

# تعیین خواص مکانیکی دانه سویا در بارگذاری شبه استاتیک

هادی عالمی<sup>1\*\*</sup>، محمد هادی خوش تقاضا<sup>2\*</sup>، سعید مینایی<sup>2</sup>

1- دانش آموخته گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

2- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

## چکیده

در این تحقیق، اثر رقم، رطوبت و دمای خشک کردن بر خواص مکانیکی دانه سویا شامل نیرو و انرژی شکست، ضریب الاستیسیته ظاهری و چگرمگی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها تحت بارگذاری شبه استاتیک به کمک دستگاه آزمون مواد اندازه‌گیری شد. با انجام آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، اثر پارامترهای خشک کن شامل رطوبت در سه سطح (10، 12 و 14٪ بر مبنای خشک) و دمای خشک کردن در سه سطح (50، 60 و 70 درجه سلسیوس) و سه رقم سویا (هیل، پرشینگ و گرگان 3) بر روی خواص مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر دو پارامتر رطوبت و دما تأثیر معنی‌داری بر روی نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه داشتند. بطوریکه با افزایش رطوبت از 10٪ به 14٪ مقدار نیرو و انرژی شکست به ترتیب از 47/5 N و 10 mJ به 82 N و 56 mJ افزایش یافت. این رفتار متفاوت دانه سویا نسبت به غلات دیگر، به دلیل وجود چربی زیاد در ساختار بافت آن، قابل توجه است. همچنین با افزایش دمای خشک کردن از 50°C به 70°C، نیروی شکست دانه نیز افزایش یافت. بررسی اثر فاکتورهای رقم و رطوبت روی چگرمگی و ضریب الاستیسیته ظاهری دانه، نشان داد، که رقم و رطوبت تأثیر معنی‌داری بر روی پارامترهای مذکور دارند. مقدار ضریب الاستیسیته دانه در رطوبت 10٪، 80/95 MPa تعیین شد، که با افزایش رطوبت به 14٪، مقدار این پارامتر به 25/56 MPa کاهش یافت.

کلید واژگان: نیرو و انرژی شکست، ضریب الاستیسیته، چگرمگی، رطوبت، دمای خشک کردن

## 1- مقدمه

ساختن خلی پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهند که رفتار آنها را با ثابتهای ساده فیزیکی، مانند آنچه در فولادها می‌باشد، نمی‌توان مشخص نمود و ساختمان این مواد در برابر عواملی از قبیل، رطوبت و دما عکس العمل نشان می‌دهد [3]. در مورد تعیین نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه تحقیقات بسیاری صورت گرفته است، از جمله Foutz و همکاران (1993) معتقد بودند که مقاومت مکانیکی دانه به ترکیبات سلولزی دیواره سلول و مواد مرکبی که سلولها را به هم پیوند می‌دهند بستگی دارد [4]. نیروی شکست دانه تحت تأثیر نیروهای استاتیک و شبه استاتیک معیار مناسبی برای طراحی ادوات با کارایی و کیفیت کار بالاتر می‌باشد، که از آن می‌توان به عنوان اصول اولیه

شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی همواره مورد توجه و علاقه متخصصین کشاورزی و صنایع غذایی بوده است. این مسأله بویژه در رابطه با ماشین‌های کشاورزی، از لحاظ تأثیری که در بخشهای مختلف ماشین در مراحل برداشت، حمل و نقل، ذخیره سازی و فرآوری بر محصول ایجاد می‌کند، حائز اهمیت است [1]. از آنجائیکه خواص مکانیکی ماده می‌تواند درک بهتر و روشن‌تری از خواص فیزیکی و در نتیجه خصوصیات بافت آن ماده بدست دهد، لذا این مفهوم پایه و اساس بسیاری از روشهای ابزاری در شناسایی خصوصیات بافت مواد بیولوژیک می‌باشد [2]. مواد بیولوژیکی، مجموعه‌ای بیومکانیکی با

\* آدرس فعلی: عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر

\* مسئول مکاتبات: [khoshtag@modares.ac.ir](mailto:khoshtag@modares.ac.ir)

در این آزمایش تغییرات نیروی شکست دانه‌های نخود بین 90 (رطوبت 16/5%) تا 210 (رطوبت 5/2%) نیوتن گزارش گردید [10]. خزائی در طی پژوهشی بر روی دانه نخود نشان داد که با افزایش رطوبت دانه، نیرو و انرژی شکست دانه بطور معنی داری کاهش می یابد [11].

از آنجاییکه آزمایش بارگذاری شبه استاتیک معمولاً بیانگر ویژگیهای مقاومتی و خواص مکانیکی نمونه مورد آزمایش خواهد بود، لذا اطلاعاتی که از منحنی نیرو - تغییر شکل این آزمایش استخراج می گردد، نه تنها برای بررسی اثر رطوبت و ارقام مختلف بر روی خواص مکانیکی مفید است، بلکه می تواند در طراحی و بهینه سازی ماشینهای فرآوری، همچون ماشینهایی که در فرآیند استخراج روغن از دانه سویا استفاده می شود، مورد بهره برداری قرار گیرد.

هدف از این تحقیق بررسی اثر رقم، رطوبت و دمای خشک کردن بر خواص مکانیکی دانه سویا، شامل نیرو و انرژی شکست، ضریب الاستیسیته ظاهری و چغرمگی می باشد.

## 2- مواد و روشها

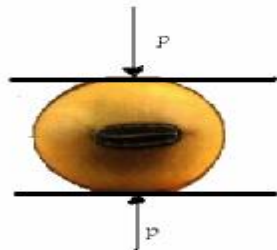
### 2-1 آماده سازی نمونه ها

دانه سویا (Glicin max) از سه رقم رایج هیل، پرشینگ و گرگان 3 که بطور گسترده ای در مناطق شمال کشور کشت می گردند، تهیه شد. کلیه دانه ها به طور دستی تمیز و بوجاری شده و دانه های خارجی، شکسته و چروک خورده از آن جدا شده و دانه های یک دست و سالم برای انجام آزمایشات باقی ماندند. از آنجاییکه دانه سویا در رطوبت بالا (حدود 20٪ بر پایه خشک برداشت می شود، لذا بلافاصله بعد از عملیات برداشت دانه ها را درون کیسه های پلاستیکی مخصوص قرار داده و پس از انتقال به آزمایشگاه، درون یخچال در دمای 4°C قرار گرفت، تا شرایط رطوبتی دانه حفظ شده و تغییرات چندانی در رطوبت اولیه محصول ایجاد نشود. قبل از انجام آزمایشات، مقدار معینی از نمونه ها را برای مدت 72 ساعت در دمای 103 °C درون آون قرار گرفته و بر اساس روش استاندارد وزنی مقادیر رطوبت اولیه هر

و اساسی در طراحی و تنظیم قسمتهای مختلف ماشینهایی که با دانه در ارتباط می باشند، استفاده نمود [5]. سویا یا لوبیای روغنی یکی از نباتات قدیمی و بومی آسیای شرقی، با نام علمی (Glicin max) و متعلق به تیره لگومینوز 1 می باشد. این دانه گیاهی از نظر ترکیبات حاوی 40 درصد پروتئین، 21 درصد چربی، 34 درصد هیدرات کربن و 4/9 درصد خاکستر می باشد [6]. اصولاً ساختمان آناتومی تمام دانه های غلات مشابه می باشد و تنها در بعضی جزئیات با یکدیگر اختلاف دارند. سویا از خانواده بقولات و دارای رقم های متفاوتی از نظر اندازه، شکل و رنگ می باشد. اخیراً با توجه به کاربردهای مختلف این محصول در صنایع مختلف، بررسی خواص مکانیکی و رئولوژیکی این محصول مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در طی آزمایشی، پائولسن (1978)، نشان داد که رطوبت و اندازه دانه اثر معنی داری بر حداکثر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه های سویا دارند. او در تمام آزمایشات انجام شده بر روی دانه سویا سرعت بار گذاری را 6 mm/min در نظر گرفت [7]. طی تحقیقی ضمن تعیین نیرو و انرژی شکست دانه سویا تحت نیروهای شبه استاتیک، تأثیر معنی دار رطوبت بر روی پارامترهای مذکور مورد تأیید قرار گرفت. در این تحقیق با استفاده از تئوری هرتز و روش فشردن نمونه بین دو صفحه موازی، در سرعت بارگذاری 1/2 mm/min مشاهده شد که با افزایش رطوبت از 9% به 20% مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری دانه سویا از 158 MPa به 42 MPa کاهش یافت [8]. در طی تحقیقی، خواص مکانیکی دانه سویا در سه رقم، در سه سطح رطوبتی (11-13)، (14-16) و (17-19) درصد (بر پایه تر) در سه جهت بارگذاری طولی، عرضی و ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمایشات بیشترین مقدار نیرو و انرژی شکست در محدوده رطوبت (14-16) درصد در جهت بارگذاری طولی گزارش گردید [9]. در تحقیقی که به منظور تعیین نیروی شکست دانه نخود، در محدوده رطوبتهای 5/2% تا 16/5% انجام گرفت، تأثیر شدید رطوبت بر نیروی شکست دانه به وضوح مشاهده شد.

طبق استاندارد ASAE، سرعت اعمال نیرو (بارگذاری) به دانه برابر 5 mm/min انتخاب گردید [13] و جهت بارگذاری مطابق شکل (1) از پهلو (خواییده) اعمال شد. تعداد 10 تکرار در این آزمایشات در نظر گرفته شد.



شکل 1 تصویر اعمال نیرو به دانه سویا

حد شکستگی دانه، نقطه ای در منحنی نیرو - تغییر شکل است که در آن حتی با کاهش نیرو میزان تغییر شکل افزایش پیدا کرده و جسم شکسته می‌شود. این نقطه، گسیختگی را در ماده بیان می‌کند. در مواد نرم و سخت بعد از گسیختگی تغییر شکل قابل توجهی دیده می‌شود. بنابراین در آزمایشهای مختلف از روی نمودار نیرو - تغییر شکل و با استفاده از نقطه شکستگی، حداکثر نیروی شکست دانه قرائت شد. انرژی مصرفی برای شکست دانه نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو - تغییر شکل دانه بدست آمد. برای تعیین سطح زیر منحنی داده‌های حاصل از آزمایش (مربوط به منحنی نیرو - تغییر شکل) به نرم افزار اکسل منتقل شده و در آنجا با استفاده از روش ذوزنقه‌ای سطح زیر منحنی بدست آمد. از آنجائیکه سطح زیر منحنی مذکور برابر با انرژی مصرفی می‌باشد، لذا مقدار انرژی لازم برای شکست دانه تخمین زده شد. چغرمگی<sup>3</sup> عبارت از مقدار کاری است که بر واحد حجم جسم وارد می‌شود تا شکستگی حاصل شود. با توجه به اینکه سطح زیر منحنی معرف کار انجام شده برای شکست دانه نیز می‌باشد، لذا با توجه به تخمین حجم دانه با توجه به شکل بیضوی دانه سویا، مقدار چغرمگی ظاهری برای دانه سویا محاسبه شد. طی تحقیقی با بارگذاری تک‌محوری بر روی دانه‌های دست نخورده، مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری دانه بر

یک از ارقام اندازه‌گیری شد [12]. رطوبت اولیه ارقام هیل، پرشینگ و گرگان 3 به ترتیب 18/05%، 19/15% و 17/38% بر پایه خشک بدست آمد. در مرحله بعد به کمک دستگاه آنالیز رطوبت 2 نمونه های سویا در دماهای مختلف به رطوبت‌های مورد نظر رسانده شد. این دستگاه ساخت شرکت Ohaus آمریکا و مدل MB45 می‌باشد.

پس از تنظیمات اولیه دستگاه، مقدار 15 گرم نمونه از هر رقم بطور تصادفی مورد نظر انتخاب کرده و سپس آنها را با سه دمای 50، 60 و 70 درجه سلسیوس خشک کرده تا به سه سطح رطوبت نهایی 10، 12 و 14 درصد بر مبنای خشک رسیدند. آنچه که در انتخاب این سطوح دما و رطوبتی اهمیت داشت، نحوه تأثیر این سطوح بر خصوصیات مکانیکی دانه و همچنین دماهای توصیه شده که به منظور خشک کردن سویا در کارخانجات مورد استفاده قرار می‌گیرد، بود.

## 2-2 روش آزمایش

برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی دانه سویا، از ماشین آزمون مواد Hounsfield ساخت کشور انگلیس با ظرفیت 50 kN استفاده شد. در این تحقیق با انجام آزمون آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثرات رطوبت دانه در سه سطح (10، 12 و 14 درصد بر مبنای خشک)، دمای خشک کردن در سه سطح (50، 60 و 70 درجه سلسیوس) و رقم (هیل، پرشینگ و گرگان 3) بر نیرو و انرژی شکست، چغرمگی و ضریب الاستیسیته ظاهری دانه سویا تحت اثر نیروهای شبه استاتیک مطالعه و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام گردید. ضمناً تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار آمار MSTATC انجام گرفت.

برای هر آزمایش، دانه به صورت جداگانه در فاصله بین فک‌های ثابت و متحرک دستگاه آزمون قرار می‌گرفت (شکل 1) و نمودار نیرو - تغییر شکل دانه به طور پیوسته ترسیم می‌گشت و بارگذاری تا لحظه ای که نیرو به بیشترین مقدار خود در نقطه شکست می‌رسید ادامه می‌یافت (شکل 2). در این تحقیق از لودسل 500 N در آزمایشات استفاده شد. همچنین در تمامی آزمایشات

3. Toughness

2. Moisture Analyser

جدول 1 نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات)

خواص مکانیکی دانه سویا

\* معنی دار در سطح 5%

\*\* معنی دار در سطح 1%

n.s معنی دار نیست

3-1 میزان نیروی شکست دانه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات اصلی فاکتورهای رقم، دما و رطوبت بر میزان نیرو نشان داد که فاکتورهای مذکور اثر بسیار معنی داری (در سطح 1%) بر نیروی شکست داشتند و اثر متقابل دما و رقم بر میزان

منبع تغییر	df	نیروی شکست	انرژی شکست	چغرمگی ظاهری
رقم	2	469/2**	0/002**	95555**
دما	2	994/9**	0/000 n.s	0/000 n.s
رطوبت	2	26856**	0/5**	4017436**
رطوبت × رقم	4	123/84 n.s	0/000 n.s	28515**
دما × رطوبت	4	94/2 n.s	0/000 n.s	4937 n.s
دما × رقم	4	172/6*	0/001 n.s	16819 n.s
دما × رطوبت	8	97/6 n.s	0/000 n.s	9304 n.s

این نیرو نیز معنی دار (در سطح 5%) بود (جدول 1). اما سایر اثرات متقابل بر میزان نیروی شکست معنی دار نبود. نتایج مقایسه میانگین ارقام مختلف نشان داد که رقم هیل با میانگین نیروی شکست N 67/08 بیشترین مقدار را داشته و در کلاس a قرار گرفت. و ارقام پرشینگ و گرگان 3 به ترتیب با میانگین نیروی شکست 62/53 و 65/15 نیوتن در کلاس‌های حدواسط (ab) و کمترین (b) قرار گرفتند (شکل 3).

یکی از دلایل بیشتر بودن مقدار نیروی شکست در رقم هیل نسبت به ارقام دیگر می تواند چگالی دانه باشد که مقدار این پارامتر در رقم هیل نسبت به ارقام دیگر، بیشتر می باشد. نتایج مقایسه میانگین برای دمای خشک کردن نشان داد که در دماهای 60 و 70 درجه سلسیوس، بیشترین میزان نیروی شکست بدست آمده و با میانگین 65/18 و 68/11 نیوتن در کلاس a قرار گرفتند، و دمای

مبنای تئوری هرگز برای سطوح محدب تعیین گردید [14]. بنابراین در این تحقیق با استفاده از این تئوری و روش فشردن دانه بین دو صفحه موازی، ضریب الاستیسیته دانه در شرایط مختلف محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از پارامترهایی که از منحنی نیرو - تغییرشکل آزمون بارگذاری بدست آمده و رابطه (1) مقدار ضریب الاستیسیته برای دانه سویا محاسبه شد [13].

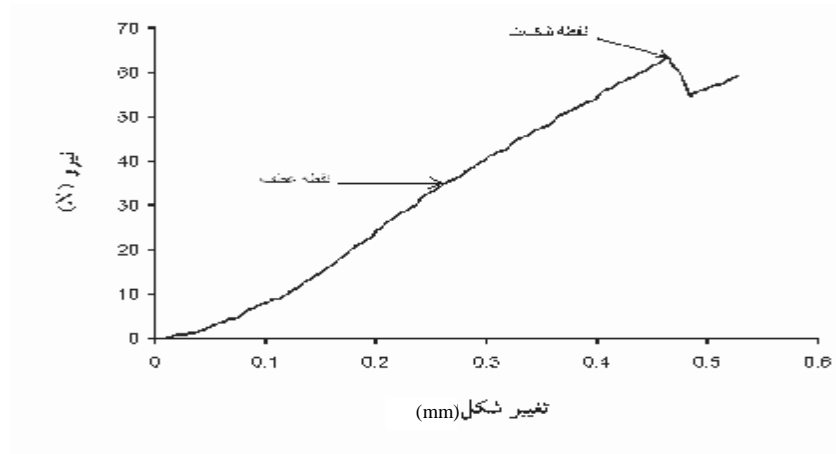
(1)

$$E = \frac{0.338F(1-m^2)}{D^{3/2}} \left[ 2K \left( \frac{1}{R_{min}} + \frac{1}{R_{max}} \right)^{1/3} \right]^{3/2}$$

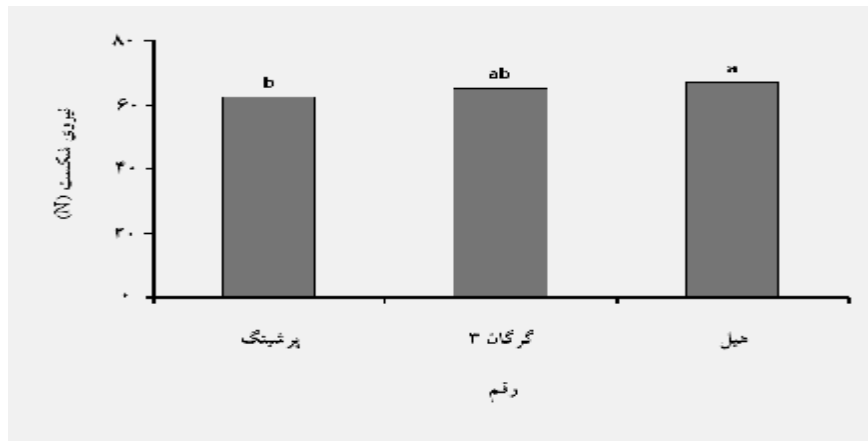
که در رابطه فوق مقدار  $R_{min}$  و  $R_{max}$  به عنوان شعاعهای کوچک و بزرگ سطح محدب دانه با استفاده از ابعاد دانه محاسبه گردیدند (بر حسب متر). همچنین مقدار K به عنوان یک پارامتر بدون بعد که با توجه به مقدار  $R_{min}$  و  $R_{max}$  و جدول مربوطه بدست می آید [13]. نیروی F برحسب نیوتن مربوط به نقطه از منحنی نیرو - تغییرشکل که دارای عرض  $\frac{D_T}{2}$  می باشد. در این حالت  $D_T$  میزان تغییرشکل دانه در محدوده خطی (ابتدای منحنی) می باشد. در نتیجه با استفاده از پارامترهای محاسبه شده مقدار ضریب الاستیسیته (E) دانه سویا در شرایط مختلف از رابطه 1 بر حسب پاسگال محاسبه شد. بر اساس تحقیقات گذشته، مقدار ضریب پواسون (m) برای دانه سویا 0/4 در نظر گرفته شد [15].

3- نتایج و بحث

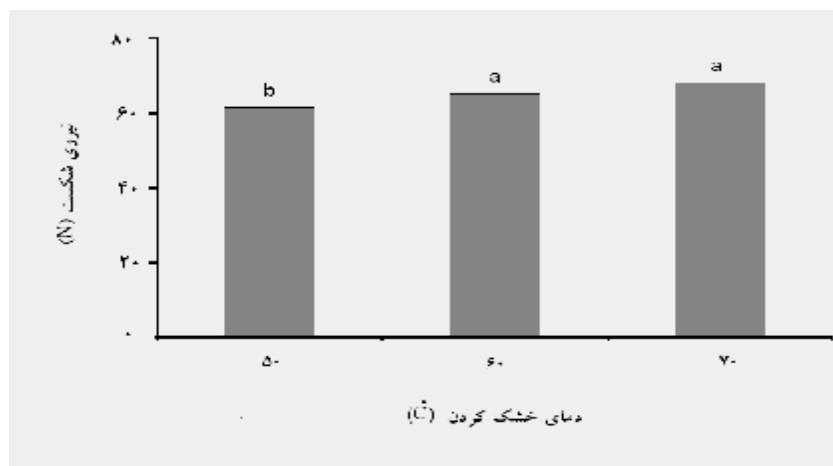
نتایج اولیه این آزمایش نشان داد که منحنی نیرو - تغییر شکل دانه سویا تحت بارگذاری شبه استاتیک همانند دیگر مواد بیولوژیک بوده و در اغلب موارد می توان در بخش اولیه و در محدوده قبل از نقطه عطف، محدوده‌ای را بصورت خطی در آن در نظر گرفت (شکل 2). سیر صعودی منحنی بعد از نقطه شکست به علت فشردن شدن مجدد دانه شکسته در بین صفحات فشار دهنده می باشد. نتایج تجزیه واریانس به منظور بررسی اثر رقم، رطوبت و دمای خشک کردن بر خواص مکانیکی در جدول (1) آورده شده است.



شکل 2 نمودار نیرو-تغییر شکل برای دانه سویا (رقم هیل، دمای 60°C، رطوبت 10%)



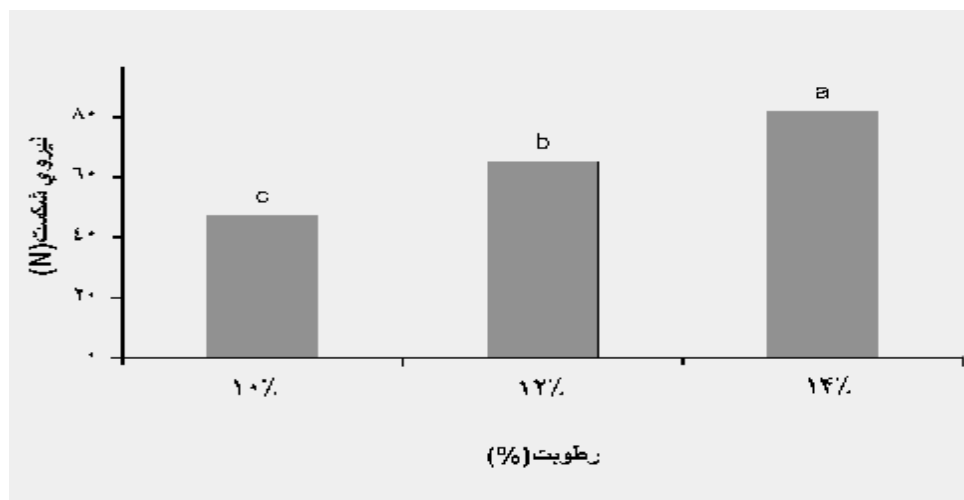
شکل 3 میزان نیروی شکست دانه سویا در ارقام مختلف



شکل 4 تاثیر دمای خشک کردن بر نیروی شکست دانه

50 کمترین تاثیر را بر میزان نیروی شکست دانه داشته (61/48 N) و در کلاس b قرار گرفت (شکل 4). احتمالا در محدوده دمای مورد آزمایش، افزایش دما باعث تغییر در خواص فیزیکی در جهت لاستیکی شدن دانه سویا شده که آن را در برابر نیروی فشار مقاوم تر کرده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در رطوبت 14% بیشترین مقدار و در رطوبت 10% کمترین مقدار نیروی شکست مورد نیاز بوده است. بنابراین با توجه به بافت دانه سویا، با افزایش رطوبت دانه از 10% به 14% مقدار نیروی شکست برای دانه بطور معنی داری افزایش می‌یابد (شکل 5). با توجه به اینکه در اکثر دانه‌های غلات با افزایش رطوبت، نیروی شکست دانه کم می‌شود، لذا می‌توان یکی از دلایل احتمالی این تفاوت را به ساختار

بافت دانه سویا نسبت داد. در بافت دانه سویا احتمالا به دلیل وجود مقدار زیاد پروتئین و چربی، با افزایش رطوبت تا 14% به لاستیکی شدن دانه کمک کرده و باعث مقاوم و سخت تر شدن دانه سویا شده است. نتایج تحقیق احمدی (2005) نیز نشان داد که بیشترین نیروی شکست دانه سویا در محدوده رطوبت 14 تا 16 درصد اتفاق افتاده است [9]. بنابراین در مورد دانه سویا می‌توان اینگونه نتیجه گیری نمود که با افزایش رطوبت تا محدوده 16 درصد، مقدار نیرو و انرژی شکست افزایش می‌یابد و در رطوبت‌های بالاتر از این محدوده روند نزولی دارد، که احتمالا در رطوبت‌های زیاد بدلیل مرطوب شدن دانه سویا و راحت لپه شدن آن رفتاری متفاوت از خود نشان می‌دهد.



شکل 5 تاثیر رطوبت بر نیروی شکست دانه

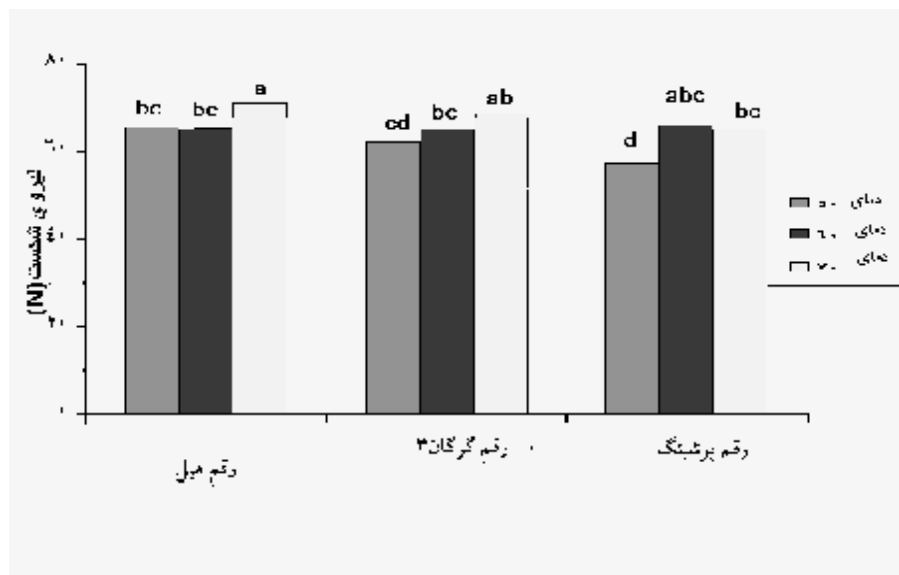
مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و دمای خشک کردن نشان داد که رقم هیل در دمای خشک کردن 70 °C بیشترین نیروی لازم برای شکست را داشته و در کلاس a قرار گرفت و رقم پرشینگ در دمای 50 °C کمترین نیروی شکست را داشته (57/09 N) و در کلاس d قرار گرفت (شکل 6). با توجه به ارتباط خواص مکانیکی با رطوبت و دما، مدل‌های رگرسیونی رابطه بین دو فاکتور مذکور با نیروی شکست دانه بدست آمد (جدول 2). از این مدل‌ها می‌توان برای تخمین محاسبات و طراحی اولیه

سیستم‌های فرآوری سویا بکار برد، که برای حداقل کردن تلفات یا افزایش بازدهی ماشین مفید خواهد بود.

جدول 2 مدل‌های رگرسیونی رابطه بین رطوبت و دمای خشک کردن با نیروی شکست دانه

رقم	R <sup>2</sup>	نیروی شکست
هیل	0/93	F=0.274T+8.68M-53.55
پرشینگ	0/96	F=0.383T+8.59M-63.59
گرگان 3	0/99	F=0.336T+8.64M-58.71

F نیروی شکست (N)، M درصد رطوبت (%w.b)، T دما (°C)



شکل 6 تاثیر متقابل رقم و دمای خشک کردن بر نیروی شکست دانه

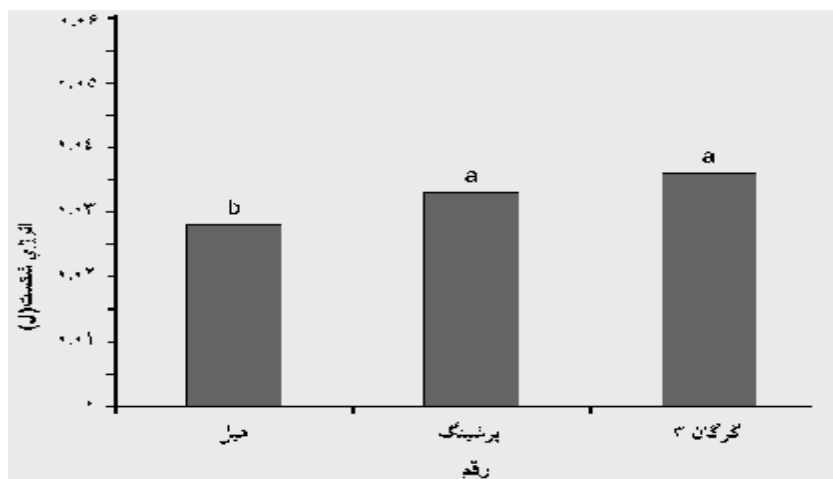
### 2-3 میزان انرژی برای شکست دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فاکتورهای رقم و رطوبت تاثیر معنی داری (در سطح 1%) بر میزان انرژی داشتند، در حالیکه فاکتور دمای خشک کردن اثر معنی داری بر این پارامتر نداشت (جدول 1). همچنین اثر متقابل کلیه فاکتورها بر میزان انرژی معنی دار نبود. بر اساس نتایج آزمون LSD مشخص شد که رقم گرگان 3 و پرشینگ بیشترین میزان انرژی لازم برای شکست دانه را داشته و در کلاس a قرار گرفتند. و رقم هیل نسبت به دو رقم دیگر انرژی کمتری برای شکست دانه نیاز داشت، و در کلاس b قرار گرفت (شکل 7). با توجه به اینکه مقدار انرژی با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو-تغییر شکل تا نقطه شکست می باشد، لذا هرچند نیروی شکست دانه رقم هیل بیشتر از بقیه ارقام بود، ولی بدلیل تغییر شکل کمتر تا نقطه شکست (شکل 2)، مقدار انرژی شکست در این رقم نسبت به ارقام دیگر کمتر بدست آمد. بررسی مقایسه میانگین های انرژی شکست برای رطوبت نشان داد که در رطوبت 14% بیشترین میزان انرژی مورد نیاز بوده و در کلاس a قرار گرفت و رطوبت 12% و 10% به ترتیب در کلاس های b و c قرار گرفتند (شکل 8).

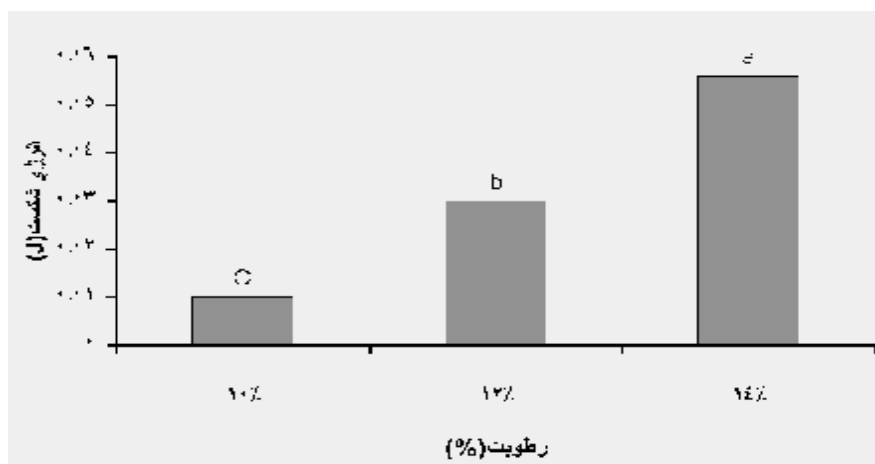
### 3-3 میزان چغرمگی ظاهری دانه

نتایج تجزیه آماری مربوط به اثر فاکتورهای رقم، دمای خشک کردن و رطوبت دانه بر میزان چغرمگی نشان داد که فاکتورهای رقم و رطوبت تاثیر معنی داری بر میزان چغرمگی داشتند، در حالیکه فاکتور دمای خشک کردن اثر معنی داری روی این پارامتر نداشت (جدول 2). بررسی اثرات متقابل فاکتورهای فوق نیز حاکی است که فاکتور رقم به همراه رطوبت اثر بسیار معنی داری بر میزان چغرمگی داشته و اثر متقابل دیگر فاکتورها معنی دار نبود. نتایج مقایسه میانگین ها برای اثر رقم بر چغرمگی نشان داد که ارقام گرگان 3 و پرشینگ بیشترین میزان چغرمگی را داشته و در کلاس a قرار گرفتند و رقم هیل میزان چغرمگی کمترین نسبت به دو رقم دیگر داشته و در کلاس b قرار گرفت (شکل 9).

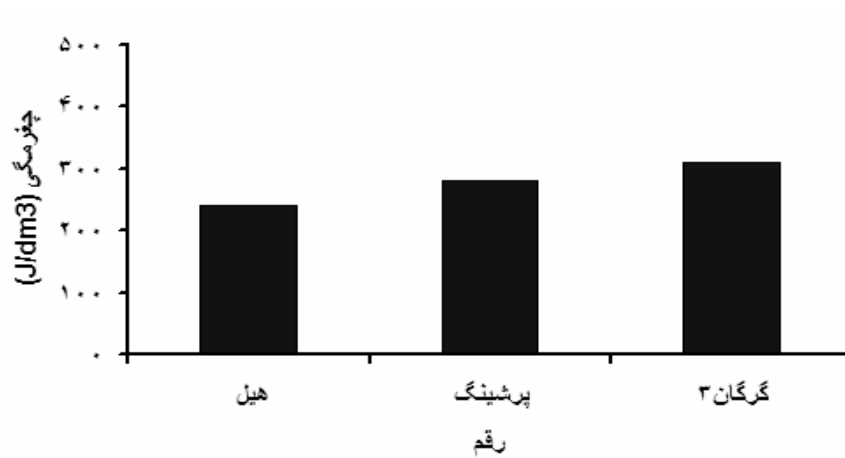
نتایج مقایسه میانگین ها برای اثر رطوبت بر چغرمگی دانه نشان داد که دانه سویا در رطوبت 14% بیشترین میزان چغرمگی را داشته و در کلاس a قرار گرفت. در رطوبت های 12% و 10% میزان چغرمگی دانه کمتر بوده و به ترتیب در کلاس های b و c قرار گرفتند (شکل 10). با توجه به اینکه مقدار چغرمگی دانه رابطه مستقیم با سطح زیر منحنی داشته، و در رطوبت های بالا (به دلیل تغییر شکل بیشتر تا نقطه شکست دانه)، سطح زیر منحنی مذکور بیشتر می باشد، لذا مقدار چغرمگی دانه نیز بیشتر است.



شکل 7 میزان انرژی شکست دانه سویا در ارقام مختلف

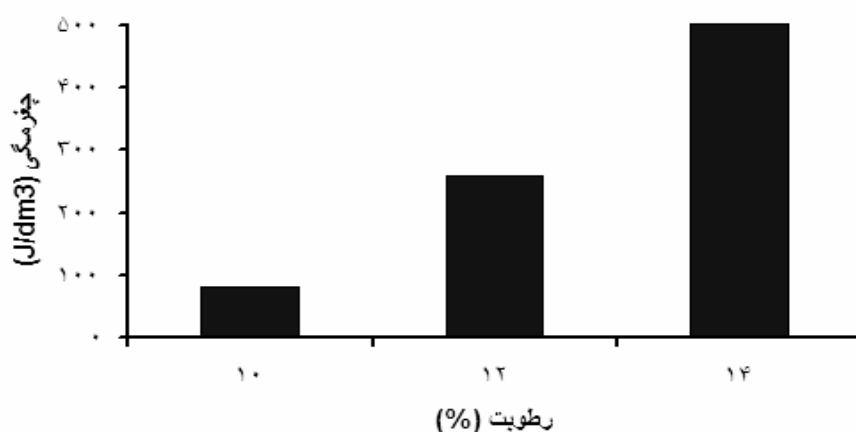


شکل 8 تاثیر رطوبت بر میزان انرژی شکست دانه سویا



شکل 9 مقدار چگرمگی ظاهری دانه سویا در ارقام مختلف



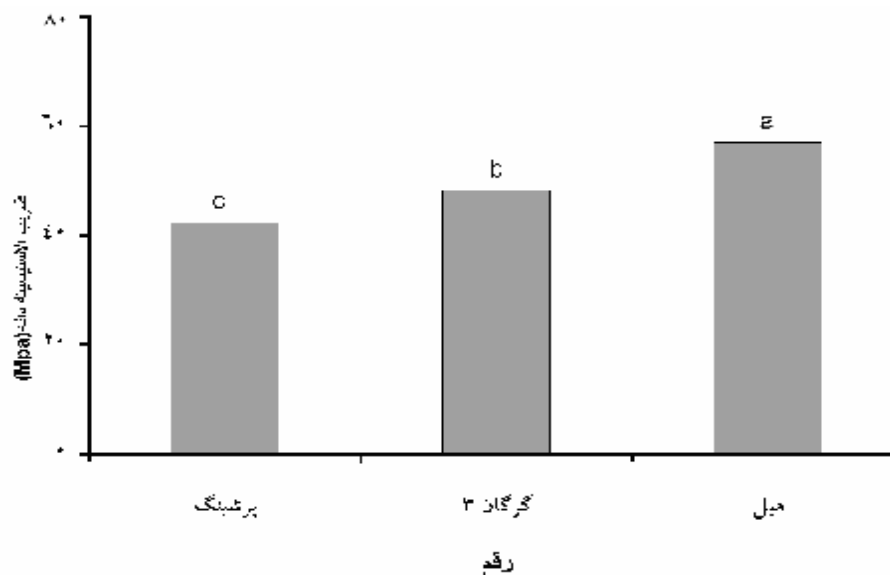


شکل 10 اثر رطوبت بر میزان چغرمگی دانه سویا

را داشته (57/03 MPa) و در کلاس a قرار گرفت، و ارقام گرگان 3 و پرشینگ به ترتیب با میانگین‌های ظاهری دانه سویا نشان داد که هرکدام از فاکتورها به ضریب الاستیسیته 48/32 و 42/24 مگاپاسکال در کلاسهای b و c قرار گرفتند (شکل 11).

### 3-4 ضریب الاستیسیته ظاهری دانه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات رقم و رطوبت و اثرات متقابل رطوبت و رقم بر روی ضریب الاستیسیته تنهایی اثر بسیار معنی‌داری روی میزان پارامتر مذکور داشته و اثر متقابل این دو فاکتور نیز معنی‌دار بود (جدول 3). نتایج آزمون دانکن برای میانگین‌ها نشان داد که رقم هیل بیشترین میزان ضریب الاستیسیته ظاهری



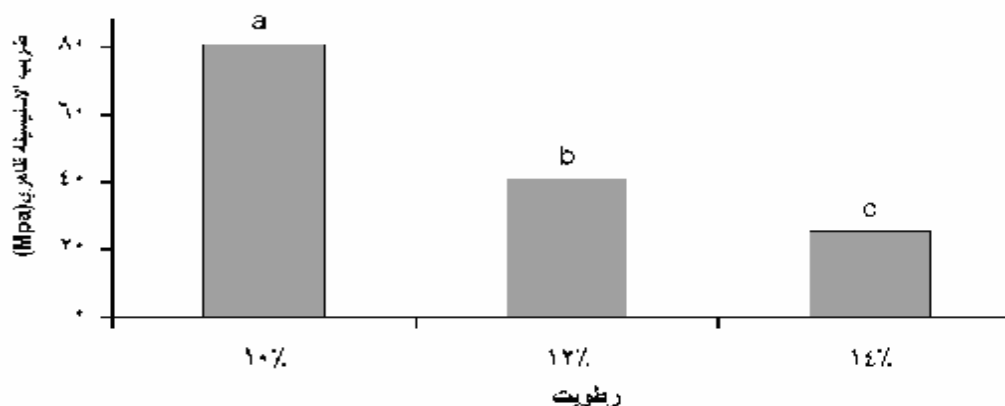
شکل 11 ضریب الاستیسیته ظاهری دانه سویا در ارقام مختلف

جدول 3 نتایج تجزیه واریانس ضریب الاستیسیته

ظاهری

متغیر	F	MS	SS	df
رقم	16/5 <sup>**</sup>	1659	3318	2
رطوبت	243/8 <sup>**</sup>	24497	48994	2
رقم × رطوبت	2/6 *	263	1052	4

نتایج مقایسه میانگین‌ها همچنین نشان داد که ضریب الاستیسیته در رطوبت 10% دارای بیشترین مقدار بوده \* معنی دار در سطح 5%  
 (80/95 MPa) و در کلاس a قرار گرفت. رطوبت 12% با میانگین ضریب الاستیسیته 41/07 مگاپاسکال در کلاس b قرار گرفت، و همچنین در رطوبت 14% کمترین ضریب الاستیسیته و در کلاس c قرار گرفت (شکل 12).  
 \*\* معنی دار در سطح 1%



شکل 12 اثر رطوبت بر ضریب الاستیسیته ظاهری دانه سویا

#### 4- نتیجه گیری

- رطوبت دانه تاثیر بسیار معنی داری (سطح احتمال 1%) بر روی نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه داشت، بطوریکه با افزایش رطوبت دانه از 10٪ به 14٪ مقدار نیرو و انرژی شکست دانه افزایش یافت.  
 - در دمای 70°C بیشترین نیروی شکست دانه به مقدار 68/11 N بدست آمد، که احتمالاً به علت چروکیدگی بیشتر دانه در این دما بوده است.  
 - فاکتورهای رقم و رطوبت تاثیر معنی داری (سطح احتمال 1%) بر روی چگرمگی دانه سویا داشتند، به طوریکه میانگین چگرمگی دانه در ارقام گرگان 3، پرشینگ و هیل به ترتیب 311، 282 و 246 ژول بر دسی متر

از آنجائیکه شیب منحنی نیرو- تغییر شکل تاثیر زیادی بر پارامتر ضریب الاستیسیته دارد، لذا با توجه به اینکه در رطوبت‌های بالا شیب منحنی (نسبت تغییرات نیرو به تغییر شکل) کمتر از رطوبت‌های پائین می‌باشد، مقدار ضریب الاستیسیته دانه، با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد. در مقایسه نتایج بدست آمده برای این پارامتر با تحقیقات انجام شده در این زمینه، مشاهده شد که تا حدودی با نتایج پائولسن بر روی دانه سویا (در رطوبتهای مشابه) یکسان می‌باشد، که در تحقیق وی با افزایش رطوبت از 9% به 20% مقدار ضریب الاستیسیته ظاهری دانه از 158 MPa به 42 MPa کاهش یافت [7].

- [8] Liu, M., Haghghi, K., Stroshine, R. L. and Ting, E. C. (1990). Mechanical properties of the soybean cotyledon and failure strength of soybean kernels. *American Society of Agricultural Engineering*. 33(2):559-566.
- [9] Ahmadi Chenarbon, H., Hashemini, S. M. (2005). The study of mechanical properties of soybean kernel under compressive loading. 9<sup>th</sup> International Conference on Agrophysics, Loblin, Poland.
- [10] onak, M., Karman, K. and Aydin, C. (2002). Physical properties of chick pea seeds. *Biosystems Engineering*. 82(1):73-78.
- [11] Khazaei, J. (2003). Force Requirement for Pulling off Chick Pea Pods as Well as Fracture Resistance of Chick Pea Pods and Grains. PhD Thesis, University of Tehran, Iran.
- [12] ASAE. (2001). ASAE Standard S352.2: Moisture measurement-unground grain and seeds. In: ASAE Standards 2001, ASAE, St. Joseph, MI.
- [13] ASAE. (2001). ASAE Standard S368.4: Compression test of food materials of convex shape. In: ASAE Standards 2001, ASAE, St. Joseph, MI.
- [14] Arnold, P. C. and Robert, A. W. (1969). Fundamental aspects of load-deformation behavior of wheat grains. *Transactions of the ASAE*. 18(1):104-108.
- [15] Misra, R. N. and Yong, J. H. (1981). A mode for predicting the effect of moisture content on the modulus of elasticity of soybean. *Transactions of the ASAE*. 34(5):2135-2138
- مکعب بدست آمد. همچنین بیشترین مقدار این پارامتر در رطوبت 14٪ به میزان  $501/6 \text{ J/dm}^3$  مشاهده گردید.
- بر اساس نتایج تجزیه واریانس مربوط به ضریب الاستیسیته ظاهری دانه سویا مشخص شد، که رقم و رطوبت دانه تاثیر بسیار معنی داری (سطح احتمال 1%) بر روی مقدار این پارامتر دارند. و با افزایش رطوبت مقدار این پارامتر کاهش می یابد.

## 5- منابع

- [1] Por Azarang, H. (2002). Unit Operation in Agricultural Material Processing. 1<sup>st</sup> edn. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran.
- [2] Lewis, R. S. (1989). Physical Properties of Food and Food Processing Systems. 1<sup>st</sup> edn. Chichester. Ellis Horwood, UK.
- [3] Sitkei, G. (1986). Mechanics of Agricultural Materials. 1<sup>st</sup> edn. Elsevier Science Pub. Co., New York.
- [4] Foutz, T. L., Thompson, S. A. and Evans, M. D. (1993). Comparison loading response of packed grain and individual kernels. *Transactions of the ASAE*. 36(2):569-576.
- [5] Bargale, P.C. and Irudayaraj, J. (1995). Mechanical strength and rheological behavior of barley kernels. *Journal of Food Science and Technology*. 30:609-623.
- [6] Saadat Lajvardi, N (1980). Oil Seeds. Tehran University Publication, Tehran, Iran.
- [7] Paulsen, M. R. (1978). Fracture resistance of soybeans to compressive loading. *Transactions of the ASAE*. 21(6):1210-1216.

## Mechanical properties determination of Soybean seed by quasi-static loading

Alemi, H.<sup>1</sup>, Khoshtaghaza, M. H.<sup>2\*</sup>, Minaee, S.<sup>2</sup>

1- M.Sc. Graduate, Agricultural Engineering Dept. of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Agricultural Engineering Dept. of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Effect of variety, moisture and drying temperature on mechanical properties of soybean (failure force and energy, apparent modulus of elasticity and toughness) were studied. These properties were measured through quasi-static loading experiment by material testing machine. Factorial test with Randomized Block design was used to study the effect of drying parameters including final moisture content (3 levels: 10, 12 and 14% d.b.) and temperature (at 3 levels: 50, 60 and 70 °C) and varieties (Hill, Pershing and Gorgan3) on mechanical properties of soybean. The results showed that both drying factors (final moisture content and temperature) had significant effect on the force and energy failure. So that by increasing final moisture content from 10% to 14%, the failure force and energy increased from 47.5 N and 10 mJ to 82 N and 56 mJ, respectively. This different behavior of soybean in relation to other grains is due to a high amount of fat in soybean structure. Also by increasing drying temperature from 50°C to 70°C, the seed failure force was increased. Investigation of the effects of variety and moisture factors on toughness and apparent elasticity modulus showed that variety and moisture content had significant effect on three factors. Soybean elasticity modulus was 80.95 MPa at 10% moisture content, which by increasing moisture content to 14%, it decreased to 25.56 MPa.

**Key words:** Failure force and energy, Modulus of elasticity, Toughness, Moisture, Drying temperature,

---

\* Corresponding author E-mail: [khoshtag@modares.ac.ir](mailto:khoshtag@modares.ac.ir)