تعیین برخی خواص رئولوژیکی بسته های کاه و یونجه به منظور طراحی یک واحد بسته بردار اتوماتیک

سمانه صادق زاده[1]، سید جلیل رضوی[2]

1 - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

2 - استادیار، گروه ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان 84156-83111

jrazavi@cc.iut.ac.ir

چکیده

به منظور طراحی واحدهای مختلف دستگاه انوماتیک جمع آوری بسته ها، تعیین برخی خواص رئولوژیکی محصول ضروری می باشد که در تحقیق حاضر انجام گردید. آزمایشات بصوت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. آزمون خمش جهت بررسی مقاومت خمشی بسته ها در دو سطح رطوبتی (خشک و تر) و در دو سطح طولی (کوتاه و بلند) برای بسته های یونجه و کاه انجام گردید. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر متقابل نو ع محصول و سطح رطوبتی بر مقادیر نیروی خمشی معنی دار بود ($p<0.05$). همبستگی منفی و معنی داری بین فاکتور طول بسته ها و مقاومت خمشی وجود داشت ($r=-0.6$). با توجه به آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح احتمال 5 درصد تأثیر نوع بسته روی ضریب الاستیسیته نیز معنی‌دار بود ($p<0.05$).

کلمات کلیدی: یونجه، کاه، خواص رئولوژیکی، مقاومت خمشی.

مقدمه

یکی از عمده ترین اقلام خوراک دام مورد مصرف در کشورهای جهان یونجه و کاه گندم است . به منظور کاهش زمان و هزینه های حمل و نقل، تدابیری از جمله مکانیزه کردن مرحله جمع آوری بسته ها ی علوفه صورت گرفته است. در فرآیند جمع آوری بسته ها، یکسری پارامترهای وابسته و مستقل مطرح هستند که شناخت روابط بین آنها از ملزومات طراحی دستگاه بر دارند ه و جمع آوری بسته ها می باشد [سریواستاوا و همکاران، 1379]. پارامترهای مستقل عبارتند از جرم حجمی، رطوبت و نرخ بار گذاری. پارامترهای وابسته عبارتند از زمان کاهش تنش،خمش و مدول الاستیسیته. رفتار مواد بویژه محصولات کشاورزی کم و بیش نسبت به رفتار مواد ایده آل متفاوت است. یکی از خواص محصولات کشاورزی این است که رابطه تنش- تغییر شکل در آنها بستگی به سرعت تغییر شکل دارد، یعنی باید در رابطه تنش- تغییر شکل عامل زمان را هم دخالت داد . رئولوژی عبارت است از بررسی تغییر شکل ها و تنش های متغیر برحسب زمان. یکی از مباحث خواص رئولوژیکی مواد کشاورزی، آسایش تنش محصولات است. در محصولات کشاورزی بدلیل داشتن خصوصیت لزج کشسان پس از اعمال بار و توقف بارگذاری با ثابت کردن کرنش، تنش های پسماند مستهلک شده و باعث کاهش نیروهای تولیدی در زمان بارگذاری می‌شود، که به این ویژگی آسایش تنش می گویند . اه میت این ویژگی در آن است که پس از فشرده سازی محصولات کشاورزی از جمله علوفه، تنش های داخل محصول بطور وابسته به زمان کاهش پیدا می کند و از طریق آزمایشات مربوطه می‌توان ادامه این آسایش تنش را پیش بینی کرده و در طراحی دستگاه ها از آن بهره برد. در این

پدیده پارامترهای وابسته به زمان همچون مدول الاستیسیته (E(t)) ظاهر شده و اندازه و سرعت آسایش تنش به ساختمان ماده، نرخ کرنش، رطوبت ماده و میزان تغییر شکل بستگی دارد[Mohsenin, 1970].

مواد و روشها

بسته‌های کاه و یونجه بصورت کاملاً تصادفی با ابعاد تقریبی 95×50×45 سانتی‌متر از انبار علوفه مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شدند. اندازه‌گیری رطوبت اولیه نمونه ها با توجه به استاندارد (ASAE S358) انجمن مهندسین ماشین‌های کشاورزی آمریکا انجام گرفت. برای تعیین رطوبت نمونه‌ها به روش استاندارد نمونه علوفه از بسته‌های یونجه و کاه به صورت تصادفی انتخاب و در آون در دمای 103 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده شد. بنابراین میانگین رطوبت اولیه بسته‌های یونجه و کاه مورد آزمایش به ترتیب 7/59٪ و 6/12٪ (بر مبنای تر) بدست آمد [ASAE,1999]. رطوبت بسته‌ها قبل از جمع آوری در مزرعه برای یونجه بین 15-20 درصد وکاه تقریباً 11 درصد می‌باشد. از آنجا که رطوبت بر پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشات اثر می‌گذارد، برای همسان سازی لازم بود رطوبت بسته‌ها به این سطح رطوبتی بر مبنای تر رسانده شود. با توجه به وزن خشک بسته‌ها و درصد رطوبت موردنیاز، میزان آب لازم برای افزودن به بسته ها تعیین شد . برای یکنواختی گسترش رطوبت و جلوگیری از فساد بسته ها آنها را در داخل کیسه های پلاستیکی در بسته در هوای آزاد قر ار داده و با جابجاکردن بسته‌ها 2 بار در روز این روند و تا 1 هفته تکرار شد تا رطوبت لازم بدست آید[ASAE, 2003].

برای تعیین رابطه تنش و کرنش در نمونه‌ها از یک دستگاه آزمون جامع کشش - فشار ساخت شرکت سنتام[1] با ظرفیت 1 تن نیرو و حداکثر سرعت 500 میلی‌متر بر دقیقه موجود در دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد (شکل 1). برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی از دو تکیه‌گاه در دو طرف دستگاه استفاده شد به طوری که بسته‌ها در راستای طولی روی این دو تکیه‌گاه به گونه‌ای قرار گرفت که فک فشار از بالا به قسمت مرکزی بسته‌ها، فشار وارد می‌آورد. جهت بررسی مقاومت خمشی بسته‌ها در 2 سطح رطوبتی خشک (6/12 و 7/59 درصد بر مبنای تر به ترتیب برای کاه و یونجه) و تر (11-12 درصد و 15-20 درصد بر مبنای تر به ترتیب برای کاه و یونجه) و 2 سطح طولی کوتاه و بلند و هر سطح در 3 تکرار، برای دو نوع بسته یونجه و کاه انجام شد. با تنظیم سرعت متوسط دستگاه آزمون (250 میلی‌متر بر دقیقه) آزمون فشار آغاز شد و بلافاصله پس از رسیدن به کورس موردنظر دستگاه متوقف گردید. برای انتخاب محدوده فشار دستگاه ابتدا چند نم ونه فشار بر روی بسته های کاه و یونجه بطور جداگانه انجام شد تا حداکثر نیروی لازم برای فشار و خمش بدون تنش ماندگار بدست آید. از نتایج بدست آمده در این آزمون، روابط بین برخی پارامترهای رئولوژیکی از قبیل مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی بسته ها بدست آمد. به منظور محاسبه مدول الاستیسیته نمونه‌ها، با داشتن نیرو به ازای هر تغییر شکل در نمونه، منحنی مدول الاستیسیته که تابعی از زمان است در نرم افزار EXCEL با بهترین مدل برازش شد.

محصولات کشاورزی بدلیل ویسکوالاستیک بودن پس از خمیده شدن دچار آسایش تنش می شوند . در طراحی دستگاه بسته‌بردار از مقادیر بدست‌آمده از آزمون آسایش تنش در طراحی کانال کفشک بسته استفاده شد . با رسیدن فک فشار به سطح خمیدگی موردنظر، حرکت دستگاه متوقف شد و توسط یک زمان سنج در فواصل زمانی 5 ثانیه‌ای، نیروی حاصله از روی صفحه نمایش دستگاه قرائت و یادداشت شد . در ابتدای آزمون، آسایش تنش بسیار زیاد بود ولی پس از چند دقیقه تغییرات کاهش یافت و تقریباً ثابت شد.

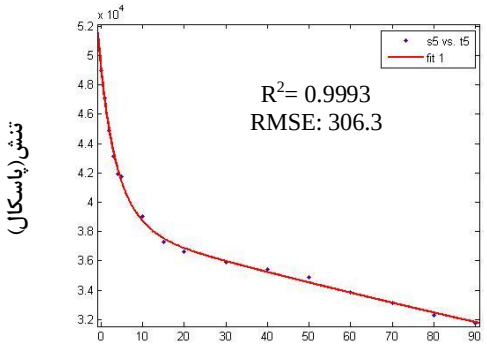
1- SANTAM

شکل 1- دستگاه آزمون جامع کشش-فشار

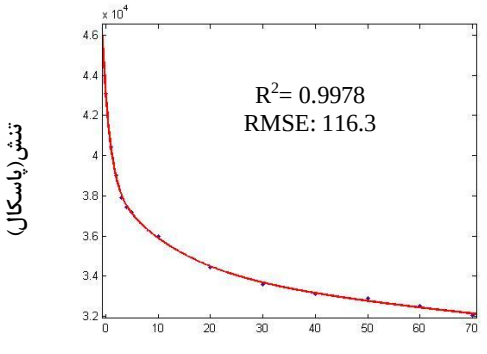
به منظور بررسی روابط بین پارامترهای مختلف در طرح حاضر و تأثیر عواملی چون نوع گیاه و سطوح مختلف فشرده‌سازی بر این پارامترها و همچنین به دلیل تفاوت در طول بسته‌ها، آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام و نتایج توسط نرم‌افزار SAS تحلیل شد. از سه بلوک که شرایط طولی برای بسته‌ها مساوی بود، برای یونجه و کاه استفاده شد. به منظور محاسبه مدول الاستیسیته نمونه‌ها، پس از ترسیم منحنی تنش-کرنش، برای هر فاکتور بهترین مدل توسط نرم‌افزار Excel به دست آمد و سپس مدول الاستیسیته که همان مشتق درجه اول مدل برازش شده بود، محاسبه گردید.

نتایج و بحث

با استفاده از نرم‌افزار MATLAB داده‌ها و تعریف تابع تنش بهترین مدل برازش شد و زمان های آسایش تنش به دست آمد. برای هر یک از بسته‌ها با خصوصیات فیزیکی متفاوت دریک سطح فشردگی، بطور جداگانه زمان‌های آسایش تنش محاسبه شد. شکل2 و 3 زمان‌های آسایش ترش را برای بسته های یونجه و کاه بطور جداگانه نشان می‌دهد.



شکل2- منحنی آسایش تنش یونجه



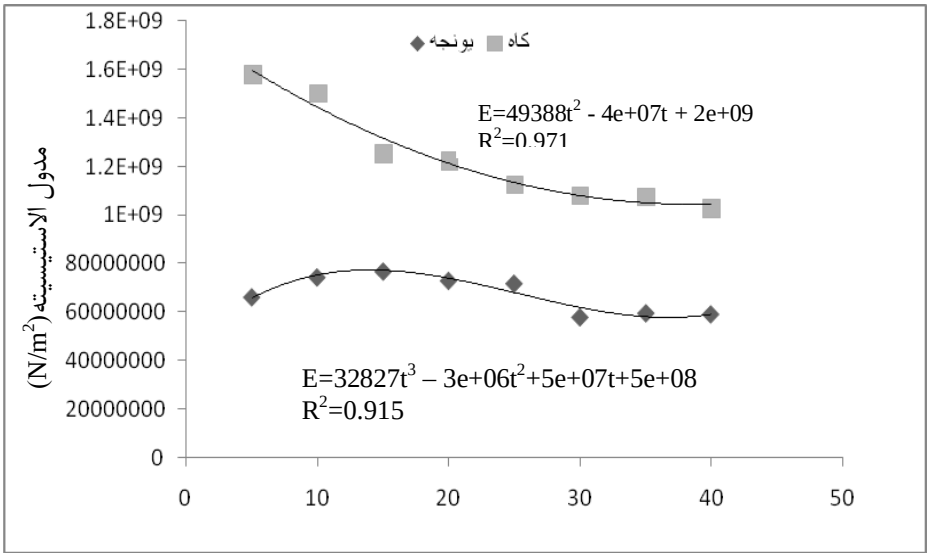
شکل3- منحنی آسایش تنش کاه

بنابراین، تابع آسایش تنش مربوط به یونجه و کاه به ترتیب بوسیله دو عبارت 1 و 2 بدست می‌آید.

$$\sigma_a = 3.823\times10^4 e^{\frac{-t}{490.5}} + 9122\, e^{\frac{-t}{5.012}} + 1763\, e^{\frac{-t}{2.085}} \qquad (1)$$

$$\sigma_s = 3.407 \times 10^4 e^{\frac{-t}{1188}} + 4551\, e^{\frac{-t}{13.25}} + 4486\, e^{\frac{-t}{1.376}} \quad (2)$$

شکل 4 یکی از منحنی‌های برازش شده مدول الاستیسیته برای یونجه و کاه و مقایسه آنها را نشان می دهد که بخاطر خاصیت وسکوالاستیک بودن، مدول الاستیسیته بسته ها وابسته به زمان می‌باشد و همان طور که مشاهده می‌شود منحنی برازش شده کاه بالاتر از یونجه قرار دارد.



شکل 4- منحنی برازش شده مدول الاستیسیته کاه و یونجه

با استفاده از نتایج حاصل از آزمون خمش و تعیین مدول الاستسیسیته و تنش ماکزیمم بسته ها و بدست آوردن کمترین زمان آسایش تنش نتایج تجزیه واریانس مطابق جدول 1 می‌باشد. همان طور که در جدول 1 مشاهده می‌شود، بین مدول الاستیسیته و نوع محصول تفاوت معنی داری وجود دا شت . همچنین اثر متقابل دو عوامل آزمایشی بر نیروی خمش در سطح احتمال 5 ٪ نیزمعنی‌دار بود.

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر نیروی خمش، مدول الاستیسیته و زمان آسایش تنش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		نیروی خمشی	مدول الاستیسیته	زمان آسایش تنش
نوع محصول (b)	1	61748/05^{ns}	66/035*	0/0419^{ns}
سطح رطوبتی (m)	1	18/253^{ns}	0/11^{ns}	0/0144 ^{ns}
نوع محصول ×سطح رطوبتی	1	462011/76*	13/67^{ns}	4/22^{ns}
خطا	8			
کل	11			

*، **، *** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایش در سطح احتمال 5، 1 و 0/1 درصد می‌باشند.
ns به معنی آن است که اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول 2- مقایسه میانگین مدول الاستیسیته تحت تأثیر نوع محصول و سطح رطوبتی

عوامل آزمایشی	مدول الاستیسیته
نوع محصول	
یونجه	8/14[b]
کاه	12/83[a]
سطح رطوبتی	
تر	10/58[a]
خشک	10/38[a]

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال 5٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

همان طور که در جدول 2 نشان داده شده است، با توجه به آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح احتمال 5 درصد، میانگین مدول الاستیسیته کاه بیشتر از یونجه بود. نظر به اینکه جرم حجمی کاه کمتر از یونجه است ، بنابراین تغییر شکل اولیه کاه که ناشی از وزن بسته بود، کمتر است و در نتیجه مدول الاستیسیته بیشتری از یونجه دارد.

مقایسه میانگین اثر متقابل نوع محصول و سطح رطوبتی بر نیروی خمشی در جدول 3 ارائه شده است . به طوری که در محصول یونجه با افزایش رطوبت نیرویی که باعث خمش می شود کم شده است و در سطح رطوبتی تر، نیروی خمشی کاه بیشتر از یونجه بوده است . از آنجا که با افزایش رطوبت، جرم حجمی بسته‌ها نیز افزایش می‌یابد، بنابراین قبل از ایجاد فشار، تغییر شکل اولیه ای وجود دارد. بنابراین فشاری که برای ایجاد خمش مورد نظر لازم است کمتر می‌شود. باتوجه به نتایج قبل که مدول الاستیسیته کاه بیشتر از یونجه بود، نیروی خمشی مورد نیاز کاه نیز بیشتر از یونجه می‌باشد. همان طور که قبلاً گفته شد مدول الاستیسیته کاه بیشتر از یونجه می باشد و با توجه به جدول 4 این اثر در سطح رطوبتی تر بیشتر است.

جدول 3- مقایسه میانگین عوامل آزمایشی بر نیروی خمشی

	نوع محصول(b)	
سطح رطوبتی (m)	یونجه	کاه
تر	581/23[b]	1117/13[a]
خشک	971/2[a]	722/23[ab]

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال 5٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر متقابل عوامل آزمایشی بر مدول الاستیسیته

	نوع محصول(b)	
سطح رطوبتی (m)	یونجه	کاه
تر	7/17[c]	14[a]
خشک	9/11[bc]	11/66[ab]

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال 5٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

همان طور که در جدول 5 مشاهده می‌شود، همبستگی منفی و معنی‌داری بین فاکتور طول نمونه و نیروی خمشی وجود داشت.

جدول 5- همبستگی بین طول و نیروی خمش و مدول الاستیسیته و زمان آسایش تنش

	نیروی خمشی	مدول الاستیسیته	زمان آسایش تنش	طول بسته
نیروی خمشی	1			
مدول الاستیسیته	0/38^{ns}	1		
زمان آسایش تنش	-0/12^{ns}	-0/04^{ns}	1	
طول بسته	-0/6*	-0/12^{ns}	0/5^{ns}	1

* نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایش در سطح احتمال 5 درصد می‌باشند.
ns به معنی آن است که اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

نتیجه گیری

- نتایج حاصل از آزمون خمش نشان داد که اثر متقابل نوع محصول و سطح رطوبتی یر مقادیر نیروی خمشی معنی‌دار بود به طوری که در محصول یونجه با افزایش رطوبت نیرویی که باعث خمش می شود کم شده است و در سطح رطوبتی تر نیز نیروی خمشی کاه بیشتر از یونجه بوده است.
- تأثیر نوع بسته روی ضریب الاستیسیته معنی دار بود به طوری که میانگین مدول الاستیسیته کاه بیشتر از یونجه می‌باشد.
- با توجه به نتایج بین قاکتور طول نمونه و نیروی خمشی همبستگی منفی و معنی داری وجود داشته است.

منابع

- سریواستاوا، ا. گ، گورینگ و ر. روربا‌ک. 1379. اصول طراحی ماشینهای کشاورزی (ترجمه منصور بهروزی لار). انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.
- سیتکی، گ. 1382. مکانیک محصولات کشاورزی (ترجمه تیمور توکلی هشجین). مرکز خدمات فرهنگی سالکان.

- ASAE Standard SE358.2 .1999. Forage moisture content measurement in ASAE Standards, 43rd edition. American Socciety of Agricultural Engineers: St. Joseph, MI.
- ASAE Standard D245.5 .2003. Moisture relationships of plant-based agricultural products. American Society of Agicultural Engineers: St. Joseph, MI.
- Mohsenin, N. N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordan and Breach Pub, Co.
- O' Dogherty, M. J., 1989, "A review of the mechanical behavior of straw when compressed to high densities.", J. Agric. Eng. Res. , 44:241-265.
- Thompson, S. A. and Ross, I. J. 1983. Compressibility and frictional coefficients of wheat., Trans. ASAE.26:1171-1176.