طراحی و ساخت دستگاه آزمون رئولوژی محصولات باغی

نگین سهرابی[1*]، حمیدرضا قاسم‌زاده[2]، حسین بهفر[3]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

SNegin.Sohrabi@Gmail.com

۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز

چکیده

هدف پژوهش حاضر طراحی و ساخت دستگاه آزمون‌های تنش آسایی و خزش محصولات باغی می‌باشد. آزمون‌های تنش آسایی و خزش از جمله آزمون‌های رئولوژیک تعیین کننده ویژگی‌های بافت محصولات ویسکوالاستیک می‌باشند. دستگاه آزمون رئولوژیک طراحی و ساخته شده امکان مشاهده و ثبت روی خط کرنش رخ داده در محصول با زمان تحت بار ثابت (آزمون خزش) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر را دارا می‌باشد. همچنین امکان مشاهده و ثبت روی خط تغییرات نیرو با زمان تحت یک جابجایی ثابت اعمال شده به محصول (آزمون تنش آسایی) را با دقت ۱ گرم نیرو را دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی: رئولوژی، خزش، ویسکوالاستیک، تنش آسایی

مقدمه

محصولات کشاورزی در مراحل مختلف برداشت، حمل و نقل و فرآوری تحت اثر نیروهای مختلف قرار می‌گیرند. در بسیاری از موارد این نیروها موجب ایجاد صدمه در محصول می‌گردند (محمدی آیلار و همکاران، ۱۳۹۰). ایجاد صدمه موجب کاهش کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود، که اولین عامل در افزایش ضایعات و پایین آمدن ارزش بازاری این محصولات می‌باشد (بهروزی‌لار، ۱۳۹۱). میزان صدمه به نحوه بارگذاری و با توجه به بافت ویسکوالاستیک محصولات کشاورزی به ویژگی‌های رئولوژیکی آنها بستگی دارد (Mohsenin, 1986). همچنین مطالعه‌ی ویژگی‌های رئولوژیکی محصولات کشاورزی برای درک روابط بین ساختار محصول، بافت، ترکیبات شیمیایی و تغییرات اعمال شده در جریان فرآوری بر رفتار محصول یکی از نیازهای مهم برای طراحی سیستم‌های برداشت، بسته‌بندی و فرآوری می‌باشد (غفاری و همکاران، ۱۳۹۱).

روش‌های انتقالی که مهمترین آنها آزمون‌های کرنش بر حسب زمان (خزش) و تنش بر حسب زمان (تنش آسایی) می‌باشد، از جمله مهمترین و پرکاربردترین روش‌ها برای تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی مواد ویسکوالاستیک می‌باشد. تغییرات کرنش (یا تغییر

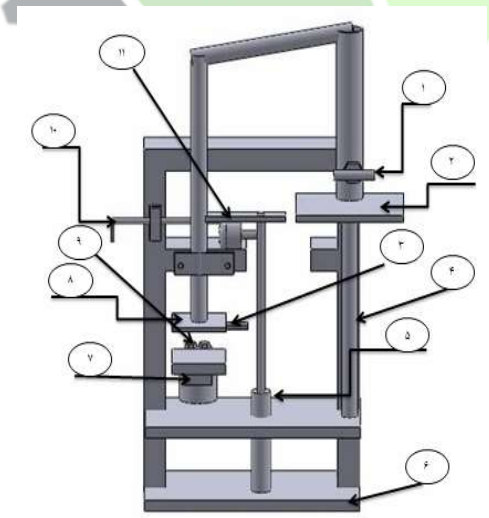
شکل) در یک جسم با گذشت زمان و تحت تأثیر یک تنش ثابت را خزش می‌گویند. بنابراین در این آزمون به جسم تنش ثابت وارد می‌شود و میزان تغییر شکل ایجاد شده با زمان ثبت می‌شود (قنبرزاده، ۱۳۸۸). در آزمون تنش آسایی جسم تحت تغییر شکل ثابت قرار می‌گیرد و اجازه داده می‌شود با گذشت زمان تنش کاهش یابد (Mohsenin, 1986). متغیرهای مورد اندازه‌گیری در آزمون-های خزش و تنش آسایی عبارتند از : نیرو، تغییر شکل (جابجایی) و زمان که روش اندازه‌گیری آنها روش چندگانه می‌باشد. روش‌های چندگانه ارتباط بین سه متغیر زمان، تغییر شکل و نیرو را با هم بیان می‌کند، دستگاه‌های موجود برای اندازه‌گیری به روش چندگانه تحت عنوان دستگاه‌های آزمون یونیورسال UTM شناخته می‌شوند که یک مثال مشهور از آنها اینسترون می‌باشد (Bourne, 2002). دستگاه اینسترون برای اندازه‌گیری تغییرات نیرو در موقع جابه‌جایی پیشانی، اوج نیرو و آزمون تنش آسایی مناسب است، اما برای انجام آزمون خزش نیاز به تجهیزات اضافی دارد (Cenkowski *et al* , 1991). هزینه خرید این تجهیزات در کشور ایران با هزینه خرید دستگاه اینسترون تقریباً برابر است. همچنین با توجه به محدودیت دسترسی و وارداتی بودن دستگاه مذکور، و قیمت ارزی بسیار بالای این نوع دستگاه‌ها به طراحی و ساخت دستگاه آزمون‌های تنش آسایی و خزش پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

آزمون‌های تنش آسایی و خزش از جمله آزمون‌های مرجع در بررسی خواص بافت محصولات ویسکوالاستیک می‌باشند. بررسی‌های انجام شده نیاز به ساخت دستگاه جهت انجام آزمون‌ها فوق برای محصولات باغی را مشخص نمود. پس از تعیین مسئله و بررسی محدودیت‌های ساخت و همچنین توجه به این مهم که دستگاه مورد نظر برای کار در محیط آزمایشگاه می‌باشد، که این امکان را فراهم می‌آورد دستگاه بتواند با رایانه جهت ثبت اطلاعات ارتباط برقرار نماید. همچنین با توجه به اینکه دستگاه-های مشابه (اینسترون) برای تعیین ویژگی‌های بافت محصولات کشاورزی رو میزی می‌باشند هندسه انتخاب شده برای دستگاه مناسب رومیزی بودن آن است. طرح اولیه دستگاه در محیط نرم افزار Solid Works 2012 طراحی گردید (شکل ۱). در طراحی اولیه این امر مورد توجه قرار گرفت که دستگاه امکان ثابت نگهداشتن بار اعمالی (آزمون خزش) و همچنین کرنش رخ داده در محصول (آزمون تنش آسایی) را داشته باشد. ابتدا قطعات طرح هر کدام به صورت جداگانه در محیط Part نرم افزار ترسیم شد. سپس در بخش Assembly قطعات مونتاژ شده و در قسمت Drawing نقشه‌ها با فرمت pdf استخراج شد. پس از اطمینان یافتن از کاربردی بودن طرح، طرح نهایی بازبینی، اصلاح و بهینه سازی شد. سپس ساخت قسمت‌های مختلف اسکلت، سیستم‌های حرکتی و برنامه نویسی و طراحی مدارات الکترونیکی انجام گرفت. ساخت قسمت مکانیکی دستگاه در مدیریت امور فنی دانشگاه تبریز و با همکاری این واحد انجام شد.

قسمت مکانیکی

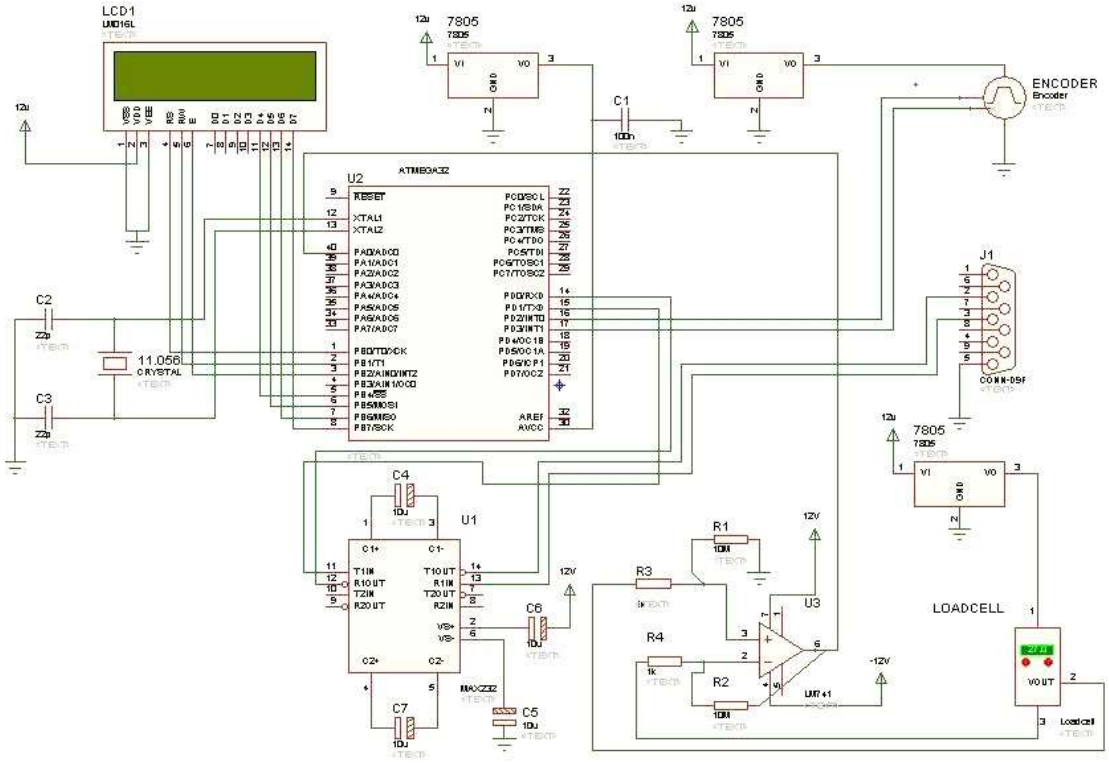
برای ساخت قسمت مکانیکی از فولاد ساختمانی استفاده شد. قسمت مکانیکی دستگاه شامل یک قاب (۶)، یک سیلندر (۵)، صفحات حامل بار (۲) و بارگذاری (۸) می‌باشد. صفحه‌ی حامل بار صفحه‌ای می‌باشد، که وزنه‌ها روی آن قرار داده می‌شوند. این صفحه بوسیله‌ی یک میله به صفحه‌ی بارگذاری که محصول زیر آن قرار می‌گیرد متصل گردید. صفحه‌ی حامل بار روی یک میله (۴) سوار شد به گونه‌ای که میله نقش حامل را برای آن داشته و این صفحه را با استفاده از یک پیچ قفل کننده (۱) تعبیه شده در بالای آن بتوان در هر موقعیت مورد نظری روی میله تثبیت نمود. صفحه‌ی بارگذاری به انتهای یک میله با استفاده از اتصال جوشی متصل شد. جهت جلوگیری از اعمال بار ناگهانی روی محصول میله‌ی متصل به صفحه‌ی بارگذاری، بوسیله اتصال جوشی به سر پیستون یک سیلندر (۵) (به علت صرفه جویی در هزینه کمک فنر دست دوّم استفاده شد) متصل گردید. جهت ثبت جابجایی صفحه‌ی بارگذاری (کرنش رخ داده در محصول) رمزگذار چرخشی (۱۱) انتخاب گردید. برای تبدیل جابجایی خطی به جابجایی چرخشی در محصول از مکانیسم تسمه و چرخدنده استفاده شد. به این صورت که یک میله فولادی کوچک (۳) به صفحه‌ی بارگذاری متصل و یک تسمه لاستیکی دور میله ثابت گردید و روی محور رمزگذار چرخشی یک چرخدنده پلاستیکی بنحوی که دندانه‌های آن با تسمه لاستیکی دارای گام برابر می‌باشد سوار شد. برای ثبت تغییرات نیرو در زیر محصول یک لودسل (۷) از نوع تیر یک سر گیردار قرار دارد. یک قطعه‌ی از جنس پلاستیک صنعتی سیلیکون تفلون در روی قاب دستگاه به عنوان پایه برای لودسل استفاده شد.



شکل ۱. نقشه دستگاه. ۱– پیچ قفل کننده، ۲– صفحه‌ی حامل بار، ۳– محل نصب تسمه، ۴– میله‌ی حامل، ۵– سیلندر میراکننده، ۶– قاب اصلی دستگاه، ۷– لودسل، ۸– صفحه‌ی بارگذاری، ۹– محل قرار دادن نمونه، ۱۰– دسته آزاد کننده، ۱۱– رمزگذار چرخشی

قسمت الکترونیکی

قسمت الکترونیکی شامل یک میکروکنترلر AVR، یک لودسل، یک رمزگذار چرخشی و پروتوکل ارتباطی RS232 می‌باشد. شکل (۲) مدارات دستگاه در محیط شبیه‌ساز Proteus 7 Professional را نشان می‌دهد که ابتدا در این نرم افزار شبیه سازی انجام شد.



شکل ۲. مدارات الکترونیکی دستگاه

میکروکنترلر انتخاب شده از نوع ATmega32 می‌باشد. برنامه لازم برای میکروکنترلر در محیط نرم‌افزار CodeVisionAVR Evaluation V2.05.0 نوشته شد. ولتاژهای کاری این تراشه ۴/۵ تا ۵/۵ ولت می‌باشد، که برای دستیابی به این سطح ولتاژ از رگولاتور 7805 استفاده شد. میکروکنترلر ATmega32 پروتوکل ارتباطی RS232 را که برای ارتباط دستگاه با رایانه انتخاب شده بود، پشتیبانی می‌کند. برای تبدیل سطوح ولتاژ مدار (TTL) به سطح ولتاژ استاندارد RS232 از قطعه‌ی الکترونیکی Max232 استفاده شد.

برای اندازه‌گیری نیرو، لودسل نوع میله‌ای شرکت زمیک[1] مدل L6D-C3-10Kg-0.4B انتخاب گردید. خروجی لودسل بسیار کوچک است برای تقویت سازی آن از تقویت ساز با بهره‌ی هزار استفاده شد. برای تبدیل مقادیر آنالوگ خروجی لودسل به دیجتال با توجه به

[1] ZEMIC

اینکه خروجی پل وتستون یک خروجی دیفرانسیلی می‌باشد، با استفاده از امپلی‌فایر مقایسه کننده ابتدا این دو پایه از هم تفریق و اختلاف آنها با یک سیم وارد دیجیتال ساز تک پورته میکروکنترلر شد. سپس کالیبراسیون لودسل انجام شد.

برای سنجش جابه‌جایی از رمزگذار استفاده شد. رمزگذار چرخشی افزایشی شرکت اتونیکس[2] مدل E50S8-2500-6-L-5 انتخاب گردید. رمزگذار انتخابی دارای ۶ فاز بود که از این ۶ فاز ۳ فاز مثبت و ۳ فاز منفی است. فاز منفی برای تشخیص ۰ و ۱ می‌باشد. دو از فاز دیگر برای لبه‌های بالا رونده و پایین رونده هستند، که این دو فاز با هم دارای اختلاف فاز ۹۰ درجه می‌باشند. برای جلوگیری از ایجاد اختلال در کار جاری میکروکنترلر، جهت شمارش تعداد خروجی رمزگذار از وقفه استفاده شد، یعنی میکرو روال عادی خود را پی می‌گیرد هر وقت دچار تغییراتی شد از روال عادی خارج شده وارد حلقه وقفه می‌شود، در برنامه نویسی وقفه، می‌توان حساسیت وقفه‌ها را به یکی از حالت‌های بالا رونده یا پایین رونده تعریف کرد در میکروکنترلر AVR می‌توان حساسیت را به هر دو حالت تنظیم کرد که در این حالت دقت رمزگذار دو برابر می‌شود. رمزگذار انتخاب شده دارای دو خروجی A و B است و در طرح حاضر از هر دو خروجی استفاده شد در نتیجه دقت کاری رمزگذار چهار برابر یعنی ۱۰۰۰۰ پالس در دور شد. سپس کالیبراسیون رمزگذار انجام شد. به این صورت که جابجایی یک سانتیمتر به صفحه‌ی بارگذاری اعمال و تعداد پالس‌های خروجی به ازای آن از نمایشگر تعبیه شده در مدار خوانده شد.

برای ارتباط دستگاه با رایانه از نرم‌افزار متلب استفاده شد. ابتدا پورت سریال COM1 برای ورودی RS232 تعریف شد تنظیمات با استفاده از دستور set برای هماهنگی Baud Rate انجام و ارتباط سریال توسط fopen باز شد. داده‌ها به صورت کاراکتر توسط رایانه دریافت می‌شود و به صورت داده بُرداری در آمده و به صورت دو متغیر در محیط نرم‌افزار متلب ذخیره می‌شود. با توجه به اینکه عمل گرفتن داده در نرم‌افزار متلب صورت می‌گیرد زمان گرفتن داده‌ها توسط نرم‌افزار کنترل شده در نتیجه زمانی میکروکنترلر داده را برای رایانه می‌فرستد که رایانه از میکروکنترلر درخواست داده می‌کند و این امکان درج زمان را نیز فراهم می‌کند. برای ثبت زمان از ساعت داخلی رایانه و دستور Pause در نرم‌افزار متلب استفاده گردید. در دستور نوشته شده در متلب زمان صرف شده برای اجرای سیکل برنامه لحاظ گردید. طراحی قسمت الکترونیکی دستگاه و بستن مدارات آن در آزمایشگاه برق و اندازه‌گیری گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت.

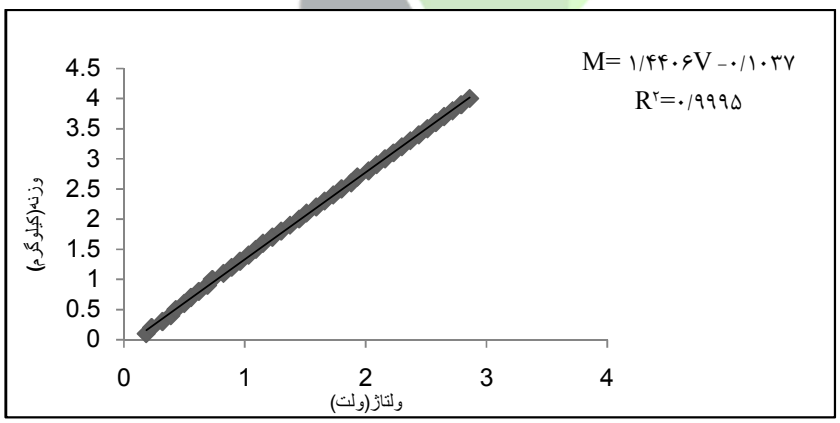
نتایج و بحث

با توجه با اینکه هدف از پژوهش حاضر ساخت دستگاه آزمون‌های تنش آسایی و خزش می‌باشد دستگاه آزمون رئولوژی UTTM[3] ساخته شد (شکل ۳).

[2] Autonics
[3] University of Tabriz Testing Machine

شکل ۳. دستگاه آزمون رئولوژی UTTM

این دستگاه با دارا بودن مکانیسم لازم برای ثابت نمودن جابجایی (کرنش اعمالی به محصول) و ثبت تغییرات نیرو نسبت به زمان مناسب برای انجام آزمون تنش آسایی می‌باشد. چانگ و مارتین (۱۹۸۳) همچنین برای بررسی خواص رئولوژیک گرد و غبار غلات در سیلوهای ذخیره سازی آنها از مکانیسمی مشابه برای ثابت نمودن جابجایی استفاده کردند. پس از کالیبراسیون لودسل بکار رفته در این دستگاه مشاهده گردید که پاسخ آن در محدوده‌ی لازم برای محصولات باغی (که با توجه به جعبه‌های حمل و نقل این محصولات بیشینه باری که روی هر محصول قرار می‌گیرد حدوداً ۴ کیلوگرم می‌باشد) خطی می‌باشد (شکل ۴). خطی بودن پاسخ لودسل با توجه به مشخصات آن نیز تأیید گردید.



شکل ۴. منحنی کلیبراسیون لودسل

دستگاه برای ثبت تغییر شکل رخ داده در محصول مجهز به رمزگذار چرخشی است که پس از کالیبراسیون رمزگذار مشخص گردید دقت آن ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد. همانطور که در بررسی‌های انجام شده توسط سایر محققین بر ویژگی‌های بافت محصولات کشاورزی انجام شده است دقت دستگاه آزمون رئولوژی UTTM برای انجام آزمون خزش محصولات باغی مناسب است. طراحی قسمت الکترونیکی بصورتی می‌باشد که امکان مشاهده و ثبت روی خط[4] داده‌ها با دقت قابل قبول (۰/۰۱ میلی‌متر در آزمون خزش و ۱ گرم نیرو در آزمون تنش آسایی) برای آزمون رئولوژیکی محصولات کشاورزی باغی فراهم آمده است. از اینرو سیستم الکترونیکی دیجیتالی برای دستگاه آزمون رئولوژی محصولات کشاورزی مناسب است. روشنیان‌فرد و همکاران (۱۳۹۲) همچنین نشان دادند که سیستم دیجیتالی برای افزایش کارآیی دستگاه‌های آزمایشگاهی بسیار مفید است. از مهمترین مزایای دستگاه آزمون رئولوژی سادگی مکانیزم‌های آن و بسیار پایین بودن هزینه‌های ساخت آنها می‌باشد. همچنین سادگی و پایین بودن هزینه قسمت الکترونیکی آن و در عین حال دقت قابل قبول، که با توجه به نتایج محققین برای آزمون رئولوژی محصولات کشاورزی ارائه داده-اند، مناسب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

دستگاه‌های مناسب برای انجام آزمون‌های تنش آسایی و خزش در کشور ایران با توجه به وارداتی بودن آنها بسیار هزینه بر، برای واحدهای تحقیقاتی می‌باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که امکان طراحی و ساخت این دستگاه‌ها با هزینه‌ای بسیار کمتر از هزینه ارزی آنها در کشور ایران فراهم می‌باشد، و طرح دستگاه آزمون رئولوژی UTTM یک طرح مناسب برای این دستگاه‌ها می-باشد. دستگاه فوق توسط تیم طراح و سازنده برای انجام آزمون‌های تنش آسایی و خزش چند محصول کشاورز ی از جمله: گوجه-فرنگی، هلو و گلابی مورد استفاده قرار گرفت.

منابع

۱- سریواستاوا، ا.، گورینگ، ک.، و روروباک، ر. ترجمه: بهروزی لار، م. ۱۳۹۱. اصول طراحی ماشین‌های برداشت و سیستم انتقال مواد جلد سوم. انتشارات سروا (ترجمه و تألیف).

۲- روشنیان‌فرد، ع.، شاهقلی، غ.ح.، عباسپور گیلانده، ی.، و گلمحمدی، ع. ۱۳۹۲. طراحی و ساخت دستگاه نیمه اتوماتیک آزمون خزش برای مواد ویسکوالاستیک. ششمین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی، استان کردستان، سنندج.

۳- غفاری، ع. ا.، کامگار، س.، نصیری، س. م.، زارع، د.، و زمردیان، ع. ر. ۱۳۹۱. تعیین خواص ویسکوالاستیک خرما (رقم مضافتی) در رطوبت‌های مختلف محصول. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، استان فارس، شیراز.

[4] On line

۴- قنبرزاده، ب. ۱۳۸۸. مبانی رئولوژی مواد و پلیمرهای غذایی. انتشارات دانشگاه تهران (تألیف).

۵- محمدی آیلار، س. ا.، مینایی، س. و افکاری سیاح، ا. ح. ۱۳۹۰. بررسی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی تحت بارگذاری فشاری طی مراحل مختلف رسیدگی پس از برداشت. مجله مهندسی بیوسیستم ایران جلد دوم، شماره چهل‌وسوم ص. ۱۹۶-۱۹۱.

6-Bourne, M. 2002. Food Texture and Viscosity: concept and Measurment. Elsevier Science & Technology Books.

7-Cenkowski, S., J. Bielewicz, and M. Britton. 1991. A Single Kernel Creep and Recovery Test. American Society of Agricultural Engineers. 91: 2484-2490.

8-Chang, C., and S. Martin. 1982. Rheological Properties of Grain Dust. Transaction of the ASAE. 81: 1249-1256.

9-Mohsenin, N. 1986. Physical properties of plant and animals. Gordon and Breach Science Publishers.

Design and Construction Rheological Testing Machine for Horticultural Products

Negin sohrabi*, Hamid reza Ghassemzadeh, Hussain Behfar

Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

The purpose of this study is design and construction testing machine for stress relaxation and creep tests of horticultural products. The stress relaxation and creep tests are tests to determine rheological texture properties of viscoelastic material. Rheological test machine is able to observe and record the strain occurred in the product under a constant load (creep test) with an accuracy of 0/01 mm. Also is able to observe and record changes of force with time under constant applied displacement in product (stress relaxation test) with an accuracy of 1 gram force.

Keywords: Rheology, Creep, Viscoelastic, Stress relaxation.