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

بررسی برخی روشهای آزمون رئولوژی محصولات ویسکوالاستیک درکشاورزی

بهروز ایمانی[1*]، غلامحسین شاهقلی[2]، امیرحسین افکاری سیاح[3]

۱، ۲ و ۳ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، استادیار و دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

ایمیل مکاتبه کننده: behroozimani93@gmail.com

چکیده

دست‌یابی به محصولات با کیفیت بالا، از مهمترین اهداف تولیدکنندگان و مصرف کنندگان محسوب می‌گردد. به همین دلیل با بررسی علل ضایعات محصولات کشاورزی، می‌توان بازار پسندی و انبارمانی آنها را افزایش داد. برای تعیین شرایط بهینه‌ی انبارداری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت نهایی محصولات و نیز طراحی تجهیزات فراوری، انتقال و درجه‌بندی تعیین خواص رئولوژی آنها ضروری به نظر می‌رسد. برای تحلیل مکانیکی در چنین شرایطی به‌جز خواص مکانیکی محصول، باید از نحوه اثر متقابل اجزا بر یکدیگر نیز اطلاع داشت. در مطالعه رفتار مواد ویسکوالاستیک معمولاً از سه روش آزمون خزش، آزمون تنش‌آسایی و آزمون دینامیکی استفاده می‌گردد. مدل‌های مکانیکی ماکسول، کلوین و برگر در آزمون‌های ارزیابی خواص محصولات ویسکوالاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه مروری به برخی از روشهای تعیین ارزیابی خواص رئولوژی میوه‌ها، سبزی‌ها و مدل-های مکانیکی آنها که به صورت تئوری ارائه شده، اشاره می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های مکانیکی، محصولات کشاورزی، رفتار ویسکوالاستیک، آزمون خزش

مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت، تقاضا برای افزایش کیفیت محصولات کشاورزی به ویژه میوه و سبزی بسیار گسترده شده است. در همین حال یکی از علل مهم کاهش کیفیت میوه و سبزی، آسیب های مکانیکی وارده به این محصولات است که حتی در کشورهای پیشرفته نیز مشاهده و بر تجارت این محصولات تأثیر گذاشته است(افکاری و همکاران، ۱۳۸۸). آسیب‌های ناشی از بارهای ایستا (ثابت)، در انبارها و محصولات تل (توده ذخیره) شده، اهمیت پیدا می‌کنند، به‌طوری‌که این نیروها به تک تک میوه‌ها، سبزی‌ها یا دانه‌ها وارد می‌گردند. برخی از انواع میوه و سبزی در چنین شرایطی به سرعت دچار آسیب می‌شوند که می توان به سیب، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و ... اشاره کرد . برای تحلیل مکانیکی در چنین شرایطی به‌جز خواص مکانیکی محصول، باید از نحوه اثر متقابل اجزا بر یکدیگر نیز اطلاع داشت. در واقع نیروهایی که در یک محصول تل(توده ذخیره) شده، از میوه‌ای به میوه‌ای دیگر منتقل می‌شود، می‌تواند در نقاط تماس بر روی میوه یا سبزی به تغییر شکل دائمی منجر شود که نوعی آسیب مکانیکی محسوب می‌گردد (Masoumi et al, 2006). برای مطالعه رئولوژی مواد ویسکوالاستیک معمولاً از سه روش آزمون خزش، آزمون تنش‌آسایی و آزمون دینامیکی استفاده می‌گردد.

آزمون خزش

اگر در یک آزمون فشاری (کششی) برای مدتی تنش ثابتی را بر ماده مورد بررسی اعمال نماییم، تغییر شکل در جسم با گذشت زمان افزایش می‌یابد. این پدیده به طور معمول در برخی موارد در محصولات کشاورزی و مواد غذایی اهمیت پیدا می‌کند. غده سیب زمینی که در زیر توده‌ای از غده‌های دیگر، تحت فشار ثابتی قرار گرفته است نمونه‌ی از وقوع خزش می‌باشد. به طور کلی آزمون خزش به دو صورت انجام می‌پذیرد. آزمون خزش نوع اول مختص موادی هستند که در دمای اتاق خاصیت ویسکوالاستیک دارند. این مواد چون از دو بخش ویسکوزیته و الاستیک تشکیل شده‌اند در اثر اعمال بار ثابت طی زمان تغییر شکل می‌یابند. به عنوان مثال برخی کامپوزیت‌ها، پلیمرها و اغلب مواد کشاورزی جزو این گروه هستند. گروه دیگر مواد صلب، پلاستیک یا الاستیکی هستند که در اثر مجاورت با دمای بالا نرم‌تر شده و با کاهش نیروی جاذبه بین مولکولی آن‌ها نسبت به بار اعمالی تغییر شکل بیشتری از خود نشان می‌دهند (Roland, 1998).

مواد ویسکوالاستیک

ویسکوالاستیک به دو خاصیت ویسکوزیته و الاستیسیته در مواد اشاره دارد. ویسکوزیته بیانگر میزان گرانروی و الاستیسیته بیانگر خاصیت ارتجاعی در مواد است. مواد ویسکوز مانند عسل، در برابر نیروهای برشی از خود مقاومت نشان می‌دهند. مواد الاستیک نیز به موادی گفته می‌شود که در اثر اعمال نیروهای فشاری (کششی) به سرعت فشرده (کشیده) می‌شوند و پس از قطع نیرو به شکل اولیه خود بر می‌گردند. مواد ویسکوالاستیک دارای هر دو این ویژگی-ها را دارا می باشند با این توضیح که فشرده شدن این مواد در اثر اعمال نیروهای فشاری، وابسته به زمان است (Al- Haik et al., 2001). ویسکوالاستیسیته خطی به حالتی بیان می‌شود که به هنگام اعمال نیرو ارتباط خطی بین تنش و کرنش ماده وجود داشته باشد. به هنگام انجام آزمون خزش بر روی مواد ویسکوالاستیک ابتدا بار را بر روی قطعه

مورد نظر اعمال می‌کنیم و مدت زمان خاصی را مطابق با نوع ماده منتظر می‌مانیم و سپس تغییر شکل ماده را در زمان‌های مختلف ثبت می‌کنیم. اغلب موارد در بیشتر استانداردها این مدت زمان بیشتر از ۱۰ دقیقه می باشد (Devicente, 2012).

مواد و روشها

نمونه‌گیری

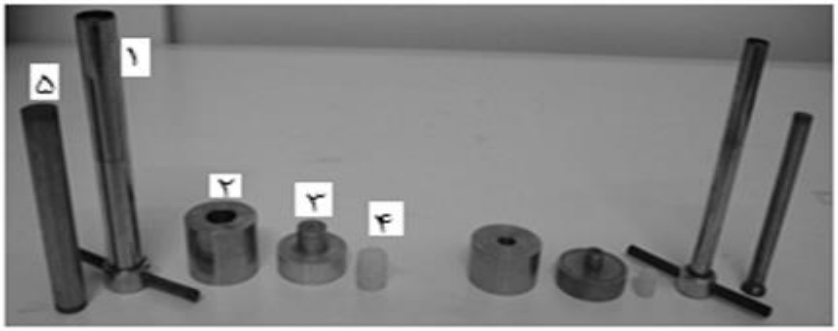
برای تعیین علل اصلی ضایعات و نیز شناسایی نقاطی که در آن ضایعات رخ می‌دهند نیازمند نمونه‌گیری هستیم. هدف از نمونه‌گیری کسب اطلاعات دقیق از وضعیت محصول تولیدی است. بنابراین، مهم است که در فرآیند نمونه‌گیری به نحوی عمل کنیم که مطمئن شویم نمونه‌های جمع آوری شده عملاً نمونه‌هایی واقعی از کل محصول می‌باشند. در نمونه‌گیری لازم است موارد زیر رعایت شود: الف) از خارج کردن محصولات معیوب از فرآیند نمونه-گیری خوداری شود. ب) در نمونه برداری می‌بایست اندازه‌های مختلف محصول وجود داشته باشد. ج) نمونه برداری می‌بایست از تمام نقاط سیستم مورد بررسی انجام گیرد (از همه نقاط انبار ذخیره سازی). د) از آنجا که در بسیاری از محصولات کشاورزی(نظیر سیب، سیب زمینی، گوجه‌فرنگی و غیره) با مسئله آسیب پنهان مواجهیم، لذا بهتر است نمونه‌های جمع‌آوری شده حداقل به مدت ۲٤ ساعت (در برخی محصولات مانند گوجه فرنگی تا ۷۲ ساعت) ذخیره سازی شده و سپس ارزیابی آثار ضایعه بر روی آنها انجام گیرد (Henderson et al., 2001).

روشهای تعیین خصوصیات رئولوژی برخی محصولات کشاورزی

خیار

بعد بعد از اندازه گیری برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خیار شامل حجم، طول، جرم ... بررسی و اندازه‌گیری ضریب پواسن و مدول الاستیسیته خیار را به روش تک محوری در دو حالت محصور شده و محصور نشده با دستگاه کشش و فشار ستام انجام گرفت. برای تعیین ضریب پواسون، آزمایش به صورت فشار تک محوری در دو حالت محصور و غیر محصور بوده و همچنین به دلیل بافت غیرهمگن میوه، آزمایش‌ها هم در بخش گوشت و هم در بخش دانه‌ها به صورت جداگانه انجام شد. از بافت گوشت هر خیار دو نمونه‌ی استوانه‌ای با قطر ۷/۵ میلی‌متر و طول ۱۱ میلی‌متر (نسبت طول به قطر برابر است با ۱/٤۷) توسط نمونه‌گیر خارج شد که یکی برای آزمایش فشار تک محوری غیر محصور و دیگری برای آزمایش محصور به کار برده شد. از بافت حفره‌ی دانه نیز دو نمونه استوانه‌ای با قطر ۱۲/۵ میلی‌متر و طول ۱۵ میلی‌متر (نسبت طول به قطر برابر است با ۱/۲) توسط نمونه‌گیر خارج شد. دو طرف هر نمونه‌ی استوانه‌ای با استفاده از یک دستگاه برش با تیغه‌هایی تیز به صورت کاملاً صاف و تخت برش داده شد. برای انجام آزمایش‌های محصور بخش گوشت از یک استوانه‌ای توخالی با قطر داخلی ۷/۵ میلی‌متر و قطر خارجی ۳۰ میلی‌متر و یک سنبه‌ی فولادی هم‌اندازه‌ی قطر داخلی آن برای اعمال بارگذاری، استفاده شد. کف استوانه برای خارج کردن نمونه قابل جدا شدن بود و همچنین سوراخ ریزی در کف آن ایجاد گردید تا آب نمونه بتواند حین بارگذاری خارج شود. در شکل ۱ وسایل مورد برای آزمایش نمونه نشان داده شده است. همچنین برای انجام آزمایش‌های مربوط به بخش دانه از استوانه‌ای توخالی با قطر داخلی ۱۲/۵ میلی‌متر و قطر خارجی ۳۰

میلی‌متر و سنبه‌ای فولادی هم اندازه‌ی قطر داخلی استفاده شد. با توجه به این امر که بخش دانه‌ها آب بیشتری دارد، در این استوانه علاوه بر یک سوراخ در کف، چهار سوراخ ریز در محیط استوانه و نزدیک به کف آن، ایجاد شد تا از خطا حین بارگذاری به دلیل تجمع شیرابه و ایجاد فشار در مایع، جلوگیری شود(دارائی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱ – وسایل آزمایش محصور و غیر محصور برای گوشت (سمت راست) و قسمت دانه‌ها (سمت چپ). ۱) نمونه‌گیر ۲) استوانه‌ای محصور ۳) کفی جدا شدنی ٤) نمونه ۵) سنبه

نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش غیر محصور مطابق شکل ۲ توسط دستگاه جامع کشش و فشار سنتام در بین دو عدد صفحه تخت فولادی تحت بارگذاری با سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند و به طور همزمان نمودار نیرو برای نمونه در نرم افزار رایانه‌ای مربوطه ترسیم گردید. سپس با تقسیم نیرو بر مساحت قاعده نمونه‌ی استوانه‌ای؛ تنش و با تقسیم تغییر شکل نمونه بر طول نمونه اولیه کرنش محوری محاسبه شد(دارائی و همکاران، ۱۳۹۲).

شکل ۲ – الف) آزمایش غیر محصور ب) آزمایش محصور

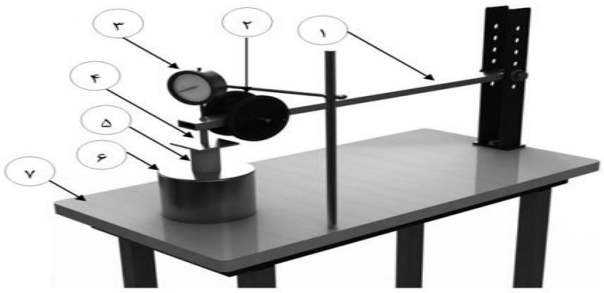
سیب‌زمینی

برای تعیین شرایط بهینه‌ی انبارداری در راستای کاهش ضایعات و افزایش کیفیت نهایی محصولات و نیز طراحی تجهیزات فراوری، انتقال و درجه‌بندی تعیین خواص رئولوژی آنها ضروری است. در روش انبارداری به شیوه فلّه‌ای محصول به مدت چندین ماه تحت بار ثابتی که ناشی از وزن محصول لایه‌های بالایی است قرار می‌گیرد. بنابراین از

آزمون خزش می‌توان برای شبیه‌سازی این شیوه‌ی انبارداری استفاده کرد. در آزمون خزش تنش ثابتی به نمونه اعمال شده و کرنش به عنوان تابعی از زمان بررسی می‌شود و با رسم نمودار کرنش بر حسب زمان خواص ویسکوالاستیک نمونه تعیین می‌شود (Alvarez et al., 2000).

برای تعیین خواص رئولوژی سیب‌زمینی توسط آزمون خزش، دستگاهی که در شکل ۳ دیده می شود، ساخته و استفاده شد. این دستگاه شامل یک جابجایی سنج عقربه ای با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر است. نمونه‌ی مورد استفاده روی یک سطح صلب و کاملاً صاف قرار می‌گیرد و توسط بازویی که وزنه‌هایی با وزن مشخص روی آن نصب می‌شود توسط یک صفحه تخت(شعاع انحنا بی‌نهایت) تحت تنش ثابت قرار می‌گیرد و تغییر طول نمونه با زمان توسط جا-به‌جایی‌سنج عقربه‌ای ثبت می‌گردد. آزمون روی نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵ میلی‌متر و طول ۳۰ میلی‌متر و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس روی نمونه‌های تازه و انبار شده انجام شد(Solomona et al., 2007).

تمامی آزمایشها در پنج تکرار و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با متغیر زمان انبارداری و متغیرهای وابسته شامل ضریب الاستسیته آنی، ضریب الاستسیته و ویسکوزیته قسمت الاستیک تأخیری، ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی و زمان تأخیر صورت گرفت. برای تهیه نمونه‌های استوانه‌ای از یک نمونه‌گیر استوانه‌ای سیب استفاده شد و برای برش نمونه‌ها به طول مورد نظر از یک پایه تفلونی که دارای دیواره‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر و سوراخی به قطر ۱۵ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ میلی‌متر بود استفاده شد با قرار دادن هر یک از نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده درون پایه تفلونی و با کمک یک تیغ جراحی تیز نمونه از هر دو طرف به صورت صاف برش داده شدند (Bjema et al., 1998). نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه تحت تنش ثابت ۱۱۰ کیلو پاسکال و سپس باربرداری صورت گرفت. داده برداری به ازای هر ۰/۰۱ جابجایی نمونه با زمان مشاهده و ثبت می‌شد. برای تعیین مقدار تنش وارده ابتدا با استفاده از آزمون فشاری نیروی نقطه تسلیم زیستی تعیین شد که برابر با ۳۲/۷ نیوتن بود؛ بنابراین به منظور اطمینان از اینکه نیروی اعمالی به دیواره سلولی محصول آسیبی وارد نکند، مقدار ٦۰ درصد نیروی نقطه تسلیم یعنی ۲۰ نیوتن در آزمون خزش به نمونه اعمال شد(Solomona et al., 2007).



شکل ۳ – دستگاه برای انجام آزمون خزش؛ ۱) بازو، ۲) وزنه، ۳) جابجایی سنج، ٤) صفحه صلب بارگذاری، ۵) نمونه مورد آزمایش، ٦) صفحه صاف و صلب، ۷) شاسی (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳)

مدل‌های مکانیکی

به منظور استفاده از منحنی مشخصه مواد ویسکوالاستیک و بیان میزان کیفیت یک محصول به صورت کمی، مدل سازی رفتار آن ضروری است. این مدل‌ها، رفتار جسم تحت بار را به صورت روابط ریاضی بیان می‌کنند، این روابط قادر به بیان ساختار داخلی جسم نیستند، اما توسط آن‌ها می‌توان خواص ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی و مواد غذایی را تعیین کرد (Diehl et al., 1979).

برای درک رفتار رئولوژیکی مواد غذایی ویسکوالاستیک، یک سری مدل‌های مکانیکی وجود دارند. این مدل ها شامل فنر و دشپات (ضربه‌گیر) می باشند.که می‌توان به: مدل الاستیک (فنر)، مدل ویسکوز (دشپات) و مدل های ترکیبی: شامل مدل ماکسول، مدل کلوین و مدل برگر اشاره کرد.

مدل‌های ترکیبی

برای بیان رفتار مواد ویسکوالاستیک، می‌توان فنرها و ضربه‌گیرها (دشپات‌ها) را به شکل‌های متفاوتی به همدیگر متصل نمود. متداول‌ترین مدل‌ها عبارتند از: مدل ماکسول، مدل کلوین و مدل برگر. در مدل ماکسول، فنر و ضربه‌گیر به صورت سری به همدیگر متصل هستند در حالی که در مدل کلوین این اجزا به شکل موازی به یکدیگر متصل می‌باشد.مدل برگر نیز ترکیبی از مدل ماکسول و مدل کلوین ارائه شده است.

مدل ماکسول

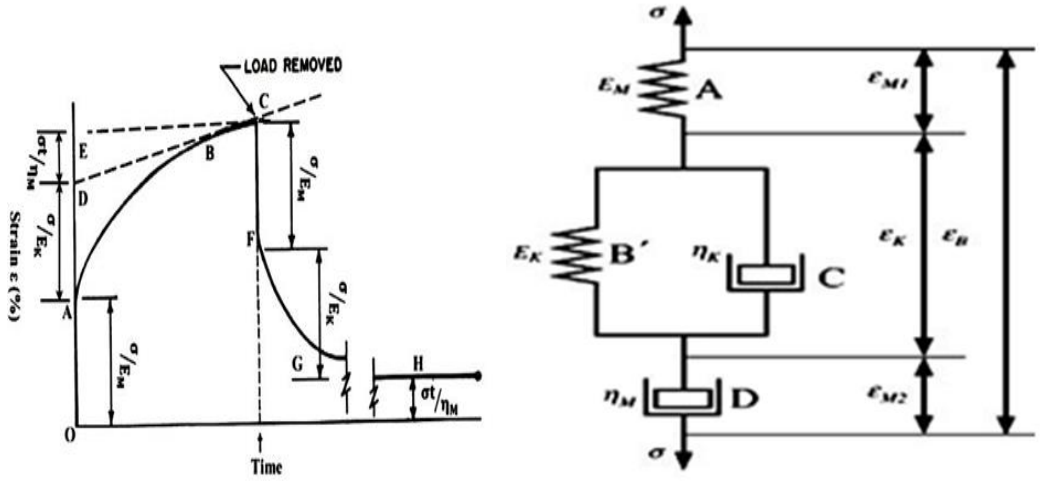
در این مدل دو عنصر دشپات و فنر به صورت سری قرار گرفته‌اند و تغییر شکل از دو قسمت تشکیل شده است، یکی ویسکوز خالص و دیگری الاستیک خالص. در ابتدا همه تنش صرف کشیدن فنر می‌شود، در نتیجه بخش اول منحنی‌ها یک خط راست و نشانگر رفتار قانون هوک خواهد بود. وقتی فنر تغییر طول می‌دهد، دشپات تنش بیشتر و بیشتری را جذب می‌کند، تا اینکه فنر به حداکثر تغییر طول خود برسد. در این نقطه همه تنش مبدل به جریان در دشپات شده و منحنی تنش- کرنش مسطح می‌گردد.

مدل کلوین

در این مدل دو جزء تحت تأثیر نیرو در یک ساعت ثابت با یکدیگر حرکت می‌کنند. بنابراین، نیروی اعمال شده به ضربه‌گیر سریعاً تا یک مقدار ثابت تغییر نموده و ثابت باقی می‌ماند. در حالی‌که نیروی اعمال شده روی فنر در شروع صفر بوده و به تدریج زیاد می‌شود. پس در مدل کلوین، تنش مجموع دو جزئی است که در یکی متناسب با کرنش و در دیگری متناسب با درجه برش است. در آزمون خزش از مدل کلوین استفاده می‌شود (رضوی و همکاران، ۱۳۸۵).

مدل برگر

در این مطالعه از مدل چهار عنصری برگر، برای بررسی رفتار خزش مواد ویسکوالاستیک استفاده شد.



ب الف

شکل ٤ – الف) مدل چهار عنصری برگر ب) منحنی بارگذاری و باربرداری یک جسم ویسکوالاستیک تحت تنش ثابت (آزمایش خزش)

شکل ٤ الف نمایش از مدل چهار عنصری برگر را نشان می‌دهد که شامل ترکیبی سری از مدل ماکسول و کلوین است. شکل ٤ ب منحنی نمایش واگذاری و باربرداری یک جسم ویسکو الاستیک در آزمایش خزش (تحت تنش ثابت) را نشان می‌دهد. منحنی خزش را می‌توان به سه بخش اصلی الاستیک آنی،الاستیک تأخیری و جریان نیوتونی تقسیم کرد (Yong- Liang et al., 2008). در این مدل کرنش کل (ε_B)، در زمان t برابر مجموع کرنش سه بخش الاستیک آنی (ε_{M1}) ، الاستیک تأخیری (ε_k) و جریان نیوتونی (ε_{M2}) است (yang et al., 2006).

رابطه (۱) معادله مشخصه مدل برگر را نشان می‌دهد. با استفاده از این رابطه می‌توان کرنش را در زمان‌های مختلف را به دست آورد.

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[\frac{1}{E_M} + \frac{1}{E_K}\left(1 - e^{\frac{-t}{T_{red}}}\right) + \frac{t}{\eta_M}\right] \qquad (۱)$$

σ_0: تنش ثابت اعمال شده، E_M : ضریب الاستیسیته آنی، E_K: ضریب الاستیسیته قسمت الاستیک تأخیری، η_K: ویسکوزیته قسمت الاستیک تأخیری، T_{red}: زمان تأخیر است و از رابطه (۲) تعیین می‌شود.

$$T_{red} = \frac{\eta_K}{E_K} \qquad (۲)$$

زمان تاخیری، مورد نیاز برای آن که ٦۳ درصد کرنش نهایی در جسم ظاهر شده است(Mohsenin, 1986).

تعیین ضرایب مدل

برای تعیین ضرایب مدل و بررسی اثر انبارداری (تیمارهای آزمایش) بر این ضرایب، با توجه به نمودار تغییر شکل با زمان، مقدار با وارده و مقدار تغییر شکل قسمت های OA، AD و DE (شکل ٤ ب) ضرایب الاستسیته آنی و الاستسیته تأخیری و ویسکوزیته بخش الاستیک تأخیر رابطه (۳) را می توان به صورت رابطه زیر بیان کرد.

$$\left(1-\frac{A}{B}\right)=e^{\frac{-1}{T_m}} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، A متغیری وابسته به زمان و B عدد ثابتی هستند و به ترتیب از رابطه (٤) و (٥) تعیین می‌شوند.

$$A=\varepsilon(t)-\frac{\sigma}{E_M}-\frac{\sigma_t}{\eta_M} \qquad (٤)$$

$$B=\frac{\sigma}{E_K} \qquad (٥)$$

اگر از طرفین رابطه (٥)، Ln گرفته شود، یک رابطه خطی به صورت y= at به دست می‌آید؛ که مقادیر y و a به ترتیب از روابط (٦) و(۷) تعیین می شوند.

$$y=Ln\left(1-\frac{A}{B}\right) \qquad (۶)$$

$$a=-\frac{1}{T_{red}} \qquad (۷)$$

با انتخاب چند زمان مختلف و تعیین مقادیر A و B نمودار y بر حسب زمان رسم شد و از روی شیب خط به دست آمده که برابر با مقدار a است زمان تأخیر و ضریب الاستسیته تاخیری از رابطه (۲) ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی تعیین شدند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳).

بحث و نتایج

خیار از بافت‌های مختلفی تشکیل شده که ویژگی‌های این بافت‌ها نیز باهم متفاوت است.همبستگی معنی‌دار بین چگالی و نسبت قطری نشان دادکه با افزایش نسبت قطر میوه به قطر حفره دانه، چگالی افزایش می‌یابد که این امر بیانگر چگالی بالاتر و متراکم تر بودن بافت گوشت نسبت به بافت محفظه دانه می باشد تفاوت مدول الاستیسیته بخش گوشت و دانه در سطح احتمال ۰/۰۱ و نسبت پواسون آن‌ها در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار بود. همچنین مدول الاستسیته بالاتر بخش گوشت بیانگر سفتی بالای این بافت و تردی آن است (Mcfeeters et al., 1980). همچنین نسبت پواسون پایین‌تر محفظه دانه نشان‌دهنده‌ی تراکم‌پذیری بالای این بخش است، و این یعنی حجم منافذ پر از هوا در بخش دانه بیشتر از بخش گوشت است (دارائی و همکاران، ۱۳۹۲). تحقیق دیگری درباره سیب زمینی صورت گرفته، که بارگذاری و باربرداری با آزمون خزش به خوبی توانست، شرایط سیب زمینی طی زمان انبارداری را شبیه سازی کند. مدل برگر به خوبی رفتار خزشی سیب زمینی در طی انبارداری را پیش بینی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده و روند کاهشی و معنی‌دار ضرایب ویسکوالاستیک سیب‌زمینی، با مطالعه روند تغییرات این ضرایب می‌توان برای بهینه کردن شرایط انبارداری مانند تعیین دمای مناسب انبار برای طراحی سیستم تهویه و ارتفاع

بهینه انبار استفاده کرد، به نحوی که با گذشت زمان کمترین تخریب در بافت محصول ایجاد شده و ضایعات آن کاهش یابد. نتایج این تحقیق نشان داد، ویسکوزیته مربوط به‌جریان نیوتونی حساسیت بیشتری به گذشت زمان انبارداری دارد؛ بنابراین، مطالعه تغییرات آن برای بررسی اثر زمان انبارداری برای کاهش میزان ضایعات مناسب‌تر است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳). رفتار خزشی گوجه فرنگی تحت فشار ثابت؛ در مواد ویسکوالاستیک تنش‌ها و کرنش‌های حجمی هر دو وابسته به زمان هستند، بنابراین، با تعیین میزان تغییرات حجم آنها بر حسب زمان می‌توان به خواص درونی آنها پی برد. با مطالعه نمودار تغییرات حجم بر حسب زمان در فشار ثابت هیدرو استاتیک نیز می‌توان رفتار خزشی این مواد رامطالعه کرد. رفتار گوجه فرنگی پس از بارگذاری شبیه رفتار مواد ویسکوالاستیک وابسته به زمان است. این می تواند به‌دلیل ساختار سلولی و رطوبت بالای گوجه‌فرنگی است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۱).

نتیجه‌گیری

مطالعات تجربی نشان می‌دهد که محصولات کشاورزی رفتار ویسکوالاستیسیته غیر خطی دارند. اگر مقدار تنش به اندازه‌ای باشد که کرنش حاصل عمدتاً پس از باربرداری قابل برگشت نباشد، نسبت تنش به کرنش تابعی از تنش و زمان خواهد بود و این رفتار را ویسکوالاستیک غیرخطی می‌نامند. رفتار رئولوژیکی محصولات کشاورزی و غذایی با در نظر گرفتن فرضیاتی برای ساده سازی مساله و با کمک تئوری‌های ویسکوالاستیسیته خطی ارائه شده برای مواد مهندسی توصیف می‌شوند. مدل‌های مکانیکی ماکسول، کلوین و برگر در آزمون‌های ارزیابی خواص ویسکوالاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در آزمون رهایی تنش از مدل ماکسول استفاده می‌شود. از آنجایی که مدل ماکسول ساده نمی‌تواند رفتار رهایی تنش بسیاری از مواد ویسکوالاستیک از جمله مواد غذایی را توصیف نماید. برای حل آن از مدل ماکسول عمومی استفاده می‌شود. در آزمون خزش از مدل کلوین استفاده می‌شود. در آزمون نوسانی، تنش در یک کرنش ثابت اندازه‌گیری و موادی که تحت تنش یا تغییر شکل قرار می‌گیرند به طور متناسب با زمان تغییر می‌کنند. در آزمون ارزیابی رئولوژی محصولات مختلفی مورد آزمایش قرار گرفته، که تقریباً با مدل‌های تئوری مطابقت دارند.

منابع

۱. افکاری سیاح، ا.ح. مینایی، س. ۱۳۸۸. مبانی بررسی و ارزیابی ضایعات مکانیکی در محصولات کشاورزی انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اردبیل. اردبیل.

۲. دارائی، ف. همت، ع. ۱۳۹۲ تعیین مدول الاستیسیته و نسبت پواسون بخش‌های مختلف میوه‌ی خیار. هشتمین کنگره مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.

۳. رضوی،س.م.ع. اکبری، ر. ۱۳۸۵ خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی و مواد غذایی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.

٤. قاسمی، ع. گودرزی، ا. همت، ع. ۱۳۹۳ خواص رئولوژی بافت سیب‌زمینی در طول انبارداری با استفاده از آزمون خزش. نشریه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. جلد ٤. شماره ۲. ضفحه ۳۰۵-۳۱۳.

۵. قاسمی، ع. صادقی، م. گودرزی، ا. رستم‌زاده، میثم. ۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی اندازه گیری تراکم پذیری حجمی، سفتی و درجه رسیدگی میوه‌جات. هفتمین کنگره مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دانشگاه شیراز.

6. Al - Haik, M. vaghara, M.R. Garmestania, H. and Shahawyb, M. 2001. Viscoplastic analysis of structural polymer composite using stress relaxation an creep data. Journal of Food Engineering, No.32 pp. 165-170.

7. Alvarez, M.D. Saunders, D.E. and Vincent, J.F. 2000. Effect of turgor pressure on the cutting energy of stored potatoes. European Food Research Technology. No.210. pp. 331-339.

8. Bjema, R.W. Hyde, G.M. and Peterson, K. 1998. Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. Transactions of the ASAE. No, 41(3). pp. 747-754.

9. DeVicente, J. J. 2012. Rheology. Croatia: Daria Nahtigal publishing process manager.

10. Diehl, K.C. and Hamann. D.D. 1979. Relation between sensory profile parameters and fundamental mechanical parameters for raw potato, melons and apples. Journal of Texture Studies. No.10. pp. 401-420.

11. Henderson, A. and Thomson, G. 2001. Potato mechanical damage State of Victoria Dept. of O\Primary Industries Agriculture notes. No. AG0958.

12. Masoumi, H. Tabatabaeefar, A. and Borghaee, A.M. 2005. Investigation of mechanical properties variation of apples during the storage with uniaxial test. EFITA/WCCA, Villa Real. Portugal.

13. Mcfeeters, R.F. Bell, T.A. and Fleming, H.P. 1980. An endo polygalacturonase in cucumber fruit. Jurnal of Food Biochemical No. 4. pp. 1-16.

14. Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. New York: Gordon and Breach Science.

15. Roland, C.M. 1998. Viscoelastic Behavior of Rubbery Materials. Washington. DC: Naval Research Laboratory.

16. Solomona, W.K. and Jindal, V.K. 2007. Modeling changes in rheological properties of potatoes during storage under constant and variable conditions. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. No. 40. pp.170-178.

17. Yang, J.L. Zhang, Z. Schlarb, A.K. and Friedrich, K. On the characterization of tensile creep resistance of polyamide 66 composites. Part II: Modeling and prediction of long-term performance. Polymer. No. 47. pp. 6745-6758.

18. Yong-Liang, X.S. Xiong, B.L. Yun-Bo, i. and Zhao, S.M. 2008. Study on creep properties of indica rice gel. Journal of Food Engineering. No. 86. pp. 10-16.

Study of some products viscoelastic rheology testing procedures in Agriculture

Abstract

Achieving to high-quality products, the most important goals is the producers and consumers. Then with reviewing the causes of product lesions, their storage period can be increased for market. For determining optimized condition for the storage of finished products in order to reduce waste and increase the quality and design of process equipment, transmission and grading of their rheological properties are necessary. In such conditions, except for the mechanical analysis of the properties of the product, shall notify each other of the components of the interaction. The viscoelastic material behavior usually three methods of creep testing, stress and relaxation test, dynamic tests is used. Mechanical models of Maxwell, Kelvin and Burgers tests are used evaluate the viscoelastic properties. In this review some assessment methods to determine rheological properties of fruits, vegetables and mechanical models are noted.

Keywords: rheological mechanical models, Agricultural products, viscoelastic behavior, creep test