

برخی خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی

منصور راسخ*

دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۲۰)

چکیده

در این تحقیق برخی خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی رقم کامران شامل تغییر شکل در نقطه گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی در آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ عامل، شامل ۴ محتوای رطوبتی (۷/۴۳، ۹، ۱۰/۵ و ۱۲ درصد بر پایه خشک)، ۴ سرعت بارگذاری (۵، ۳۰، ۵۵ و ۸۰ میلی‌متر بر دقیقه) و ۳ اندازه دانه (کوچک، متوسط و بزرگ) تعیین شد. نتایج نشان داد که رطوبت در سطح احتمال ۱ درصد بر کلیه خواص مکانیکی اثر معنی‌دار دارد. با افزایش رطوبت، انرژی لازم برای گسیختگی، چغرمگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش یافته در حالیکه نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت بارگذاری تغییر شکل در نقطه گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی و چغرمگی کاهش می‌یابد. با افزایش اندازه دانه تغییر شکل در نقطه گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی افزایش می‌یابد. اثر متقابل ۳ تایی رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه برای تغییر شکل در نقطه گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد و برای انرژی لازم برای گسیختگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است ولی برای نیروی لازم برای گسیختگی و چغرمگی معنی‌دار نشده است.

کلید واژگان: لوبیا چشم بلبلی، خواص مکانیکی، چغرمگی، گسیختگی

* مسئول مکاتبات: marasekh@gmail.com

۱- مقدمه

یکی از راه‌های اصولی برای جلوگیری از بروز صدمات مکانیکی، شناخت ویژگی‌های مقاومتی محصول تحت شرایط مختلف است. برای حصول به این اطلاعات، انجام آزمون‌های مکانیکی مانند آزمون فشاری مفید خواهد بود. به منظور کسب نتایج مفید از آزمایش‌ها به صورت اطلاعات قابل درک و قابل استفاده در طراحی مهندسی، مطالعه بر روی رفتار منحنی نیرو-تغییر شکل محصولات کشاورزی حاصل از آزمون فشاری ضروری است. نیروی لازم برای گسیختگی دانه معیار مناسبی برای طراحی با کارایی و کیفیت بالاتر می‌باشد که از آن می‌توان به عنوان اصول اولیه و اساسی در طراحی و تنظیم قسمت‌های مختلف ماشین‌هایی که با دانه در ارتباط می‌باشند، استفاده کرد [۱]. اطلاع از خواص مکانیکی و فاکتورهای موثر در گسیختگی محصولات کشاورزی برای مدل‌سازی و طراحی سیستم‌های خردکن و ماشین‌های پس از برداشت اهمیت دارد [۲]. همچنین تعیین نیرو و انرژی لازم برای گسیختگی دانه تحت اثر نیروهای شبه استاتیک برای مدل‌سازی و پیش‌گویی رفتار ماده در بارگذاری دینامیک، هنگام حمل و نقل و فرآوری دانه مفید هستند [۳]. بدین منظور از آزمون فشاری بر روی محصولات کشاورزی به منظور استخراج پارامترهایی که در طراحی سیستم‌های فرآوری و پس از برداشت مفید هستند، استفاده می‌شود [۴].

در تحقیقی اثر رطوبت، رقم و دمای خشک کردن بر خواص مکانیکی دانه سویا شامل نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی، چغرمگی و ضریب کشسانی ظاهری تحت بارگذاری شبه استاتیک تعیین شد. در این تحقیق اثر پارامترهای خشک‌کن شامل سه سطح رطوبت (۱۰، ۱۲ و ۱۴ درصد بر مبنای خشک)، سه سطح دمای خشک کردن (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) و سه رقم سویا (هیل، پرشینگ و گرگان ۳) بر خواص مکانیکی دانه سویا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد هر دو پارامتر رطوبت و دما تاثیر معنی‌داری بر نیروی لازم برای گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه دارند. به طوری‌که با افزایش رطوبت از ۱۰ به ۱۴ درصد مقادیر نیروی لازم برای گسیختگی و انرژی لازم

برای گسیختگی افزایش داشته است و با افزایش دمای خشک کردن از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس، نیروی لازم برای گسیختگی دانه نیز افزایش می‌یابد. همچنین معلوم شد رقم و رطوبت تاثیر معنی‌داری بر چغرمگی و ضریب کشسانی ظاهری دارند به طوری‌که ضریب کشسانی ظاهری دانه سویا با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد [۵]. در تحقیق دیگری اثر اندازه دانه در ۳ سطح (ریز، متوسط و درشت)، رطوبت در سه سطح (۷، ۱۲ و ۱۶ درصد بر پایه تر) و جهت بارگذاری در دو سطح (پهلوی و از رو) بر نیروی لازم برای گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه سه رقم نخود ایرانی (بیونژ، کاکا و جم) تحت اثر نیروهای شبه استاتیک مطالعه شد. نتایج نشان داد هر ۴ عامل اندازه دانه، رقم، رطوبت دانه و جهت بارگذاری تاثیر معنی‌داری بر نیروی لازم برای گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه دارند. همچنین با افزایش رطوبت از ۷ به ۱۶ درصد، نیروی لازم برای گسیختگی کاهش و انرژی لازم برای گسیختگی افزایش داشت. نیرو و انرژی لازم برای گسیختگی دانه در بارگذاری از پهلوی بطور معنی‌داری بیشتر از بارگذاری از رو بدست آمد [۳].

در پژوهشی دیگر خواص مکانیکی دانه لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر در یک آزمایش فاکتوریل با سه عامل رطوبت، جهت بارگذاری و سرعت بارگذاری تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد اثر متقابل سه تایی رطوبت، سرعت بارگذاری و جهت بارگذاری و اثر متقابل ۲ تایی رطوبت و سرعت بارگذاری بر چغرمگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. به طوری‌که با افزایش رطوبت، نیروی لازم برای گسیختگی کاهش ولی انرژی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش داشته است. همچنین نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی در بارگذاری در جهت عرض دانه بیشتر از بارگذاری در جهت ضخامت دانه بوده است. علاوه بر این، با افزایش سرعت بارگذاری نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی کاهش داشته است و اثر متقابل ۲ تایی

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق لوبیا چشم بلبلی رقم کامران مورد استفاده قرار گرفت، که پس از تهیه به آزمایشگاه خواص بیوفیزیک گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شد. برای بدست آوردن رطوبت اولیه، پنج نمونه لوبیا چشم بلبلی با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای 103 ± 1 درجه سانتی‌گراد در اجاق آزمایشگاهی قرار داده شدند [۶]. میانگین رطوبت اولیه لوبیا چشم بلبلی معادل $7/43$ درصد بر پایه خشک بدست آمد. با توجه به اینکه محدوده رطوبت $7/4$ تا 12 محدوده متداول رطوبتی در مرحله انبارداری و برداشت است، لذا آزمایش‌ها در 4 سطح رطوبتی $7/43$ ، 9 ، $10/5$ و 12 درصد انجام شدند. پس از تعیین رطوبت اولیه، نمونه‌های دو کیلوگرمی از لوبیا به طور تصادفی انتخاب شدند. مقدار آب مورد نیاز برای اضافه کردن به توده اولیه برای حصول به رطوبت‌های مورد نظر از رابطه ۱ محاسبه گردید [۱۱].

(۱)

$$Q = \frac{W_i (M_f - M_i)}{100 - M_f}$$

در رابطه (۱):

Q = میزان آبی که برای رساندن لوبیا چشم بلبلی به رطوبت مورد نظر لازم است (گرم).

W_i = وزن نمونه لوبیا چشم بلبلی (گرم).

M_i = رطوبت اولیه لوبیا چشم بلبلی (درصد).

M_f = رطوبت ثانویه لوبیا چشم بلبلی (درصد).

پس از محاسبه مقدار آب لازم و اضافه کردن آب به نمونه‌ها، نمونه در ظرف پلاستیکی درب‌دار ریخته شده و پس از به هم زدن، به مدت ۷۲ ساعت در یخچال قرار داده شدند تا به رطوبت تعادلی برسند [۶].

برای انجام آزمون فشاری از دستگاه آزمایش کشش - فشار^۱ مدل STM-20 ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام^۲ استفاده شد. دستگاه آزمون مورد استفاده در این

رطوبت و جهت بارگذاری بر چغرمگی، نیروی لازم برای گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است [۶]. در تحقیق دیگری آلتونتاس و یلدز (۲۰۰۵) اثر محتوای رطوبتی را بر خواص مکانیکی باقلا تعیین کردند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش رطوبت تغییر شکل در نقطه شکست و انرژی لازم برای شکست افزایش ولی نیروی لازم برای شکست کاهش می‌یابد [۷]. تکین و همکاران (۲۰۰۶) خواص مکانیکی لوبیا را به صورت تابعی از محتوای رطوبتی تعیین کردند. آنها دریافتند مقاومت در برابر پوست شدگی دانه‌های لوبیا با افزایش محتوای رطوبتی، از $100/76$ به $59/01$ نیوتن کاهش می‌یابد [۸]. خزایی (۲۰۰۸)، اثر سرعت ضربه و محتوای رطوبتی را بر آسیب‌های مکانیکی دانه‌های لوبیا سفید تحت بارگذاری ضربه‌ای مورد بررسی قرار داد. وی نشان داد سرعت ضربه و محتوای رطوبتی به میزان قابل توجهی بر آسیب‌های فیزیکی لوبیا موثر است. همچنین با افزایش سرعت ضربه از 5 به 12 متر بر ثانیه، آسیب مکانیکی از $37/5$ به $37/5$ درصد افزایش می‌یابد و با افزایش محتوای رطوبتی از 5 به 15 درصد، میانگین دانه‌های آسیب دیده $1/4$ برابر کاهش پیدا می‌کند [۹].

سطح زیر کشت و مقدار تولید لوبیا در ایران در سال 1390 به ترتیب برابر با 90844 هکتار و 194111 تن و در جهان به ترتیب برابر با 2992096 هکتار و 23230034 تن می‌باشد [۱۰]. با توجه به اینکه تا به حال تحقیقی برای تعیین خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی صورت نگرفته است. لذا با توجه به اهمیت موضوع و ضرورت اطلاع از خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی به منظور استفاده در سیستم‌های فرآوری لوبیا چشم بلبلی، تحقیق حاضر با اهداف زیر انجام شده است:

۱- تعیین خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی شامل چغرمگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی.

۲- بررسی تاثیر رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی.

1. Tensile - compression Apparatus

2. SANTAM

$V =$ حجم دانه لوبیا چشم بلبلی (میلی متر مکعب).

حجم دانه با استفاده از حجم بیضی گون معادل و بر اساس رابطه (۳) بدست آمد [۱۴].

(۳)

$$V = \frac{\pi}{6} LWT$$

در رابطه (۳):

$T =$ ضخامت لوبیا چشم بلبلی (میلی متر) (اندازه بعد عمود بر عرض).

$L =$ طول لوبیا چشم بلبلی (میلی متر).

$W =$ عرض لوبیا چشم بلبلی (میلی متر).

برای اندازه گیری ابعاد از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی متر استفاده شده است.

تجزیه واریانس نتایج طی یک آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین های سطوح مختلف تیمارها با آزمون مقایسه میانگین چند دامنه ای دانکن و با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد. متغیرهای مستقل شامل ۴ محتوای رطوبتی (۷/۴۳، ۹، ۱۰/۵ و ۱۲ درصد بر پایه خشک)، ۳ اندازه دانه کوچک (کمتر از ۰/۱ گرم)، متوسط (۰/۱-۰/۲ گرم) و بزرگ (بیشتر از ۰/۲ گرم) و ۴ سرعت بارگذاری (۵، ۳۰، ۵۵ و ۸۰ میلی متر بر دقیقه) است. برای اندازه گیری وزن دانه ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل رطوبت، اندازه دانه و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی در جدول شماره ۱ نشان داده شده اند.

تحقیق مجهز با بارسنج BONGSHIN مدل DBBP-100 با ظرفیت ۱۰۰kgf بود. آزمون فشاری بدین ترتیب انجام شد که دانه لوبیا بین دو فک دستگاه قرار داده شدند و دستور شروع آزمایش توسط رایانه ای که به دستگاه مرتبط بود صادر می شد. هر دو فک به صورت صفحه تخت بوده و فک پایینی ثابت و فک بالایی متحرک بود. فشار تا جایی بر نمونه ها وارد می شد که همراه با شنیدن صدای شکست نمونه (بویژه در سطوح رطوبتی پایین) و یا کاهش نیروی گسیختگی در نمودار نیرو-تغییر شکل حادث می شد.

پس از انجام هر آزمایش نمودار نیرو-تغییر شکل بارگذاری و داده های متناظر نیرو و تغییر شکل در نرم افزار اکسل ذخیره شدند. همان طور که مشاهده می شود، پس از ایجاد گسیختگی، مخصوصاً در نمونه هایی با رطوبت کم، نیرو به طور ناگهانی افت می کرد. در نقطه ای که گسیختگی در آن ایجاد می شد، نیروی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی مستقیماً با استفاده از نمودار نیرو-تغییر شکل و داده های متناظر نیرو-تغییر شکل ذخیره شده تعیین شدند و انرژی لازم برای گسیختگی و چگرمگی با استفاده از این نمودارها محاسبه شدند. برای این منظور از لحظه شروع بارگذاری تا لحظه گسیختگی نمونه ها، سطح زیر منحنی نیرو-تغییر شکل تا نقطه گسیختگی که برابر با انرژی لازم برای گسیختگی است، محاسبه شد [۱۲]. چگرمگی طبق رابطه (۲) از تقسیم انرژی لازم برای گسیختگی لوبیا چشم بلبلی بر حجم معادل نمونه لوبیا چشم بلبلی بدست آمد [۱۳].

(۲)

$$T_n = \frac{E_b}{V}$$

در رابطه (۲):

$E_b =$ انرژی لازم برای گسیختگی لوبیا چشم بلبلی (میلی ژول).

$T_n =$ چگرمگی لوبیا چشم بلبلی (میلی ژول بر میلی متر مکعب).

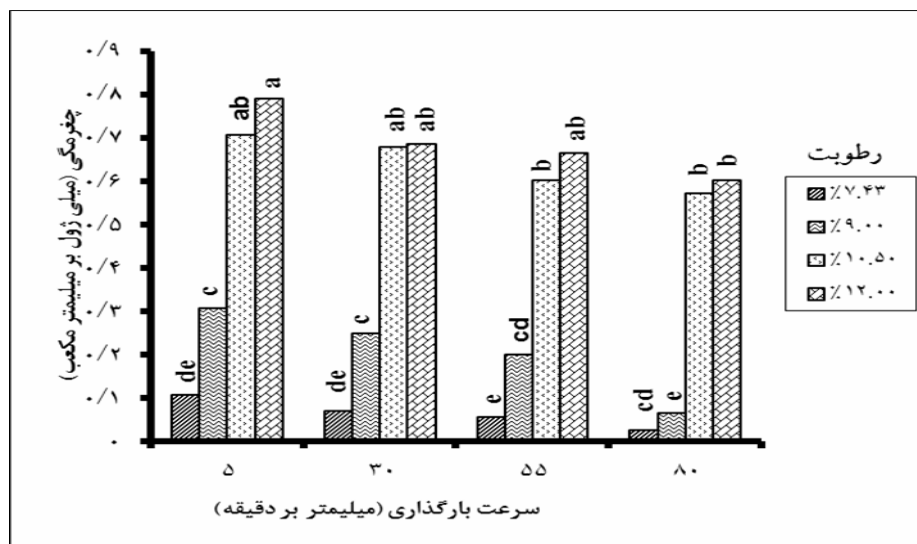
جدول ۱ نتایج حاصل از تجزیه واریانس خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی

میانگین مربعات					
منبع تغییرات	درجه آزادی	چغرمگی (میلی ژول بر میلیمتر مکعب)	نیروی لازم برای گسیختگی (نیوتن)	تغییر شکل در نقطه گسیختگی (میلیمتر)	انرژی لازم برای گسیختگی (میلی ژول)
سرعت	۳	۰/۰۲۲ ^{n.s}	۱۴۷۱/۸۱۹ ^{n.s}	۰/۱۳۵ ^{**}	۱۴۳۵/۷۸ ^{n.s}
رطوبت	۳	۷/۵۹۲ ^{**}	۱۱۳۵۲/۱۸ ^{**}	۱۹/۱۱۹ ^{**}	۱۵۸۵۰۴/۶۱۴ ^{**}
سرعت و رطوبت	۹	۰/۰۸۲ ^{**}	۳۲۹۱/۱۱۳ [*]	۰/۰۹۲ ^{**}	۲۴۸۵/۱۰۵ ^{**}
اندازه دانه	۲	۴/۱۵۸ ^{**}	۷۵۶۸/۸۲۸ [*]	۰/۱۵۶ ^{**}	۶۶۹/۹۸۴ ^{n.s}
سرعت و اندازه دانه	۶	۰/۰۴۷ ^{n.s}	۴۱۱۶/۸۷۷ [*]	۰/۱۱۸ ^{**}	۱۶۲۸/۹۸۷ [*]
رطوبت و اندازه دانه	۶	۰/۴۵۵ ^{**}	۵۹۵۲/۵۲۱ ^{**}	۰/۱۴۷ ^{**}	۲۳۰۹/۳۰۶ ^{**}
سرعت، رطوبت و اندازه دانه	۱۸	۰/۰۴۱ ^{n.s}	۱۵۳۴/۸۲۸ ^{n.s}	۰/۰۹۷ ^{**}	۱۱۱۷/۲۶۶ [*]
خطا	۲۸۸	۰/۰۴۴	۱۶۳۸/۷۲۳	۰/۰۳۲	۶۲۴/۷۸۲
کل	۳۵۵				

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n.s}: عدم وجود اختلاف معنی دار

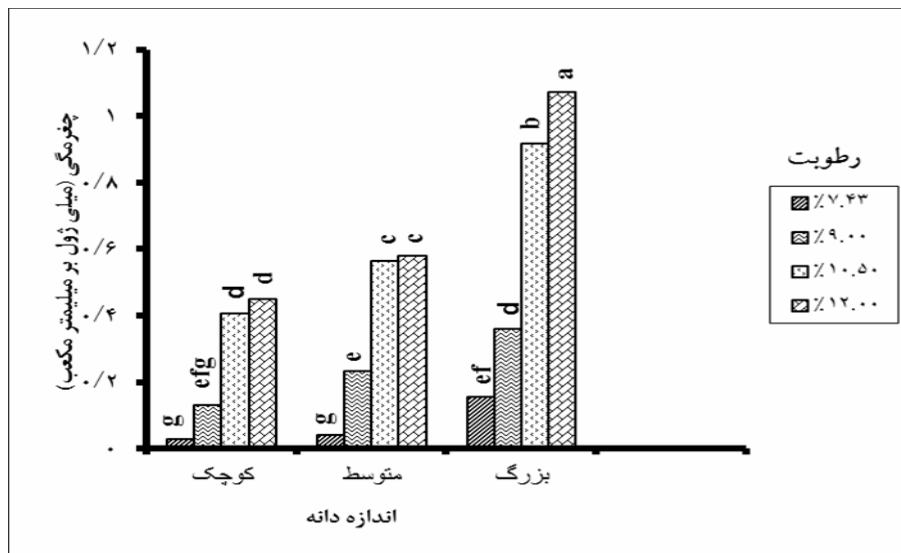
۲ تایی اندازه دانه و رطوبت برای چغرمگی نشان داده شده است.

در شکل های ۱ و ۲ به ترتیب میانگین اثر متقابل ۲ تایی رطوبت و سرعت بارگذاری و اثر متقابل



شکل ۱ میانگین اثر متقابل ۲ تایی رطوبت و سرعت بارگذاری برای چغرمگی (LSD= ۰/۱۲۷۴)

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n.s}: عدم وجود اختلاف معنی دار



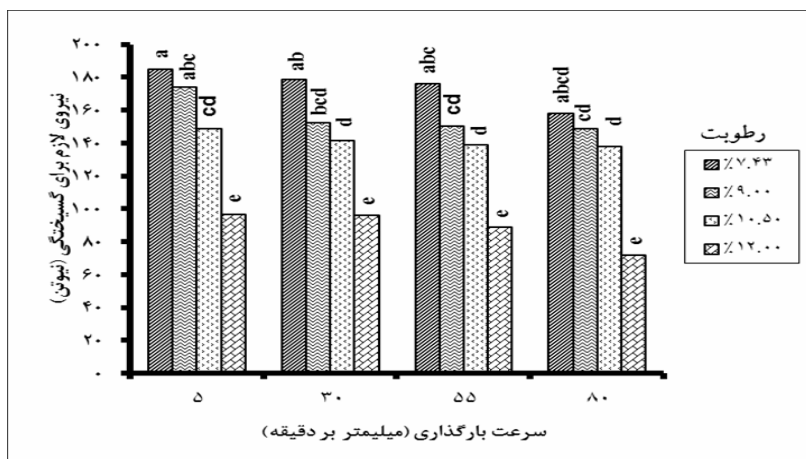
شکل ۲ میانگین اثر متقابل ۲ تایی اندازه دانه و رطوبت برای چغرمگی (LSD= ۰/۱۱۰۳)

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{ns}: عدم وجود اختلاف معنی دار

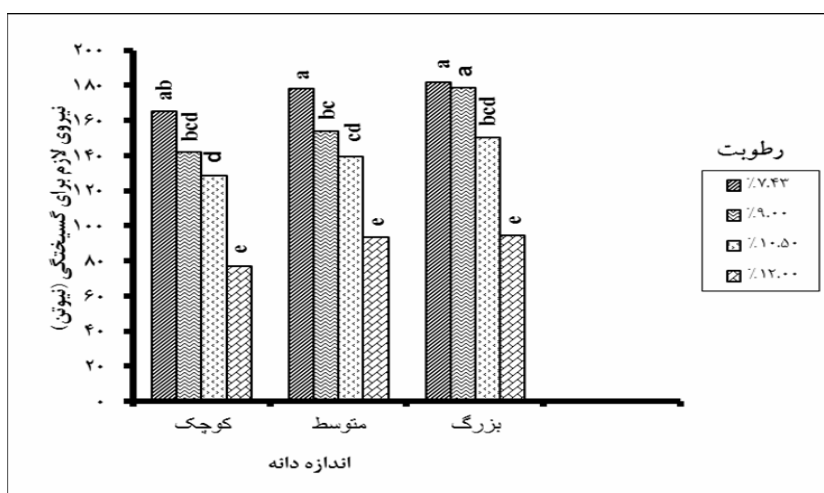
برای گسیختگی نیز افزایش می یابد. این نتیجه با نتایج تحقیق زکی دیزجی و مینایی (۲۰۰۷)، برای دانه نخود [۱۵] و بارابووا همکاران (۲۰۰۸) برای دانه میوه درخت جوز آفریقایی مطابقت دارد [۱۶]. همچنین اسد زاده (۲۰۱۱)، نتیجه گیری کرد با افزایش سرعت بارگذاری برای پنبه دانه چغرمگی دانه کاهش می یابد [۱۷]. در شکل ۲ مشخص است که با افزایش اندازه دانه چغرمگی افزایش یافته است. علت این امر این است که بنا به شکل های ۴ و ۵ با افزایش اندازه دانه در هر سطح رطوبتی و هر سرعت بارگذاری، نیروی لازم برای گسیختگی دانه افزایش می یابد و از آنجایی که چغرمگی با انرژی لازم برای گسیختگی نسبت مستقیم دارد لذا با افزایش اندازه دانه چغرمگی دانه افزایش می یابد. قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، نتیجه گیری کرد با افزایش اندازه دانه های لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر، چغرمگی دانه افزایش می یابد [۶].

در شکل های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب میانگین های اثر متقابل ۲ تایی سرعت بارگذاری و رطوبت، اثر متقابل ۲ تایی رطوبت و اندازه دانه و اثر متقابل ۲ تایی سرعت بارگذاری و اندازه دانه برای نیروی لازم برای گسیختگی دانه لوبیا نشان داده شده است.

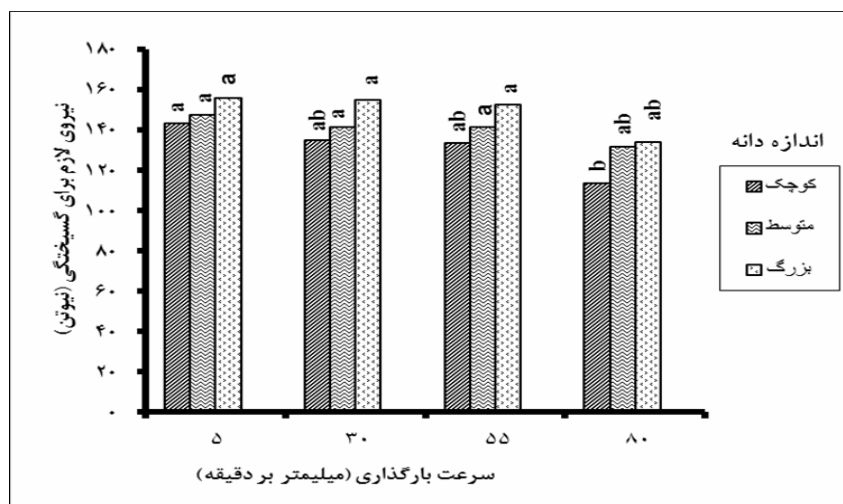
همانطور که در شکل ۱ مشخص است چغرمگی با افزایش سرعت بارگذاری کاهش و با افزایش رطوبت دانه افزایش یافته است. به طوری که کمترین مقدار آن برای سرعت بارگذاری ۸۰ میلی متر بر دقیقه و رطوبت ۷/۴۳ درصد برابر با ۰/۵۸ میلی ژول بر میلی متر مکعب و بیشترین مقدار آن در سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه و رطوبت ۱۲ درصد برابر با ۰/۷۹۱ میلی ژول بر میلی متر مکعب است. دلیل کاهش چغرمگی با افزایش سرعت بارگذاری این است که با افزایش سرعت بارگذاری نیروی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی کاهش می یابد (شکل ۳) و با توجه به اینکه چغرمگی ارتباط مستقیم با انرژی لازم برای گسیختگی دارد و انرژی لازم برای گسیختگی نیز ارتباط مستقیم با نیروی لازم برای گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی دارد لذا چغرمگی با افزایش سرعت بارگذاری کاهش می یابد. همچنین از شکل های ۱ و ۲ مشخص است که با افزایش رطوبت چغرمگی افزایش می یابد. در واقع با افزایش رطوبت، بافت دانه نرم تر می شود و لذا تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می یابد و با افزایش تغییر شکل در نقطه گسیختگی انرژی لازم



شکل ۳ میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت برای نیروی لازم برای گسیختگی (LSD= ۲۱/۲۹) ** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n.s}: عدم وجود اختلاف معنی دار



شکل ۴ میانگین اثر متقابل رطوبت و اندازه دانه برای نیروی لازم برای گسیختگی (LSD= ۲۴/۵۹) ** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n.s}: عدم وجود اختلاف معنی دار



شکل ۵ میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و اندازه دانه برای نیروی لازم برای گسیختگی (LSD= ۲۱/۱۸) ** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n.s}: عدم وجود اختلاف معنی دار

مشکین شهر [۶]، بداغی (۲۰۰۹)، برای رقم بادام درختی (آذر و نون پاریل) [۱۸] و زینالی (۲۰۱۱)، برای فندق [۱۹] به نتیجه مشابهی رسیدند.

کاهش نیروی لازم برای گسیختگی با افزایش رطوبت دانه به این دلیل است که در اثر جذب رطوبت توسط دانه، بافت دانه نرم تر می شود و لذا مقاومت کمتری برای گسیختگی نشان می دهد. اسد زاده، (۲۰۱۱)، برای پنبه دانه [۱۷] و همچنین قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، برای لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر [۶]، بداغی (۲۰۰۹)، برای رقم بادام درختی (آذر و نون پاریل) [۱۸] و زینالی (۲۰۱۱)، برای فندق [۱۹] به نتیجه مشابهی رسیدند. علت افزایش نیروی لازم برای گسیختگی با افزایش اندازه دانه (شکل ۴) این است که دانه های بزرگ معمولاً دارای بافتی محکم تر نسبت به دانه های کوچکتر بوده و لذا مقاومت بیشتری تا نقطه گسیختگی نشان می دهند. قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، ادعا کرد برای لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر با افزایش اندازه دانه، نیروی لازم برای گسیختگی دانه افزایش می یابد [۶]. در جدول شماره ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی نشان داده شده است.

از شکل های ۳ و ۵ مشخص است با افزایش سرعت بارگذاری نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می یابد و از شکل های ۳ و ۴ معلوم می شود با افزایش رطوبت دانه نیروی لازم برای گسیختگی دانه کاهش می یابد به طوری که کمترین مقدار آن در رطوبت ۱۲ درصد و سرعت بارگذاری ۸۰ میلی متر بر دقیقه برابر با ۷۱/۹۶ نیوتن و بیشترین مقدار آن در رطوبت ۷/۴۳ درصد و سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه برابر با ۱۸۵/۲ نیوتن می باشد. همچنین از شکل ۴ مشخص است نیروی لازم برای گسیختگی دانه با افزایش اندازه دانه افزایش می یابد. به طوری که بیشترین مقدار آن برای اندازه دانه بزرگ و در رطوبت ۷/۴۳ برابر با ۱۸۲/۱ نیوتن و کمترین مقدار آن برای اندازه دانه کوچک و رطوبت ۱۲ درصد برابر با ۷۷/۲۱ نیوتن می باشد. علت کاهش نیروی لازم برای گسیختگی با افزایش سرعت بارگذاری این است در بارگذاری در سرعت های بالاتر، دلیل برخورد سریع تر فک متحرک دستگاه به دانه، نیروی لازم برای گسیختگی کاهش یافته و دانه ها در نیروی کمتری گسیخته می شوند. اسدزاده (۱۳۹۰)، ادعا کرد با افزایش سرعت بارگذاری، نیروی شکست پنبه دانه کاهش می یابد [۱۷]. همچنین قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، برای لوبیا چیتی رقم محلی

جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی

(LSD= ۰/۱۸۸۲)

	اندازه دانه		رطوبت	سرعت بارگذاری (میلیمتر بر دقیقه)
	متوسط	کوچک		
۰/۳۴۳ lmnopq	۰/۲۲۳ mnopq	۰/۲۰۶ nopq	۷/۴۳	۵
۰/۵۳۹ l	۰/۵۱۹ l	۰/۴۴۶ lm	۹	
۱/۱۸۸ cdefg	۰/۹۸۴ ghij	۰/۸۲۹ ijk	۱۰/۵	
۱/۷ a	۱/۳۳۷ bc	۱/۱۷۲ cdefg	۱۲	۳۰
۰/۲۲۷ mnopq	۰/۱۸ pq	۰/۱۷۲ pq	۷/۴۳	
۰/۴۶۳ l	۰/۴۱۳ lmno	۰/۳۸۴ lmnop	۹	
۱/۰۰۲ fghij	۰/۸۷۵ hijk	۰/۸۲۵ ijk	۱۰/۵	۵۵
۱/۴۴۶ b	۱/۲۸۵ bcd	۱/۱۵۵ cdefg	۱۲	
۰/۱۹۴ opq	۰/۱۷۶ pq	۰/۱۷ pq	۷/۴۳	
۰/۴۲۵ lmn	۰/۳۹۵ lmnop	۰/۳۷۸ lmnop	۹	۸۰
۰/۹۹۸ fghij	۰/۸۶۶ hijk	۰/۷۹۶ jk	۱۰/۵	
۱/۳۵ bc	۱/۲۲۹ cde	۱/۰۴۳ efghi	۱۲	
۰/۱۹۳ opq	۰/۱۶۷ pq	۰/۱۴۶ q	۷/۴۳	
۰/۴۱ lmno	۰/۳۸ lmnop	۰/۳۴۴ lmnopq	۹	
۰/۹۳۷ hijk	۰/۸۵۱ hijk	۰/۷۴۵ k	۱۰/۵	
۱/۲۲۳ cde	۱/۲۱۶ cdef	۱/۰۰۲ fghij	۱۲	

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n.s}: عدم وجود اختلاف معنی دار

سرعت بارگذاری کاهش یافته است. این نتیجه با نتیجه تحقیق قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، برای لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر [۶]، بداغی (۲۰۰۹)، برای دو رقم بادام درختی [۱۸] و اسد زاده (۲۰۱۱)، برای پنبه دانه مطابقت دارد. همچنین در هر یک از سرعت‌های بارگذاری دانه‌های بزرگ نسبت به دانه‌های متوسط و دانه‌های متوسط نسبت به دانه‌های کوچک، تغییر شکل بیشتری در نقطه گسیختگی دارند. قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، در بارگذاری فشاری لوبیا چیتی رقم محلی مشکین شهر نتیجه‌گیری کرد با افزایش اندازه دانه، تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می‌یابد [۶].

در جدول شماره ۳ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر انرژی لازم برای گسیختگی نشان داده شده است.

جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر انرژی لازم برای گسیختگی

(LSD= ۲۶/۳)

سرعت بارگذاری (میلیمتر بر دقیقه)	اندازه دانه			رطوبت
	متوسط	کوچک	بزرگ	
۵	۸/۱۵۶ k	۷/۱۹۱ k	۱۹/۷۴ jk	۷/۴۳
	۴۲/۹۷ ghij	۳۲/۵۷ ijk	۴۷/۶۴ ghij	۹
	۹۰/۶۵ bcde	۷۸/۰۱ cdef	۱۰۵/۷ bc	۱۰/۵
	۱۱۲/۵ b	۱۰۷/۴ bc	۱۵۴/۱ a	۱۲
	۸/۱۱۷ k	۶/۱۳۹ k	۱۰/۴۵ k	۷/۴۳
۳۰	۲۷/۳۴ ijk	۲۶/۵۶ ijk	۳۷/۳۱ hijk	۹
	۸۱/۳۲ bcdef	۶۳ efg	۹۱/۴۸ bcde	۱۰/۵
	۱۰۴/۱ bcd	۹۹/۵۳ bcd	۱۱۲ b	۱۲
	۶/۷۷۲ k	۵/۸۹۵ k	۹/۰۲۴ k	۷/۴۳
	۲۷/۲۱ ijk	۲۶/۴ ijk	۳۱/۴ ijk	۹
۵۵	۸۰/۷۶ bcdef	۶۲/۴۹ efg	۹۰/۹۲ bcde	۱۰/۵
	۱۰۲/۸ bcd	۹۶/۷۳ bcd	۱۰۹/۱ bc	۱۲
	۵/۳۱۴ k	۴/۹۵۷ k	۸/۶۵ k	۷/۴۳
	۲۵/۶۲ ijk	۲۰/۳ jk	۲۸/۷۶ ijk	۹
	۷۲/۵۴ defg	۵۷/۲۳ fghi	۸۹/۱۳ bcde	۱۰/۵
۸۰	۸۵/۵۲ bcdef	۸۳/۴۱ bcdef	۱۰۳/۳ bcd	۱۲

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{n,s}: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

از جدول ۳ مشخص است با افزایش رطوبت و اندازه دانه انرژی لازم برای گسیختگی افزایش می‌یابد و با افزایش سرعت بارگذاری، انرژی لازم برای گسیختگی دانه کاهش می‌یابد. به طوری که کمترین آن برای سرعت ۸۰ میلی‌متر بر دقیقه، رطوبت ۷/۴۳ و اندازه دانه کوچک برابر با ۴/۹۵۷ میلی‌ژول و بیشترین

مقدار آن برای سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه، رطوبت ۱۲ درصد و اندازه دانه بزرگ برابر با ۱۵۴/۱ میلی‌ژول است. انرژی لازم برای گسیختگی برابر با سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل تا نقطه گسیختگی است. لذا با توجه به افزایش تغییر شکل در نقطه گسیختگی با افزایش رطوبت و

۶- منابع

- [1] Bargale, P. C., Irudayaraj, J. 1995. Some mechanical properties and stress relaxation characteristics of lentils, *Canadian Agriculture Engineering*, 36(4): 247-254.
- [2] Afkari Sayyah, A. H. and Minaei, S. 2004. Behavior of wheat kernels under quasi-static loading and its relation to grain hardness. *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol. 6: 11-19.
- [3] Khazaei, J., Rajabipour, A., Mohtasebi, S and Behrozielar, M. 2004. Determination of force and energy required for rupture of chickpea kernel in quasi- static loading. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(3): 765-766 (In Persian).
- [4] Olaoye, J. 2000. Some physical properties of castor nut relevant to the design of processing equipment. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77(1): 113-118.
- [5] Alami, H., Khoshtayhaza, M. H and minaiei, S. 2009. Determination of mechanical properties of soybean. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 6(2): 113-124 (In Persian).
- [6] Gahhari Kermani, F. 2011. Determination of some physical and mechanical properties of a common Iranian variety of kidney bean Grains. M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran (in Persian).
- [7] Altuntaş, E. and Yildiz, M. 2005. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba L.*) grains. *Journal of Food Engineering*, 78(2007): 174-183.
- [8] Tekin, Y., Isik, E., Unal, H and Okorsoy, R. 2006. Physical and Mechanical properties of Turkish Goynuk Bombay Beans (*Phaseolus Vulgaris L.*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(12): 2229-2235.
- [9] Khazaei, J. 2008. Characteristics of mechanical strength and water absorption in almond and its kernel. *Cercetări Agronomice in Moldova*, Vol. Xli, No. 1(133).
- [10] Anonymous 2010. Agriculture Database of FAO-STAT. Available on the <http://FAOSTAT.FAO.ORG>.
- [11] Kibar, H., Öztürk, T. and Esen, B. 2010. The effect of moisture content on physical and mechanical properties of rice (*Oryza sativa L.*). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3): 741-749.

اندازه دانه (جدول ۲) و افزایش نیروی لازم برای گسیختگی با اندازه دانه (شکل ۴) این نتیجه مورد انتظار است. اسد زاده (۲۰۱۱)، نشان داد، با افزایش رطوبت پنبه دانه انرژی لازم برای گسیختگی افزایش می‌یابد [۱۷] و همچنین بدایغی (۲۰۰۹)، ادعا کرد در بارگذاری فشاری ۲ رقم بادام درختی با افزایش سرعت بارگذاری، انرژی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد [۱۸]. بنا به نتایج تحقیق قهاری کرمانی (۲۰۱۱)، معلوم شد در بارگذاری فشاری لوبیا چیتی رقم محلی مشکین‌شهر، با افزایش اندازه دانه انرژی لازم برای گسیختگی دانه افزایش می‌یابد [۶].

۴- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش رطوبت چغرمگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی افزایش ولی نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد. با افزایش اندازه دانه، نیروی لازم برای گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی، چغرمگی و انرژی لازم برای گسیختگی افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش سرعت بارگذاری، نیروی لازم برای گسیختگی، چغرمگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه افزایش رطوبت باعث نرم‌تر شدن بافت دانه و در نتیجه کاهش نیروی لازم برای گسیختگی دانه می‌شود، لذا بهتر است عملیات برداشت و پس از برداشت لوبیا چشم بلبلی در محتوای رطوبتی کمتر انجام شود تا با گسیختگی و افزایش ضایعات دانه مواجه نشویم. همچنین با توجه به اینکه افزایش سرعت بارگذاری باعث کاهش نیروی لازم برای گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه می‌شود، لذا بهتر است عملیات برداشت و پس از برداشت لوبیا چشم بلبلی در سرعت‌های بارگذاری کمتر انجام شود.

۵- سپاسگزاری

از زحمات مدیریت محترم گروه ماشینهای کشاورزی و مسئول محترم آزمایشگاه خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی سپاسگزاری می‌شود.

- african nutmeg (*Monodora myristica*) seeds to compressive loading. American-Eurasian Journal of Scientific Research, 3(1): 15-8.
- [17] Asadzade, A. H. 2011. Determination of Some Physical and Mechanical Properties of Cotton Seed. M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran (In Persian).
- [18] Bodaghi, V. 2009. Determination of Mechanical Properties of Almond and its Kernel. . M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. Iran (in persian).
- [19] Zeinali, H. 2011. Determination of Engineering Properties of Hazelnut and Its Kernel in Iranian common Varieties. M. Sc. thesis, Faculty of Agriculture. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran (In Persian).
- [12] Tavakoli, H. Mohtasebi, S. S. Rajabipour, A. and Tavakoli, M. 2009. Effect of moisture content, loading rate, and grain orientation on fracture resistance of barley grain. Research Agricultural Engineering, 55 (3): 85-93.
- [13] Sitkei, G. 1986. Mechanics of agricultural materials. Translated by S. Bars. Elsevier Science Publishers, New York. 398p.
- [14] Ünal, H., Zencirkiran, M. and Tümsavaş, Z. 2009. Some engineering properties of *Cercis siliquastrum* L. seed as a function of stratification and acid treatment durations. African Journal of Agricultural Research, Vol 4(3): 247-258.
- [15] Zaki dizaji, H and Minaei, S. 2007. Determination of mechanical properties of chickpea kernel. Iranian Journal of Food Science and Technology, 4(2): 57-65. (In Persian).
- [16] Burubai, W. Akor, A. J. Igoni, A. H. and Puyate. Y. T. 2008. Fracture resistance of

Some of mechanical properties of black-eyed pea (*Vigna sinensis L*)

Rasekh, M. *

Associate professor, Faculty of Agriculture, University of Mohagheh Ardabili.

(Received: 89/10/23 Accepted: 90/9/20)

In this research some mechanical properties of black-eye pea (*Vigna sinensis L*) including deformation at rupture point, required force to rupture, required energy to rupture and toughness were determined in a factorial experiment based on a randomized complete design with three factors including moisture content (7.43, 9, 10.5 and 12 percent in dry basis), loading velocity of 5, 30, 55 and 80 (mm/min) and seed size (small, medium and large). The results showed that grain moisture content had significant effect ($p < 1\%$) on all mechanical properties. With increasing moisture content, required energy for rupturing, toughness and deformation at rupture point increased, while required force for rupturing was decreased. By increasing the loading velocity, the deformation at rupture point, required force to rupture, required energy to rupture and toughness were decreased. By increasing the seed size, the deformation at rupture point, required force to rupture, required energy to rupture and toughness were increased. The triple interaction effect of loading velocity \times seed size \times moisture content was significant on deformation at rupture point ($p < 1\%$) and required energy to rupture ($p < 0.05$), but was not significant on the required force to rupture.

Keywords: Black-eye pea, Mechanical properties, Toughness, Rupturing

* Corresponding Author E-Mail Address: marasekh@gmail.com