوژی UTTM[1] استفاده شد (شکل ۱). در این آزمون، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه تحت جابجایی ثابت ۵ میلی‌متر، قرار داده شدند و تغییرات نیرو در فواصل زمانی ۵ ثانیه ثبت گردید. در لحظه اعمال جابجایی، بار وارده ٤ کیلوگرم (۳۹/۲٤ نیوتن) ثبت شد.

شکل ۱- دستگاه آزمون UTTM دانشگاه تبریز

پس از باربرداری، برای محاسبه مساحت سطح تخت شده‌ی نمونه‌ها، ابتدا پیرامون سطح تخت شده به وسیله خودکار مشخص شد، و با استفاده از کولیس بزرگترین و کوچکترین قطر سطح اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از معادله مساحت بیضی، سطح اعمال نیرو به دست آمد. با تقسیم نیرو بر سطح، تنش محاسبه شد. کرنش رخ داده در هر نمونه با تقسیم ۵ میلی‌متر بر ارتفاع اولیه محصول به‌دست آمد. برای برازش مدل‌ها از جعبه ابزار برازش منحنی نرم‌افزار متلب R2010a استفاده گردید. برای یافتن مدل و تعداد المان‌های مناسب برای مدل، از مدل ساده تا مدل عمومی ماکسول شامل ۵ مدل پایه، برای هر نمونه ۵ معادله به‌دست آمد و برای هر معادله ضرایب تبیین ثبت گردید. در نهایت بر اساس ضرایب تبیین مناسب‌ترین معادله (مدل) تعیین گردیدند. پس از بدست آوردن مدول الاستیسیته و زمان‌های تنش‌آسایی ضرایب ویسکوزیته بدست آمد.

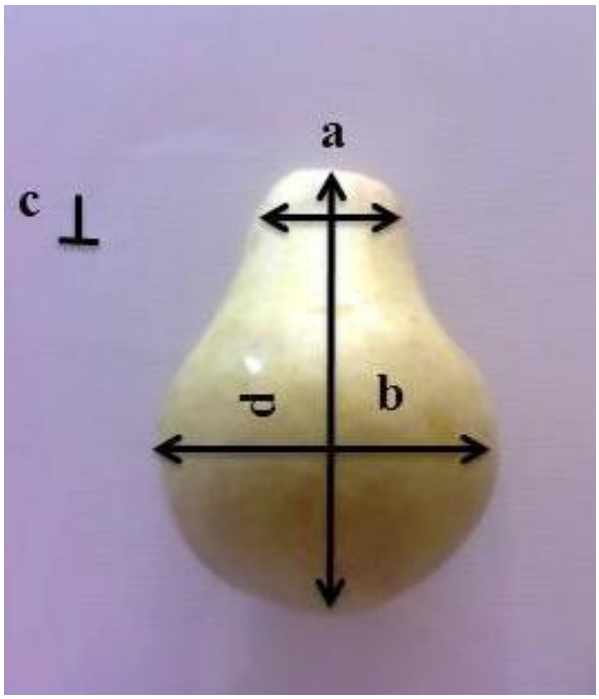
نتایج و بحث

[1]. University of Tabriz Testing Machine

میانگین نتایج حاصل از اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. شکل (۲) ابعاد مشخص شده در جدول (۱) نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱. میانگین مشخصات فیزیکی میوه گلابی

مشخصه فیزیکی	مقدار
جرم	۱٦۰/۷۲ (گرم)
A	۳۳/۸۲ (میلی‌متر)
B	٦۲/۹٤ (میلی‌متر)
C	٦۲/۱۷ (میلی‌متر)
D	۹۳/۲۷ (میلی‌متر)

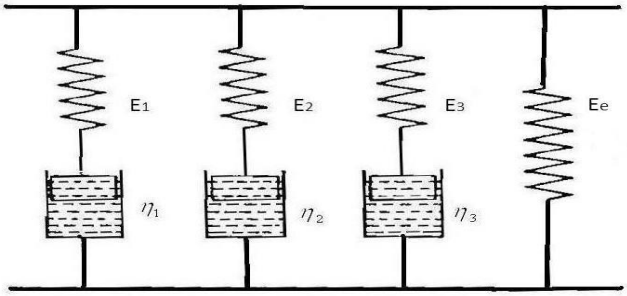


شکل ۲- مشخصات فیزیکی

نتایج نشان داد که بر اساس ضرایب تبیین بدست آمده برای معادله (۱)، یعنی مدل عمومی ماکسول تشکیل شده از ۳ مدل ساده ماکسول (شکل۳) مناسب‌ترین معادله برای تبیین داده‌های حاصل از آزمون تنش‌آسایی میوه گلابی می‌باشد. سپس ضرایب این مدل برای هر آزمایش بدست آمد. در بررسی رفتار تنش‌آسایی مواد شبه جامد مختلف که از نظر ساختار ماکرو با هم متفاوت هستند مشاهده گردیده که مدل عمومی ماکسول برای توصیف رفتار تنش‌آسایی مواد ویسکوالاستیک مناسب می‌باشد (دل‌نوبیل و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین مدل عمومی ماکسول شامل ۳ مدل پایه ماکسول برای بیان رفتار تنش‌آسایی دانه‌ی نخود (خزایی و مان، ۲۰۰۵)، میوه‌ی خرما (زارع و همکاران، ۲۰۱۲)، گرد و غبار غلات در سیلوهای صنعتی (چانگ

و مارتین،۱۹۸۲)، انگور سفید بیدانه، و بسیاری دیگر از مواد ویسکوالاستیک توسط سایر محققین مناسب تشخیص داده شده است.

$$\sigma(t) = \varepsilon_0[E_1 e^{-t/T_{rel1}} + E_2 e^{-t/T_{rel2}} + E_3 e^{-t/T_{rel3}} + E_e] \quad (۱)$$



شکل ۳- مدل تنش‌آسایی گلابی

σ: تنش وارده به نمونه (کیلوپاسکال)

ε: کرنش اولیه اعمال شده به نمونه

E_1: مدول الاستیسته اول (کیلوپاسکال)

E_2: مدول الاستیسته دوم (کیلوپاسکال)

E_3: مدول الاستیسته سوم (کیلوپاسکال)

T_{rel1}: زمان تنش آسایی اول (ثانیه)

T_{rel2}: زمان تنش آسایی دوم (ثانیه)

T_{rel3}: زمان تنش آسایی سوم (ثانیه)

t: زمان(ثانیه)

معادله‌ی (۲) مدل ماکسول میوه گلابی می‌باشد. ضرایب ویسکوزیته از حاصل ضرب مدول الاستیسیته در زمان تنش آسایی به‌دست می‌آیند. واحد مدول‌های الاستیسته کیلوپاسکل و زمان بر حسب ثانیه می‌باشند.

$$\sigma(t) = \varepsilon_0[113/12 e^{-t/169/78} + 121/2 e^{-t/264/1} + 118/94 e^{-t/767/9} + 128/31] \quad (۲)$$

نتیجه‌گیری

نتیجه گرفته می‌شود رفتار ویسکوالاستیک میوه گلابی از مدل عمومی ماکسول شامل سه مدل ساده ماکسول تبعیت می‌کند. ضرایب این مدل برای میوه گلابی در این پژوهش بدست آمده و گزارش گردیده است. این نتایج از اطلاعات پایه در طراحی سیستم های نگهداری و حمل و نقل این میوه می‌باشد.

منابع و مآخذ

۱. بابک قنبرزاده. مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی (تألیف). انتشارات دانشگاه تهران. ۲۹۰ صفحه. ۱۳۸۸

۲. بهروزی لار، م. ۱۳۹۱.اصول طراحی ماشین‌های برداشت و سیستم انتقال مواد جلد سوم (ترجمه و تألیف). انتشارات سروا.

۳. حسن‌پور، ع. اسماعیلی، م. مدرس مطلق، ا. ۱۳۸۹. و علاالدین رحمانی دیدار. تغییرات خواص وسیکوالاستیک انگور سفید بیدانه در طی رسیدن. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. ۲۰(۳): ۱٤٥-۱۳۳.

٤. رسولزادگان، ی. ۱۳۷۰. میوه کاری مناطق معتدله، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

٥. روزبان، م. ارزانی ک. و معینی، ا. ۱۳۸۱. بررسی ازدیاد درون شیشه ای برخی از ارقام گلابی آسیایی (Pyrus serotina Rehd). نشریه نهال و بذر. ۱۸(۳): ۳٦۱-۳٤۸.

٦. نجف‌زاده، ر. ارزانی، ک. بابایی، ع. ۱۳۹۱. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کیفی برخی از ژنوتیپ‌های گلابی اروپایی (Pyrus communis L.). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲٦(۲): ۱۷۷-۱۷۰.

7. Bogdan, S. 2008. Effect of vacuum-microwave drying on selected mechanicaland rheological properties of carrot. Biosystems Engineering. 99: 234-238.

8. Chang, C. and Martin. S. 1982. Rheological Properties of Grain Dust. Transaction of the ASAE. 1249-1256.

9. Del Nobile, M. Chillo, S. Mentana, A. and Baiano, A. 2007. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. Journal of Food Engineering. 78: 978-983.

10. Khazae, J. and Mann. D. 2005. Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation behaviour of chickpea kernels. International Agrophysics. 19: 305-313.

11. Khazaei, J. and Mann, D. 2004. Effects of Temperature and Loading Characterictics on Mechanical and Stress-Relaxation Behavior of Sea Buckthorn Berries. Part 3. Relaxation Behavior. Agricultural Engineering International: the CIGR J Sci Res Develop. 6: 1-12.

12. Mohsenin, N. 1986. Physical properties of plant and animals. New York: Gordon and Breach Science Publishers. pp.891.

13. Zare, D. Alirezaei, M. and Nassiri, S. 2012. Stress Relaxation of Date at Different Temperature and Moisture Content of Product: A New Approach. World Academy of Science, Engineering and Technology. 69: 291-296.

Determination of Viscoelastic Properties of Pear (Pyrus collunis L.) Using Stress Relaxation Test

Abstract

Agricultural products during various stages of harvest, transport and processing are subject to different levels of external forces. In some cases, these forces are the causes mechanical damages to the crops. Mechanical damage reduces the quality of agricultural product and its market value, and also, contributes to crop wastage. The amount of damage depends on loading as well as crop's rheological properties. Stress relaxation is among the important rheological characteristic. In the present study, the characteristics were determined for Pear fruit. The results showed that generalized Maxwell with three elements can explain the rheological behavior of the products with highest determination coefficients.

Keywords: Pear, Viscoelastic, Rheological, Stress Relaxation.