



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## بررسی برخی دستگاه‌های ساخته شده برای آزمون رئولوژی محصولات ویسکوالاستیک در کشاورزی

بهروز ایمانی<sup>۱\*</sup>، غلامحسین شاهقلی<sup>۲</sup>، یوسف عباسپور گیلانده<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشکده فناوری کشاورزی و

منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

ایمیل مکاتبه کننده: behroozimani93@gmail.com

### چکیده

ضایعات مکانیکی تنها بخشی از کل ضایعات محصولات کشاورزی را تشکیل می‌دهد، اما به واسطه فراوانی این نوع ضایعات در کشورمان، این بخش نیز خسارت قابل توجهی به اقتصاد ملی وارد می‌سازد. از این رو اطلاع از نحوه وقوع آسیب‌های مکانیکی و مبانی بررسی علمی این پدیده در محصولات دانه‌ای، غده‌ای، میوه و سبزی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. رئولوژی علم مطالعه تغییر شکل و جریان، بر مبنای علم رئولوژی، رفتار مکانیکی یک ماده را می‌توان بر سه عامل نیرو، تغییر شکل (کرنش) و زمان بیان نمود. نتایج آزمون‌ها به نوع و روش اعمال نیرو (ضربه، بار ایستا و ارتعاش)، مدت زمان اعمال بار، میزان رطوبت محصول، شدت بار اعمالی، دمای محصول، رقم، ساختار داخلی نمونه بستگی دارد. در این مقاله مروری به برخی از دستگاه‌های آزمون ارزیابی خواص رئولوژی محصولات ویسکوالاستیک در کشاورزی اشاره می‌گردد. هدف از این مطالعه آشنایی بیشتر با دستگاه‌های موجود و نحوه کارکرد آنها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: واژه‌های کلیدی: رئولوژی، ویسکوالاستیک، دستگاه‌های آزمون رئولوژی، تغییر شکل



## مقدمه

ضایعات مکانیکی تنها بخشی از کل ضایعات محصولات کشاورزی را تشکیل می‌دهد، اما به واسطه فراوانی این نوع ضایعات در کشورمان، این بخش نیز خسارت قابل توجهی به اقتصاد ملی وارد می‌سازد. از این رو اطلاع از نحوه وقوع آسیب‌های مکانیکی و مبانی بررسی علمی این پدیده در محصولات دانه‌ای، غده‌ای، میوه و سبزی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. یکی از عوامل تخریب برخی میوه‌ها و دانه‌ها، تغییر شکل آنها به علت اعمال وزن توده محصول بر محصولات زیرین در انبارها یا سیلوها با گذشت زمان می‌باشد (افکاری و همکاران، ۱۳۸۸). رئولوژی عبارت است از علم مطالعه تغییر شکل و جریان، اگر خواص مکانیکی یک ماده بر مبنای رفتار آن ماده تحت یک بار اعمالی تعریف کنیم، زمانی این رفتار به عنوان یک خاصیت رئولوژیک شناخته می‌شود که نیروی اعمال شده به ماده منجر به تغییر شکل یا جریان ماده گردد. بر مبنای علم رئولوژی، رفتار مکانیکی یک ماده را می‌توان بر سه عامل نیرو، تغییر شکل و زمان بیان نمود (mohsenin, 1986). تغییر شکل یعنی جابجایی نسبی نقاط درون یک جسم، تغییر شکل کمیتی برداری است و در حالت کلی تغییر شکل زمانی اتفاق می‌افتد که حجم یا شکل کلی آن تغییر کند (افکاری و همکاران، ۱۳۸۸).

## مواد و روشها

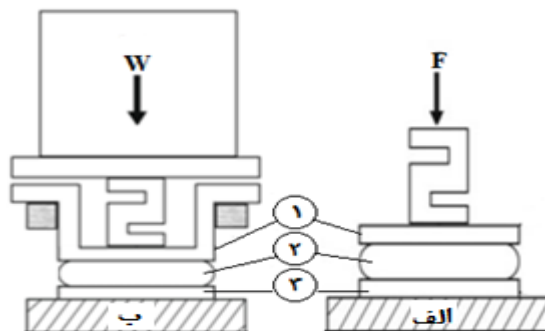
### عوامل مؤثر بر آزمون رئولوژی

نوع و روش اعمال نیرو (ضربه، بار ایستا و ارتعاش)، مدت زمان اعمال بار، میزان رطوبت محصول، شدت بار اعمالی (میزان انرژی اعمالی)، دمای محصول، رقم، ساختار داخلی نمونه عوامل تأثیرگذار در نتایج آزمون بیان شده است (obrein, 1976).

برخی دستگاه ساخته شده برای آزمون رئولوژی محصولات کشاورزی

دستگاه نیمه اتوماتیک آزمون خزش برای مواد ویسکوالاستیک

در دستگاه‌های آزمون عمومی (مانند اینسترون یا سنتام) نمونه در محل مخصوص خود قرار گرفته و کفه بالایی بر آن مماس می‌شود. لودسل (نیرو سنج) نیز در بالای کفه نصب شده تا بار اعمالی تدریجی را اندازه‌گیری کند. آزمون در حالی شروع می‌شود؛ که کفه بالایی با نمونه در تماس بوده و نیروی وارده تا زمان رسیدن به حد مطلوب افزایش می‌یابد و در این مدت زمانی که لودسل بار را اندازه‌گیری می‌کند تا به اندازه مطلوب برسد و داده‌برداری را شروع کند، ماده دچار تغییر شکل می‌شود. در واقع آزمون زمانی آغاز می‌شود که بخشی از ساختار ماده دچار تغییر شکل شده است. بنابراین این نوع بارگذاری باعث خطا در اندازه‌گیری تغییر شکل اولیه و در نتیجه کل داده‌برداری می‌شود. نحوه بارگذاری دستگاه‌های آزمون عمومی در شکل ۱-الف نشان داده شده است.



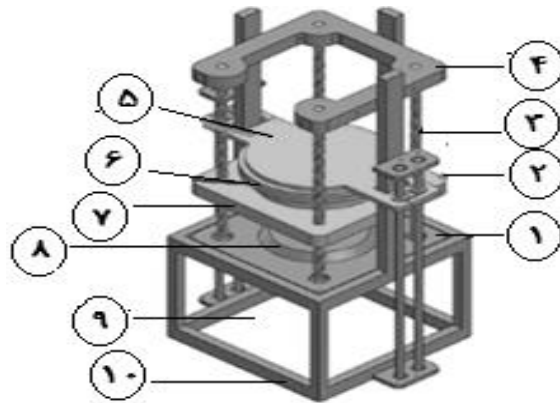
شکل ۱- طرحواره نحوه بارگذاری نمونه؛ الف- دستگاه‌های آزمون عمومی ب- دستگاه نیمه اتوماتیک آزمون خزش؛ (۱) صفحه فوقانی، (۲) نمونه آزمایشی، (۳) صفحه تحتانی (روشنیان فرد و همکاران، ۱۳۹۲)

اما دستگاه ساخته شده توسط روشنیان و همکاران دارای این مشخصات است که ابتدا نیروی که قرار است بر نمونه وارد شود با استفاده از وزنه‌هایی که بر روی قسمت باسکول قرار می‌گرفت توسط لودسل اندازه‌گیری شده و سپس با حرکت الواتور کل نیرو بدون ایجاد نیروی ضربه‌ای در چند ثانیه اول به نمونه وارد می‌شود، در شکل ۱-ب نحوه بارگذاری نمونه در دستگاه نیمه اتوماتیک خزش نشان داده شده است. این روش بارگذاری باعث می‌شود که به نمونه ضربه‌ای وارد نشده و طول مدت افزایش نیرو تا حد مطلوب از ۲۵ تا ۶۰ ثانیه به مقدار کمتر از ۳ ثانیه افزایش یابد. برای انجام کالیبراسیون دستگاه لازم است لودسل (نیروسنج) و <sup>۱</sup>LVDT (سنسور جابجایی سنج) کالیبره شوند. جهت انجام آزمایش‌ها ابتدا دستگاه برای آزمایش آماده می‌شود. بنابراین دیتالاگر<sup>۲</sup> به دستگاه نصب و در این آزمایش‌ها از دیتالاگر مدل DT-80 استفاده شده، و قطعات نصب شده به دیتالاگر دو عدد LVDT برای اندازه‌گیری تغییر طول (کرنش) نمونه و یک لودسل ۱۰۰ نیوتنی برای اندازه‌گیری بار اعمالی بر روی نمونه قرار می‌گرفت؛ که برای هر مورد یک کانال جداگانه در نظر گرفته می‌شود. پس از نصب دیتالاگر به دستگاه، دیتالاگر نیز برای ثبت داده‌ها به کامپیوتر متصل می‌شود. سپس دستگاه راه‌اندازی و به صورت خودکار الواتور را به بالا هدایت کرده تا آماده برای اعمال بار قرار گیرد (روشنیان فرد و همکاران، ۱۳۹۲).

بعد از کالیبراسیون دستگاه، نمونه را در محل بین دو کفه قرار داده، سپس کلید استارت فشار داده می‌شود تا دستگاه شروع به حرکت نماید. که در شکل ۲ طرح‌واره دستگاه نشان داده شده است. همراه الواتور دو عدد LVDT نیز جهت اندازه‌گیری تغییر طول حرکت می‌کنند. دستگاه به صورت خودکار بار را روی نمونه قرار داده و بدون اعمال بار ضربه‌ای وزن تعریف شده‌ای را روی نمونه قرار می‌دهد. سیستم کنترل تعادل مانع از واژگونی کفه اعمال بار شده و کلیه قطعات تعادلی، اندازه‌گیری طول، اندازه‌گیری وزن توسط لودسل با زمان معینی که برای آزمایش‌ها در نظر گرفته شده، داده‌ها را به دیتالاگر ارسال می‌کنند. در نهایت پس از اتمام فرآیند آزمون، کلید استارت مجدداً فشار داده می‌شود تا سیستم به حالت آماده باش برگردد (روشنیان فرد و همکاران، ۱۳۹۲).

<sup>۱</sup> Linear variable differential transformer

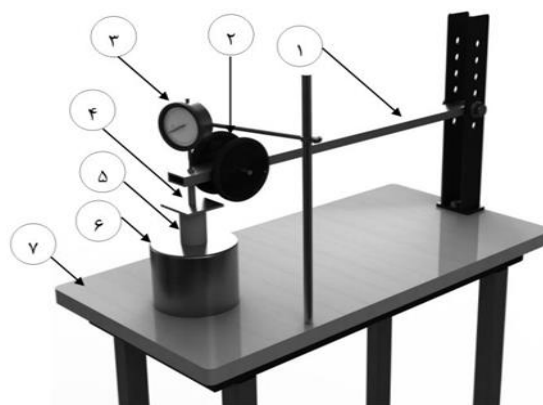
<sup>۲</sup> Data logger



شکل ۲- طرح‌واره دستگاه نیمه اتوماتیک آزمون خزش؛ (۱) صفحه نگه‌دارنده پایین، (۲) الواتور بالابرنده کفه (وزنه‌ها)، (۳) پیچ انتقال قدرت، (۴) صفحه نگه‌دارنده بالایی، (۵) سیستم کنترل تعادل کفه اصلی، (۶) کفه اعمال بار، (۷) صفحه متحرک با چرخش پیچ انتقال قدرت، (۸) صفحه محل قرارگیری نمونه، (۹) محل نصب موتور، جعبه دنده و سیستم کنترل الکترونیکی، (۱۰) شاسی (روشنیان فرد و همکاران، ۱۳۹۲)

#### دستگاه آزمون خزش قاسمی و همکاران

دستگاه ساخته شده توسط قاسمی و همکاران دارای این مشخصات است؛ برای تعیین خواص رئولوژی سیب‌زمینی، دستگاه آزمون خزش که در شکل ۳ نشان داده شده، ساخته و استفاده می‌شود. این دستگاه شامل یک جابجایی سنج عقربه‌ای با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر است. نمونه‌ی مورد استفاده بر روی یک سطح صلب و کاملاً صاف قرار داده می‌شود و توسط بازویی که وزنه‌هایی با وزن مشخص روی آن نصب شده؛ و توسط یک صفحه تخت (شعاع انحنا بی- نهایت) تحت تنش ثابت قرار می‌گرفت و تغییر طول نمونه با زمان توسط جابه‌جایی سنج عقربه‌ای ثبت می‌گردد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل ۳- دستگاه برای انجام آزمون خزش؛ (۱) بازو، (۲) وزنه، (۳) جابجایی سنج، (۴) صفحه صلب بارگذاری، (۵) نمونه مورد آزمایش، (۶) صفحه صاف و صلب، (۷) شاسی (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳)

مقایسه نتایج حاصل از آزمایش دستگاه نیمه اتوماتیک خزش با نتایج دستگاه قاسمی و همکاران که روش مشابه برای بارگذاری استفاده کردند. برای تعیین خواص مکانیکی سیب‌زمینی، آن را روی یک سطح صلب و کاملاً صاف



قرار داده و آزمایش‌ها را با ۵ تکرار در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با بار ثابت ۷۸/۵ کیلوگرم نیرو انجام می‌گرفت و آزمایش‌ها نیز با شرایط یکسان انجام شده و نتایج حاصل با استفاده از آزمون T مقایسه گردید که نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است. که با تجزیه و تحلیل داده‌ها اختلاف معنی‌داری در بین دستگاه‌ها مشاهده نمی‌شود. جدول ۱- مقایسه نتایج دستگاه نیمه اتوماتیک آزمون خزش با نتایج آزمون رئولوژی در دمای ۲۰ درجه سیلسیوس

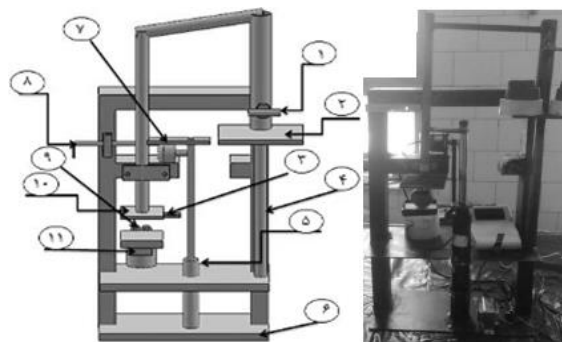
دستگاه آزمون رئولوژی	دستگاه آزمون خزش	نوع پارامترها
۳۲۶/۴۳	۳۲۰/۳۶ <sup>ns</sup>	$T_{rel} (s)$
۰/۷	۰/۷۳ <sup>ns</sup>	$\eta_k \left( \frac{KN \cdot min}{mm^2} \right)$
۳۵/۰۳	۳۵/۰۱ <sup>ns</sup>	$\eta_M \left( \frac{KN \cdot min}{mm^2} \right)$
۴۵	۴۴/۸ <sup>ns</sup>	$E_M (MPa)$
۱۳۱/۶۷	۱۳۱/۵۲ <sup>ns</sup>	$E_k (MPa)$

ns اختلاف معنی‌داری بین دو دستگاه از طریق آزمون T مشاهده نمی‌شود.

$T_{rel}$ : زمان رهایش (ثانیه)،  $\eta_k$ : ویسکوزیته قسمت الاستیک تأخیری (کیلونیوتن در دقیقه بر میلی‌متر مکعب)،  $\eta_M$ : ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی (کیلونیوتن در دقیقه بر میلی‌متر مکعب)،  $E_M$ : ضریب الاستیسیته آبی (مگاپاسکال)،  $E_k$ : ضریب الاستیسیته قسمت الاستیک تأخیری (مگاپاسکال) (روشنیان‌فرد و همکاران، ۱۳۹۲).

دستگاه آزمون رئولوژی محصولات باغی UTTM<sup>۳</sup>

دستگاه ساخته شده توسط سهرابی و همکاران دارای این مشخصات است، این دستگاه با دارا بودن مکانیسم لازم برای ثابت نمودن جابه‌جایی ( کرنش اعمالی به محصول) و ثبت تغییرات نیرو به زمان، برای انجام آزمون تنش آسیایی طراحی و ساخته شده، که در شکل ۴ اجزای دستگاه نشان داده شده است.



شکل ۴- دستگاه آزمون رئولوژی؛ (۱) پیچ قفل کننده، (۲) صفحه‌ی حامل بار، (۳) محل نصب تسمه، (۴) میله‌ی حامل، (۵) سلیندر میراکننده، (۶) قاب اصلی دستگاه، (۷) لودسل، (۸) صفحه‌ی بارگذاری، (۹) محل قرار دادن نمونه، (۱۰) دسته آزاد کننده، (۱۱) رمزگذاری چرخشی (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۲).

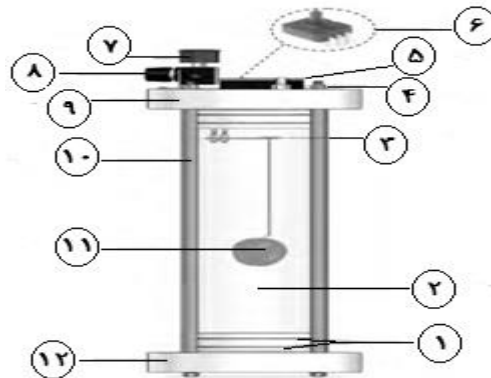
<sup>۳</sup> University of Tabriz Testing Machine



در دستگاه آزمون رئولوژیک امکان مشاهده و ثبت نمودار تغییر شکل (کرنش) در نمونه اندازه‌گیری شده نسبت به زمان و تحت بار ثابت (آزمون خزش) با دقت (۰/۰۱) میلی‌متر و همچنین امکان مشاهده و ثبت نمودار تغییرات نیرو در نمونه اندازه‌گیری شده نسبت به زمان تحت یک جابجایی ثابت (آزمون تنش آسای) را با دقت (۱) گرم نیرو را دارا می‌باشد (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۲).

دستگاه اندازه‌گیری حجمی با فشار هیدرواستاتیک

دستگاه ساخته شده توسط قاسمی و همکاران دارای این مشخصات است که مبانی روش ارائه شده برای اندازه‌گیری تراکم‌پذیری حجمی براساس اصل نیروی شناوری (ارشمیدس) استوار است. هنگامی که جسمی درون مایع غوطه‌ور می‌شود، نیروی شناوری برابر با حجم مایع جابه‌جا شده به آن وارد می‌شود. بر اساس اصول ذکر شده نیاز به دستگاهی برای اندازه‌گیری تغییرات (F-F<sub>0</sub>) در برابر (P-P<sub>0</sub>) بود. نمای کلی دستگاه طراحی شده در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- دستگاه اندازه‌گیری تراکم‌پذیری حجمی؛ (۱) آب‌بند، (۲) محفظه فشار از جنس آکرلیک، (۳) تیر یکسر درگیر، (۴) مجرای ورودی هوای فشرده از کمپرسور، (۵) واحد پردازش سیگنال و انتقال داده‌ها به کامپیوتر، (۶) حسگر فشار، (۷) فشارسنج مکانیکی، (۸) شیر کنترل فشار، (۹) درپوش بالایی، (۱۰) پیچ‌هایی نگهدارنده، (۱۱) نمونه مورد آزمایش، (۱۲) درپوش پایینی (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۱)

دستگاه شامل یک محفظه فشار با دیواره ضخیم از جنس آکرلیک، شیر فشارشکن، حسگر فشار، کرنش‌سنج‌ها، کمپرسور، واحد تقویت و پردازش سیگنال و یک کامپیوتر جهت نمایش و ثبت اطلاعات می‌باشد. نمونه مورد آزمون، از انتهای آزاد یک تیر یک سر درگیر آویزان و درون سیال غوطه‌ور می‌شود. برای اندازه‌گیری مقدار خمش تیر و تغییرات نیروی شناوری چهار کرنش‌سنج (FLA-3-11 ساخت کشور ژاپن) که مقاومت هر کدام از آنها ۱۲۰ اهم است، بر روی ریشه این تیر نصب این کرنش‌سنج‌ها تشکیل یک پل و تسون کامل را می‌دهند و نسبت به کرنش‌های حجمی حاصل از فشار هیدرواستاتیک حساس‌اند. نحوه نصب چهار کرنش‌سنج طوری است که مدار حاصل دارای ضریب ارتقای سیگنال چهار بوده و جبران دمایی را نیز ایجاد می‌کند. برای نگهداری نمونه‌هایی با چگالی کمتر از چگالی مایع در حالت غوطه‌وری درون سیال از یک بار مرده استفاده می‌شود.



از گوجه‌فرنگی برای ارزیابی دستگاه مذکور استفاده شده؛ که رفتار گوجه‌فرنگی پس از بارگذاری شبیه رفتار مواد ویسکوالاستیک وابسته به زمان است که این رفتار به دلیل ساختار سلولی و رطوبت بالای گوجه‌فرنگی است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۱).

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه مروری هدف آشنایی بیشتر با برخی دستگاه‌های آزمون رئولوژی محصولات کشاورزی، نحوه کارکرد آنها و همچنین چگونگی ارزیابی محصولات مورد آزمایش در این دستگاه‌ها می‌باشد. در دستگاه‌های توسعه یافته برای آزمایش خزش بایستی نیروی ثابتی از شروع تا پایان بر روی نمونه آزمایش اعمال گردد تا تغییر شکل به وجود آمده، محاسبه شود. تقریباً در همه دستگاه‌های مورد مطالعه از الگوی یکسانی برای محاسبه کرنش و تنش در طی زمان معین استفاده شده است.

### منابع

۱. افکاری سیاح، ا.ح. مینایی، س. ۱۳۸۸. مبانی بررسی و ارزیابی ضایعات مکانیکی در محصولات کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اردبیل.
۲. روشیان فرد، ع. شاهقلی، غ. عباسپور گیلانده، ی. گلمحمدی، ع. ۱۳۹۲. طراحی و ساخت دستگاه نیمه اتوماتیک آزمون خزش برای مواد ویسکوالاستیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل.
۳. ساهین، س. سومنو، س. برگردان کنندگان؛ جعفری، س.م. کاشانی نژاد، م. ۱۳۸۹. ویژگی‌های فیزیکی مواد غذایی. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۴. سهرابی، ن. قاسم‌زاده، ح.ر. بهفر، ح. ۱۳۹۲. طراحی و ساخت دستگاه آزمون رئولوژی محصولات باغی. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.
۵. 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 ۴. شماره ۲. صفحه ۳۰۵-۳۱۳.
۶. قاسمی، ع. صادقی، م. گودرزی، ا. رستم‌زاده، م. ۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی اندازه‌گیری تراکم پذیری حجمی، سفتی و درجه رسیدگی میوه‌جات. هفتمین کنگره مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دانشگاه شیراز.

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

8. O'Brien, M. Friedly, R.B. Claypool, L.L. 1976. Food losses in harvesting systems for fruits and vegetables. Transactions of the ASAE. Vol. 21 (5). pp. 386 – 390.





نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## **A review of the developed devices to rheological test of agricultural viscoelastic products**

### **Abstract**

Mechanical lesions only makes up part of the total losses of agricultural products, but due to the abundance of this type of lesions in the country, this sector also makes considerable damage to the national economy. The knowledge of the fundamentals of mechanical damage and scientific investigation of the phenomenon of grain products, fruit and vegetables is of great significance. Rheology is the study of the deformation and flow. Based on the science of rheology, mechanical behavior of a material can be based on three factors: force, deformation (strain) and time stated. The results of the tests and methods of force (impact, static load and vibration), duration of loading, moisture content of the product, the intensity of load, the temperature of the product, figure, depending on the internal structure of the sample. This paper reviews some of the devices in evaluation of rheological properties of agricultural viscoelastic products. The purpose of this study was to learn more about the devices and their function.

Keywords: rheology, viscoelastic, rheological testing devices, deformation