تعیین مدول الاستیسیته سیب محلی مراغه و مدل رئولوژیکی آن

حسین جفتکار[1] ، داود کلانتری[2] ،حسین نجفی[3]

1و2و3- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، کیلومتر 9 جاده دریا

(dkalantari2000@yahoo.com)

چکیده

اهمیت بررسی مدول الاستیسیته میوه جات برای کارهای کشاورزی از جمله برداشت، حمل ونقل وفراوری به وضوح مشخص شده است. برای انجام آزمایشات از یک دستگاه ساده با یک صفحه ی ثابت درزیر ویک صفحه متحرک برای اعمال تنش وکرنش وارد بر نمونه سیب استفاده شد. برای اعمال تنش، نمونه ها به صورت نیمکره بریده شدند وشعاع انحنای مینیمم وماکزیمم آنها ازطریق عکس برداری وانتقال به فضای نرم افزار paint بدست آمد. حین انجام آزمایش دما و رطوبت نیز اندازه گیری شد. آزمایش اول به صورت کرنش ثابت بود که یک ماده گرانول مانند(با جرم دانه ای وچگالی مشخص) به جای وزنه استفاده شد. دبی وزن ریخته شده ماده گرانولی به صورتی بود که کرنش مورد انجام آزمایش برحسب زما ن تقریبا ثابت درنظر گرفته می شدو تنش به صورت فرمول $\sigma(t)=ae^{-\alpha t}+b$ (باتجزیه وتحلیل ریاضی) بدست آمده و مدول الاستیسیته برای نیروهای مختلف توسط جدولی ارائه شد . آزمایش دوم به صورت تنش ثابت بود که برای بررسی تاثیرات زمانی تنش (خزش) انجام گردید که نتیجه این آزمایش با تجزیه وتحلیل ریا ضی در نرم افزار matlab درنهایت به رابطه $\varepsilon(t)=-0.000038e^{-0.3559t}+0.0063t+0.0329$ منجر شد. نتایج حاصل از آزمایشات این مقاله با تحقیقات قبلی انجام شده در این زمینه مطابقت دارد.

کلمات کلیدی: سیب محلی مراغه، مدول الاستیسیته، مدل رئولوژیکی، تنش، کرنش.

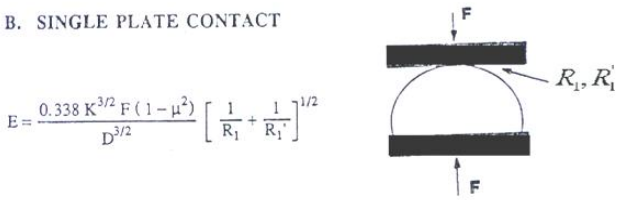
مقدمه

درطول انجام بیشتر عملیات زراعی (بذرکاری، نهال کاری، برداشت و...)، محصولات کشاورزی تحت تاثیر عوامل مکانیکی (نیروها) قرار می گیرند. یک نیرو همیشه همراه با تغییرشکل است . گاهی این تغییر شکل زیاد (همراه با بریدگی،گسیختگی وفشردگی)وگاهی کمتر بوده و خساراتی ایجاد نمی کند . مقاومت مکانیکی (فشاری،کششی وبرشی) محصولات در اینجا نقش مهمی بازی می کند. خواص مکانیکی مواد رفتار آنها راتحت تاثیر نیروها مشخص می کند. نیرویی که بر یک ماده اثرمی کند، سبب تغییر شکل وجریان خزش در آن می شود . طبیعت نیروها اولین عامل در انتخاب جسم برای موارد مفروض است. تغییر شکل وجریان(خزش) دربعضی محصولات کشاورزی علاوه بر طبیعت نیروهابه زمان نیز بستگی دارد. گیاهان ومحصولات کشاورزی موجودات زنده ای هستند که ترکیبات ومقدار آب وبافتهای آن ها به طور مداوم درزمان رشد ونمو،رسیدن وانبار کردن درحال تغییر است . بافت موجودات زنده دربرابرعواملی ازقبیل رطوبت، دما، موجودی اکسیژن ومواد غذایی عکس العمل نشان می دهد .کافی است که اثرهوای خشک وگرم را در گیاهان درنظر بگیریم که قابلیت کشسانی خود را از دست می دهند وبه عبارت دیگر خشک می شوند. درنتیجه خواص مکانیکی وبیولوژیکی مواد به عوامل متعددی بستگی دارد . اغلب روابط بین این عوامل هنوزبخوبی شناخته نشده اند، زیرا مواد بیولوژیکی مجموعه های بیومکانیکی باساختمان خیلی پیچیده ای راتشکیل می دهند که رفتار آنها را باثابت های ساده فیزیکی مانند فولاد نمی توان مشخص کرد.

یکی از خواص قابل توجه محصولات کشاورزی این است که رابطه تنش - تغییر شکل در آنها بستگی به سرعت تغییر شکل می دهد یعنی باید در معادله تنش - تغییر شکل عامل زمان را در هم دخالت داد . موادی که تغییر شکل آنها بستگی به زمان دارد مواد چسبسان نامیده می شوند. این مواد رئولوژیک بخشی از خواص جامدات و بخشی از خواص مایعات را دارند. در برخی مواد که به کندی تحت تأثیر نیرو قرار می گیرند ، نسبت تنش - تغییر شکل به بزرگی تنش بستگی نداشته فقط تابع زمان است . آنها را مواد چسبسان خطی می نامند . در خیلی از محصولات کشاورزی نسبت تنش - تغییر شکل به بزرگی تنش - زمان بستگی دارد و بخش بزرگی از تغییر شکل بعد از باربرداری حذف نمی شود و آنها را مواد چسبسان غیر خطی می نامند.
در همین راستا در کار تحقیقاتی حاضر بررسی رفتار و خاصیت چسبسانی سیب محلی مراغه در دو حالت مختلف خزش(تغییر شکل پیوسته تحت تأثیر یک تنش ثابت) و واهلش (کاهش پیوسته تنش در هنگام تغییر شکل ثابت ، برحسب زمان) بطور تجربی و تحلیلی بررسی و مدل رئولوژیکی آن ارائه می گردد.

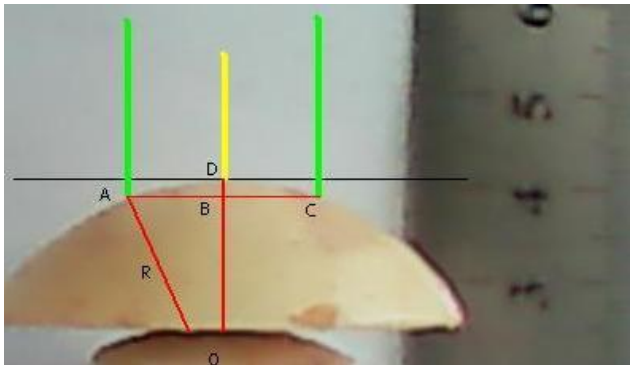
مواد و روش ها :

آزمایش در دو مرحله کرنش ثابت و تنش ثابت انجام شد . در آزمایش کرنش ثابت برای ثابت نگه داشتن سرعت تغییر شکل از یک ماده ی گرانولی مانند (نخود) استفاده شد. برای جلوگیری از خطا در محاسبه طول تغییر شکل به واسطه ی تغییرات تراز صفحه بالایی، از علامت گذاری در 4 قسمت میله و میانگین گرفتن از تغییرات به وجود آمده استفاده شد.مدول الاستیسیته صفحه اعمال فشار دستگاه (پلی اتیلن) E=3 GPa در نظر گرفته شد.
در شکل 1 روش مورد استفاده در تحقیق حاضر برای بدست آوردن مدول الاستیسیته نشان داده شده است . جزئیات بیشتر روشهای تست در استاندارد ASAE S368 تشریح شده است. مدول های الاسرتیسیته بدست آمده برای مشخصه های از نمونه از جمله میزان رطوبت- درجه حرارت و شیوه ی وارد کردن نیروها نیز متغیراست.



شکل1 : روش های تعیین مدول الاستیسیته میوه جات و بذور

نسبت پواسن مورد استفاده برای میوه جات 0.37-0.4 می باشد که در این آزمایش ضریب پواسون نمونه سیب ها $\upsilon = 0.38$ انتخاب گردید. قبل از آزمایش باید شعاع انحناهای سطح تماس نمونه با صفحه ی بالا باید تعیین شود. در تحقیق حاضر توسط عکس برداری از نمونه بریده شده همراه با خط کش دقیق درنماهای مختلف و تغییرات در طول، توسط تغییرات طول پیکسلهای نرم افزار PAINT بدست آمد . (شکل2)



شکل 2: نحوه بدست آوردن شعاع انحنا در نرم افزار PAINT

شروع عملیات بارگذاری بصورت کرنش ثابت بود ، سرعت بارگذاری در آزمایشاتی از این نظیربین 2.5-30 mm/min می باشد که با فرض 3 mm/min آزمایش را ادامه دادیم . در اینجا به خاطر نبود امکانات لازم برای تعیین دقیق سرعت بارگذاری ازیک ماده ی گرانولی مانند (نخود) با چگالی و جرم دانه ای مشخص استفاده شد . میزان تغییرات که به اندازه 3میلی متر در یک دقیقه در سیب پدید آمد به اندازه استفاده از 3 کیلو گرمی از ماده ی گرانولی بود . بنابراین با توجه به شناخت قبلی از اینکه تنشهای وارده یک تابع نزولی است این 3 کیلوگرم را هر 10 ثانیه بصورت دبی های مختلف بصورت نزولی در سطل پلاستیکی که با وزن بسیار ناچیز درروی صفحه ی بالایی قرار داشت ریختیم. نتایج حاصل از سرعت تغییر شکل ها مطلوب بودن روش را نشان داد، چون که تغییرا ت کرنش با زمان تقریبا در یک رنج ثابت بود. میزان تغییر شکل ها نیز از طریق علامت گذاری بر چهار میله دستگاه و میانگین گرفتن از تغییر شکل ها بدست آمد. عملیات بصورت پیوسته و یکنواخت انجام شد تا تأثیرات خزش خود را نمایان نسازد. جدول 1بیانگر داده های آزمایشات کرنش ثابت است .(تابستان 89- دما c 25)

جدول1: داده های بدست آمده برای مرحله کرنش ثابت

زمان (ثانیه)	0	10	20	30	40	50	60
نیرو(تجمعی) F (N)	0.5	3.5	6	8	9.25	10.25	10.5
قطر d_a	0	4.68	8.58	11.94	14.88	17.22	19.02
d_b	0	4.32	7.92	11.64	14.94	17.40	19.5
d_c	0	3.42	6.48	9.96	13.2	16.08	18.36
υ	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
$E_a (\times 10^4)$	_	4.3974	3.0368	2.4665	2.0499	1.8246	1.6102
$E_b (\times 10^4)$	_	4.8654	3.36	2.5144	1.9994	1.7627	1.5220
$E_c (\times 10^4)$	_	6.9051	4.5387	3.1757	2.4067	1.9835	1.6654
A_a	_	0.0111	0.0151	0.0178	0.0198	0.0213	0.0224
B_a	_	0.0108	0.0147	0.0173	0.0193	0.0208	0.0218
a_b	-	0.0112	0.0151	0.0183	0.0207	0.0224	0.0237
b_b	-	0.0103	0.0140	0.017	0.0192	0.0207	0.0219
a_c	-	0.0097	0.0133	0.0165	0.0190	0.0210	0.0224
b_c	-	0.0094	0.0130	0.0161	0.0185	0.0205	0.0219
$\sigma_a (\times 10^4)$	-	1.3879	1.2985	1.2446	1.1550	1.1061	1.0259
$\sigma_b (\times 10^4)$	-	1.4501	1.3568	1.2314	1.1096	1.0558	0.9652
$\sigma_c (\times 10^4)$	-	1.1269	1.6540	1.4354	1.2526	1.1397	1.0226

آزمایش دوم به صورت تنش ثابت بود که در آن از یک وزنه 0.5 کیلوگرمی استفاده شد. این وزنه برروی صفحه متحرک دستگاه قرار گرفته شد و میزان میانگین تغییر شکل از طریق علامت گذاری برروی میله ی دستگاه با فاصله زمانی 5 دقیقه و به مدت 30 دقیقه انجام شد و داده های زیر بدست آمد.

جدول2: داده های بدست آمده برای مرحله تنش ثابت

زمان (s)	قبل از بارگذاری	0	5	10	15	20	25	30
F(N)	0.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
فاصله صفحات نمونه E(mm)	25.72	25.46	24	21.56	18.68	15.85	13.37	4211.
فاصله صفحات نمونه F(mm)	26.40	26.20	24.64	22.10	19.12	16.28	13.73	11.50
فاصله صفحات نمونه G(mm)	23.05	22.85	21.53	19.29	16.71	14.20	12.01	10.13
ε_E	0	0.0101	0.0573	0.1016	0.1335	0.1515	0.1564	0.1593
ε_F	0	0.0075	0.0595	0.1031	0.1348	0.1485	0.1566	0.1624
ε_G	0	0.0087	0.0577	0.1040	0.1337	0.1502	0.1542	0.1565
ε_{ave}	0	0.0088	0.0582	0.1029	0.1340	0.1501	0.1557	0.1594

نتایج و بحث :

بطور معمول برای بررسی رفتار یک ماده چسبسان از ترکیب فنر و میراگر استفاده می شود که دستگاه مکانیکی حاصل را مدل رئولوژیکی می نامند. با اتصال سری یا موازی فنر و کمک فنر می توان دو دستگاه ساده مثل مدلهای ماکسول (اتصال سری فنر و میراگر) و کلوین (اتصال موازی فنر و میراگر) بدست آورد.

درآزمایش کرنش ثابت($d\varepsilon/dt = 0$) بررسی مقدماتی روی داده ها ی نشان داده شده در جدول 1 ، مارا به سمت مدلی بصورت $\sigma(t) = ae^{-\alpha t} + b$ سوق می دهد . برای تعیین مقدار ثابت b داریم

$$\lim_{t\to\infty}\sigma(t) = b \Rightarrow b = \sigma_{last}$$

برای تجزیه و تحلیل داده ها و رسیدن به رابطه اصلی، از طرفین ln می گیریم

$$\ln\left(\sigma_{(t)} - \sigma_{(last)}\right) = \ln a - \alpha t \Rightarrow \sigma = A - \alpha T$$

که عبارت بدست آمده یک رابطه خطی است وداریم:

$$\alpha = \frac{S_{t\sigma}}{S_{tt}}$$

$$A = \overline{\sigma} - \alpha\overline{T}$$

با تجزیه وتحلیل داده ها وفرض $\sigma_{last}=0$ خواهیم داشت:

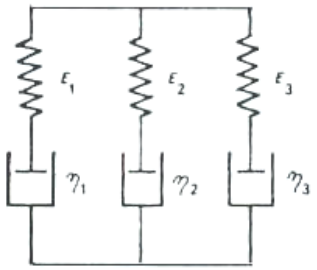
$$\begin{cases}\sigma_{(t)_A}=1.4716e^{-0.0059t} & r=\%99.62\\ \sigma_{(t)_B}=1.5796e^{-0.0083t} & r\approx\%100\\ \sigma_{(t)_C}=2.0607e^{-0.0119t} & r\approx\%100\end{cases}$$

از روش پسماند متوالی برای تعیین منحنی $\sigma(t)$ استفاده می شود، داریم:

$$\sigma(t)=\sigma_{(t)_A}+\sigma_{(t)_B}+\sigma_{(t)_C}$$

$$\sigma(t)=1.4716e^{-0.0059t}+1.5796e^{-0.0083t}+2.0607e^{-0.0119t}$$

بنابراین شماتیک مدل رئولوژیکی سیب محلی مراغه برای حالت کرنش ثابت به صورت زیر است:



شکل3: مدل رئولوژیکی سیب محلی مراغه برای حالت کرنش ثابت

مدل رئولوژیکی در شرایط تنش ثابت: برای تعیین مدل رئولوژیکی برای سیب محلی مراغه در شرایط $d\sigma/dt=0$ ، می توان از رابطه موجود برای دستگاه کلوین همگانی استفاده کرد که افزایش کرنش برابر است با:

$$\varepsilon(t)=\sigma_0\left[(1/E_0)+\left(1/E_{r_1}\right)\left(1-e^{-t/T_1}\right)+\left(1/E_{r_2}\right)\left(1-e^{-t/T_2}\right)+.....+\left(1/E_m\right)\left(1-e^{-t/T_n}\right)+\left(t/\eta_v\right)\right]$$

با توجه به تابع بدست آمده برای ε (صعودی تندشونده)، تطابق آن با دستگاه کلوین همگانی،میتوانیم $\varepsilon(t)$ را به صورت مجموع دو تابع که یکی صعودی با شیب ثابت ودیگری نزولی کند شونده است نوشت.پس داریم:

$$f(x)=g(x)+h(x)$$

$$\varepsilon(t)=at^b+\varepsilon_0=ce^{-\alpha t}+st+d$$

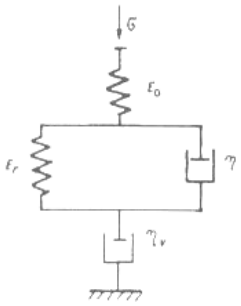
برای بدست آوردن مقادیر s,c,d,α برای t های مختلف در نرم افزار matlab معادلات حاصل از این چهار مجهول حل گردیده و رابطه $\varepsilon(t)$ به صورت زیر بدست آمد:

$$\varepsilon(t)=-0.000038e^{-0.3559t}+0.0063t+0.0329$$

فرمول بدست آمده با گزیده ایی از فرمول دستگاه کلوین همگانی مطابق است وداریم:

$$\varepsilon(t)=\sigma_0\left[(1/E_0)+\left(1/E_{r_1}\right)\left(1-e^{-t/T_1}\right)+\left(t/\eta_v\right)\right]$$

پس شکل مدل رئولوژیکی آن برای حالت تنش ثابت به صورت زیر است:



شکل 4 : مدل رئولوژیکی سیب محلی مراغه برای حالت تنش ثابت

به عنوان نتیجه گیری کلی می توان گفت که سیب محلی مراغه را می توان به عنوان یک ماده چسبسان در نظر گرفت. مدول الاستیسیته بدست آمده برای مقادیر تنشهای متفاوت با کرنش های ثابت ،فرق داشته واین بیانگر الاستیسیته نبودن سیب مورد بررسی است . و در نهایت اینکه مدلهای رئولوژیکی بدست آمده تصدیق کننده کارهای قبلی می باشد.

منابع

1 - رضوی ،سید محمد علی . اکبری ،ریحانه. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی . 1385.انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

2 - گ ، سیتکی . ترجمه توکلی هشتجین، تیمور . مکانیک محصولات کشاورزی. 1382. چاپ اول. انتشارات دانشگاه زنجان.

3- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd ed. New york:Gordon and Breach Science Publishers.