نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ – کرج

برخی خواص مکانیکی لوبیا سفید

کاظم ساسانی [۱]، منصور راسخ [۲] و غیبعلی آقا جعفرچور [۳]

۱ و ۲ و ۳– به ترتیب کارشناس ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، کارشناس ارشد مکانیزاسیون کشاورزی

ایمیل مکاتبه کننده: kazemsas@gmail.com

چکیده

در این تحقیق برخی خواص مکانیکی لوبیا سفید شامل تغییر شکل در نقطه گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی طی یک آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ عامل، شامل ۴ محتوای رطوبتی (۹/۱، ۱۰/۶، ۱۲/۱ و ۱۳/۶ درصد بر پایه خشک)، ۴ سرعت بارگذاری (۲، ۵، ۸ و ۱۱ میلی‌متر بر دقیقه) و در ۳ اندازه دانه (کوچک، متوسط و بزرگ) بررسی شد. نتایج نشان داد اثر متقابل سه‌تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی درسطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. اثر متقابل دوتایی سرعت بارگذاری, رطوبت و رطوبت, اندازه دانه بر نیروی لازم برای گسیختگی لوبیا سفید در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است در حالی که اثر اصلی اندازه دانه و اثر متقابل سرعت بارگذاری و اندازه دانه همچنین اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری, رطوبت و اندازه دانه بر نیروی لازم بر گسیختگی معنی دار نشده است. اثر متقابل سه‌تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر انرژی لازم برای گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. در حالی که اثر اصلی اندازه دانه و همچنین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت بر انرژی لازم برای گسیختگی معنی دار نشده است. نیز اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری, رطوبت و اندازه دانه بر چغرمگی در نقطه گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، گسیختگی، لوبیا سفید.

مقدمه

لوبیا سفید (White Been) از جنس Phaselous و گونه ی Vulgaris می باشد. لوبیا نام نوعی گیاه و میوه خوراکی آن است. لوبیا بیش از چهار سده است که در سراسر جهان مصرف می‌شود و پیش از آن برای دنیای متمدن ناشناخته بود.

درسال ۱۵۳۳ میلادی لوبیا به نام مکزیکی اولیه اش «ایاکوک» از آمریکا به اروپا آورده شد و از آنجا به سایر نقاط جهان راه یافت و اکنون همه ساله میلیون‌ها تن به مصرف می‌رسد و یکی از مواد غذایی نسبتاً ارزان و فراوان است(Anonymoul 2010). لوبیا یکی از منابع مهم پروتئینی و تولید انرژی برای انسان است. انواع لوبیا ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین دارد. بزرگ ترین کشورهای تولید کننده ی لوبیا آمریکا، برزیل، مکزیک و چین است. استان های آذربایجان شرقی، زنجان، لرستان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری، فارس و اصفهان مهم ترین مناطق کشت این محصول در ایران می باشند(مجنون حسینی، ۱۳۷۵). سطح زیر کشت لوبیا سفید در سال ۹۰، در ایران حدود ۹۰۸٤٤ هکتار و تولید آن ۱۹٤۱۱۱ تن گزارش شده است و سطح زیر کشت آن در این سال در جهان ۲۹۹۲۰۹۰٦ هکتار و میزان تولید آن نیز ۲۳۳۲۳۰۰۳٤ تن بوده است(Anonymoul 2010). خواص مکانیکی مواد به عنوان هر خاصیتی که رفتار مواد را تحت اثر نیروهای وارده بیان کند، تعریف می‌شود. به طور کلی از آزمون کشش- فشار و رفتار منحنی نیرو- تغییر شکل برای تعیین و توصیف ویژگی‌های مکانیکی مواد استفاده می‌شود. اصولاً اطلاع از عوامل مؤثر در گسیختگی دانه‌ها، برای طراحی ایده‌آل سیستم‌های خردکن، به نحوی که فرآوری و پارامترهای تولید بهینه شود، ضروری است (Tabatabaeefar, 2007). هم‌چنین اطلاع از نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه تحت اثر نیروهای شبه استاتیک برای مدل‌سازی و پیش‌گویی رفتار ماده در بارگذاری دینامیک، هنگام حمل و نقل و فرآوری دانه مفیدند (Khazaei, 2004). تعیین خواص مکانیکی از لحاظ کیفیت و به دست آوردن اطلاعاتی که به بهینه‌سازی ماشین‌های برداشت، جابه‌جایی و بسته‌بندی انجامد، اهمیت دارد. در همهٔ این موارد هدف نهایی کاهش ضایعات کمی و کیفی محصولات از مرحلهٔ برداشت تا تولید محصول نهایی خواهد بود. عواملی مانند رقم، رطوبت، رسیدگی، ابعاد هندسی محصول و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی محصول مؤثرند(Tavakoli, 2010). در تحقیقی اثر ضربه و رطوبت دانه برآسیب های مکانیکی لوبیا سفید تحت بارگذاری را بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان دادکه سرعت ضربه و رطوبت دانه به میزان قابل توجهی آسیب های مکانیکی در لوبیا را به ترتیب در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد تحت تاثیر قرار می دهد. همچنین با افزایش رطوبت دانه از ۵ به ۱۵درصد، مقادیر دانه های آسیب دیده تا ۱/٤ برابرکاهش می یابد و با افزایش سرعت ضربه از ۵ به ۱۲متر بر ثانیه، درصدآسیب فیزیکی از ۳/۲۵ درصد به ۳۷/۵ درصد افزایش می یابد اما با افزایش رطوبت از ۱۵ به ۲۰ درصد، مقادیر دانه های آسیب دیده تفاوت قابل توجهی نشان نداد(Khazaei, 2009). در تحقیقی منحنی نیرو – تغییر شکل تک دانه لوبیای خوراکی با استفاده از پارامترهای کشسان به عنوان تابعی از رطوبت دانه تعیین شد در این تحقیق دانه ها با رطوبت ۱۳ تا ۴۲ درصد بر پایه وزن خشک در حالت نشست پایدار با سرعت ۰/۰۰۱ متر بر ثانیه تحت آزمون فشاری قرارگرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد نیروی فشاری مورد نیاز برای گسیختگی لوبیای خوراکی با افزایش رطوبت دانه کاهش می یابد. نیروی فشاری در محدوده ۲۲/۳ نیوتن و ۵۵۱/۷ نیوتن برای تغییرشکل های مختلف می باشد(Correa and Jaren, 2007) . در تحقیقی، سه رقم نخود را در سه سطح رطوبتی ۷، ۱۲ و ۱۸ درصد، تحت

آزمون ضربه قرار دادند تا تأثیر سرعت ضربه، میزان رطوبت و اندازهٔ غلاف نخود را بر درصد دانه‌های آسیب دیده در مرحله ی کوبیدن بررسی کنند. نتایج این تحقیق نشان داد، سرعت ضربه بر درصد دانه‌های شکسته‌شده و نیام‌های کوبیده‌شده اثر معنی‌دار دارد (Behroozilar and Huang, 2002). در تحقیقی اثر رطوبت در ۳ سطح (۷، ۱۲ و ۱۶ درصد بر مبنای تر)، اندازه دانه در ۳ سطح (ریز، متوسط و درشت) و جهت بارگذاری در ۲ سطح (پهلو و از رو) بر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه سه رقم نخود ایرانی (بیونژ، کاکا و جم) تحت اثر نیروهای شبه استاتیک را تعیین شد نتایج نشان داد هر٤ فاکتور رطوبت دانه، اندازه دانه، رقم و جهت بارگذاری تأثیر معنی‌داری بر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه دارند. با افزایش رطوبت از ۷ الی ۱۶ درصد، نیروی لازم برای گسیختگی کاهش و انرژی لازم برای گسیختگی افزایش می یابند. نیرو و انرژی لازم برای گسیختگی دانه در بارگذاری از پهلو به طور معنی داری بیشتر از آن در بارگذاری از رو می باشد همچنین رقم جم نسبت به ۲ رقم بیونژ و کاکا مقاومت بیشتری در مقابل گسیختگی دارند(خزائی و همکاران، ۱۳۸۳). در تحقیقی برخی خواص مکانیکی پنبه‌دانه رقم ورامین تعیین شد. در این تحقیق، برخی خواص مکانیکی پنبه‌دانه به صورت تابعی از رطوبت پنبه‌دانه تعیین شد. به منظور تعیین تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی، چغرمگی، ضریب کشسانی ظاهری و تنش بیشینه، پنبه‌دانه بین دو صفحه موازی بارگذاری شد. نتایج نشان داد که رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال ۱ درصد بر کلیه خواص مکانیکی پنبه‌دانه اثر معنی‌دار دارد، به گونه‌ای که با افزایش رطوبت، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی افزایش یافت، در حالی‌که تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، ضریب کشسانی ظاهری و تنش بیشینه کاهش یافت. سرعت بارگذاری برای تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌دار داشت. در حالی‌که برای ضریب کشسانی ظاهری و تنش بیشینه اثر معنی‌داری نداشت. با افزایش سرعت بارگذاری تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی کاهش یافت. اثر متقابل رطوبت و جهت بارگذاری برای تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی در سطح احتمال ۵ درصد و برای تنش بیشینه و ضریب کشسانی ظاهری در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌دار بود، در حالی‌که برای نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی اثر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل رطوبت و سرعت بارگذاری فقط برای تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی اثر معنی‌دار با سطح احتمال ۵ درصد داشت. اثر متقابل سرعت و جهت بارگذاری و هم‌چنین اثر متقابل رطوبت، سرعت و جهت بارگذاری برای هیچ یک از خواص مکانیکی معنی‌دار نبوند(اسدزاده، ۱۳۹۰).

با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در خصوص خواص مکانیکی لوبیا سفید، لازم است مطالعهٔ کاملی از نظر خواص مکانیکی بر روی این محصول انجام پذیرد. اطلاع از برخی خواص مکانیکی مانند نیروی لازم برای گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه از اهمیت خاصی برخوردار است. از نتایج این تحقیق می-

توان برای کاهش هزینه‌های ناشی از ضایعات مکانیکی که در مراحل جابجایی، ذخیره‌سازی و فرآوری محصول رخ می-دهد، استفاده کرد. در همین راستا تحقیق حاضر با اهداف زیر انجام شده است.

۱ - تعیین نیرو و انرژی لازم برای گسیختگی, چغرمگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی لوبیا سفید به روش بارگذاری فشاری.

۲ - تعیین اثر اندازه دانه، سرعت بارگذاری و رطوبت بر نیرو و انرژی مورد نیاز برای گسیختگی, چغرمگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی لوبیا سفید

مواد و روش‌ها

در این تحقیق لوبیا سفید رقم دهقان, از یک شرکت توزیع نهاده کشاورزی تحت نظارت مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان پارس آباد تهیه و به آزمایشگاه خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شد میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها با استفاده از اجاق آزمایشگاهی خلائی و روش استاندارد بر پایه ی وزن خشک از رابطه ۱ برابر ۹/۱ درصد تعیین شد (ASAE,1999)

$$M_{db} = \frac{W_i - W_j}{W_j} \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱):

W_i =) وزن اولیه نمونه بر حسب گرم.

W_j =وزن نمونه خشک بر حسب گرم.

M_{db} =درصد رطوبت اولیهٔ لوبیا سفید بر پایهٔ خشک.

آزمایش‌ها در ٤ سطح رطوبتی (۹/۱، ۱۰/٦، ۱۲/۱ و ۱۳/٦ درصد) انجام شدند. پس از تعیین رطوبت اولیه ، نمونه‌های ۲ کیلوگرمی از لوبیا سفید پاک شده و به طور تصادفی انتخاب شدند. مقدار آب مورد نیاز برای اضافه کردن به توده اولیه برای حصول به رطوبت‌های مورد نظر از رابطه (۲) محاسبه گردید(Kibar, 2010).

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی (۲) داریم:

Q = میزان آبی که برای رساندن به رطوبت مورد نظر لازم است (بر حسب گرم).

W_i = وزن نمونهٔای که می‌خواهیم به آن آب اضافه شود (بر حسب گرم).

M_f = رطوبت ثانویه محصول (بر حسب درصد).

M_i = رطوبت اولیه محصول (بر حسب درصد).

پس از محاسبه مقدار آب لازم و اضافه کردن مقدار مناسب آب به وسیله آب‌پاش به دانه‌ها، نمونه‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی و سربسته ریخته شدند به مدت ۷۲ ساعت در داخل یخچال قرار گرفتند تا به رطوبت تعادلی برسند (Özarslan,2002).

برای انجام آزمون‌های بارگذاری فشاری برروی لوبیا سفید، از دستگاه آزمون کشش- فشار ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام مدل STM- 20 موجود در آزمایشگاه خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. آزمایش فشاری بدین ترتیب انجام شد که دانه های لوبیا سفید بین دو فک مسطحدستگاه سنتام که فک بالایی متحرک و فک پایینی ثابت بود قرار داده شدند. قبل از قراردادن نمونه بین فک‌ها، دستگاه برای سرعت‌های مورد نظر تنظیم شد، فک بالا به اندازه‌ای که با نمونه تماس سطحی داشت پایین آورده می‌شد، برای جلوگیری از خطا قبل از شروع آزمایش مقدار نیرو و جابه‌جایی فک بالایی را صفر کرده و دستور انجام آزمایش فشاری توسط رایانه که به دستگاه مرتبط بود صادر می‌شد و فشار تا جایی بر نمونه‌ها وارد شد که یا صدای شکست نمونه به گوش می‌رسید و یا اینکه نمودار نیرو- تغییر شکل، کاهش نیروی قابل ملاحظه‌ای (افت ناگهانی در نمودار نیرو-تغییر شکل) را نشان می‌داد. برای محاسبه انرژی گسیختگی از سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل استفاده شد (Singh, 2006). سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل به روش انتگرال‌گیری عددی محاسبه شد. چغرمگی دانه لوبیا سفید، از تقسیم انرژی لازم برای گسیختگی به دست آمده برای هر دانه بر حجم معادل آن تعیین شد(سیتکی، ۱۹۸٦)

$$T_n = \frac{E_b}{V} \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی (۳):

T_n = چغرمگی لوبیا سفید بر حسب میلی‌ژول بر میلی‌متر مکعب.

در رابطه‌ی (۳) حجم لوبیا سفید با استفاده از حجم بیضی‌گون معادل یعنی رابطه‌ی (٤) بدست آمد (Unal, 2009)

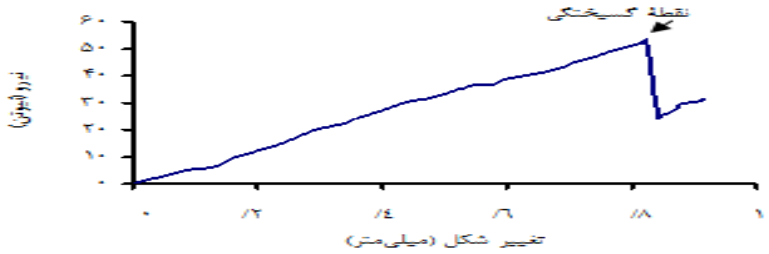
$$V = \frac{\pi}{6} LWT \qquad (۴)$$

E_b = انرژی لازم برای گسیختگی لوبیا سفید بر حسب میلی‌ژول.

V = حجم نمونه لوبیا سفید بر حسب میلی‌متر مکعب.

نیروی لازم برای گسیختگی نیز برحسب نیوتن از بالاترین نقطه منحنی نیرو- تغییر شکل و داده‌های متناظر نیرو- تغییر شکل در آن نقطه بدست آمد (شکل۱). در حین آزمایش نمونه در نقاطی به نقطه تسلیم می‌رسید که این پدیده در نمودار در حال نمایش دستگاه به شکل خفیف در مقدار نیرو و نیز با صدای بسیار خفیفی مشهود بود اما با این حال باید

بارگذاری تا نقطه گسیختگی انجام می‌شد. در این آزمون دانه‌های لوبیا سفید در سرعت‌های بارگذاری (۲، ۵، ۸ و ۱۱ میلی متر در دقیقه)، در ٤ سطح رطوبتی(۹/۱، ۱۰/٦، ۱۲/۱ و ۱۳/٦)، ۳ سطح اندازه دانه (بزرگ، متوسط و کوچک) و در جهت بارگذاری عرضی و در ۸ تکرار مورد آزمون قرارگرفت. به منظور تعیین چگونگی تفاوت بین میانگن های سطوح مختلف تیمارها آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام شد.



شکل ۱– نمونه ای از نمودار نیرو– تغییر شکل لوبیا سفید

نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر خواص مکانیکی لوبیا سفید در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس خواص مکانیکی لوبیا سفید

		میانگین مربعات			
منبع تغییرات	درجه	تغییر شکل در نقطه گسیختگی(میلی‌متر)	نیروی لازم برای گسیختگی(نیوتن)	انرژی لازم برای گسیختگی(میلی‌ژول)	چغرمگی(میلی‌ژول برمیلی‌متر مکعب)
سرعت بارگذاری	۳	۲/۲٦۰**	۱۷۴۸۴۲/۸۰۵ **	۷۴۲۴۱/۷۰۹**	۲/۳۰۸**
رطوبت	۳	۵/۲۸۴**	۷۱۷۳۵۳/۶۵۸**	۳۴۶۴۲۸/۴۵۶**	۸/۰۹۳**
سرعت بارگذاری و رطوبت	۹	۰/۵۱۶**	۵۹۰۶۱/۲۳۴**	۱۶۱۸۵/۱۹۶ns	۰/۶۱۸**
اندازه دانه	۲	۰/۳٤۳*	۳۷۲۳۸/۱۱۷ns	۲۱۴۸۵/۶۹۴ns	۰/۷۶۳*
سرعت بارگذاری و اندازه دانه	٦	۰/۲۶۳*	۳۶۰۹۹/۷۹۰ns	۱۸۷۵۴/۷۱۸*	۰/۵۳۴*
رطوبت و اندازه دانه	٦	۰/۵۰۶**	۷۳۶۵۸/۳۸۸**	۳۶۷۴۸/۲۴۲**	۰/۸۰۱ **
سرعت بارگذاری و رطوبت و اندازه دانه	۱۸	۰/۲۶۱**	۳۷۲۰۰/۲۸۸**	۱۹۵۳۷/۰۷۰**	۰/۴۷۸**
خطا	٤۳۲	۰/۱۱۲	۲۲۹۱۱/۸۵۸	۸۷۲۶/۹۲۶	۰/۲۲۳
کل	٤۷۹				

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار

با توجه به جدول (۱) معلوم می‌شود اثرات اصلی رطوبت و سرعت بارگذاری, اثر متقابل دوگانه رطوبت و اندازه دانه و همچنین اثر متقابل سه گانه سرعت بارگذاری, رطوبت و اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است، اثر اصلی اندازه دانه بر چغرمگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است، در حالی که بر نیرو و

انرژی لازم برای گسیختگی اثر معنی‌داری ندارد. اثر متقابل دوگانه سرعت بارگذاری و رطوبت بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی, نیروی لازم برای گسیختگی و چغرمگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است، در حالی که بر انرژی لازم برای گسیختگی اثر معنی‌داری ندارد. اثر متقابل دوگانه سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی, انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است در حالی که بر نیروی لازم برای گسیختگی اثر معنی‌داری ندارد.

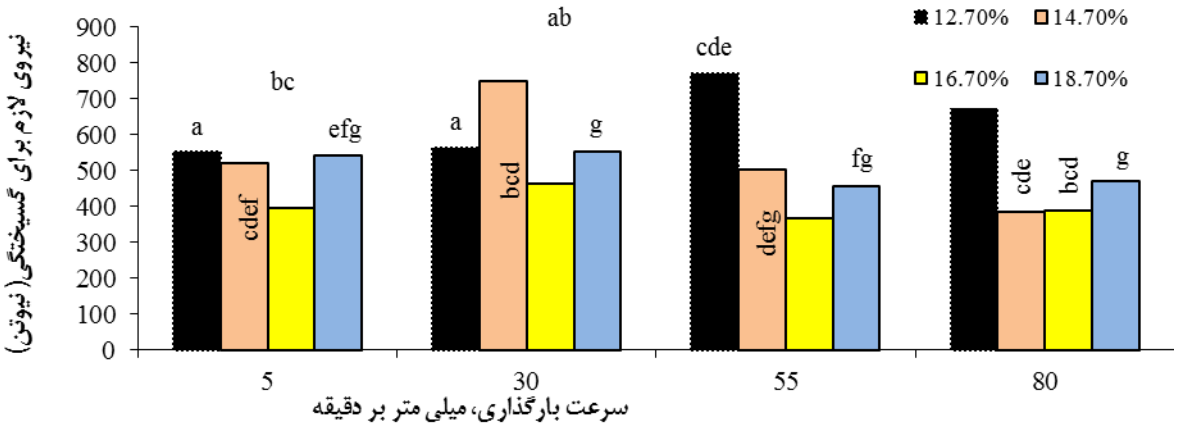
در جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌تایی رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی لوبیا سفید نشان داده شده است.

جدول ۲– اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت واندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی

سرعت بارگذاری (میلی متر بر دقیقه)	رطوبت	اندازه دانه		
		کوچک	متوسط	بزرگ
۲	۹/۱	۰/۲۱۰kl	۰/۲۵۷jkl	۰/۲۶۲jkl
	۱۰/۶	۰/۴۰۶hijkl	۰/۴۱۱hijkl	۰/۴۱۸hijkl
	۱۲/۱	۰/۷۰۴cdefgi	۰/۷۰۵cdefgki	۰/۷۱۰cdefgh
	۱۳/۶	۱/۲۳۹a	۱/۲۸۴a	۱/۳۷a
۵	۹/۱	۰/۲۰۰kl	۰/۲۰۵kl	۰/۲۰۵kl
	۱۰/۶	۰/۳۶۸ijkl	۰/۳۷۵ijkl	۰/۴۰۳ijkl
	۱۲/۱	۰/۶۴۴defghij	۰/۶۴۹defghij	۰/۶۵۵defghij
	۱۳/۶	۱/۰۱۵abcd	۱/۰۸۷abc	۱/۱۳۷ab
۸	۹/۱	۰/۱۸۶kl	۰/۱۹۴kl	۰/۱۹۷kl
	۱۰/۶	۰/۳۲۴ijkl	۰/۳۳۴ijkl	۰/۳۵۳ijkl
	۱۲/۱	۰/۵۲۲fghijkl	۰/۵۸۶efghijk	۰/۵۹۲efghijk
	۱۳/۶	۰/۸۵۲bcdef	۰/۹۳۷abcde	۰/۹۶۰abcde
۱۱	۹/۱	۰/۱۶۷l	۰/۱۷۸kl	۰/۱۸۲kl
	۱۰/۶	۰/۲۶۲jkl	۰/۳۰۲ijkl	۰/۳۰۵ijkl
	۱۲/۱	۰/۴۴۱ghijkl	۰/۵۰۳fghijkl	۰/۵۰۸fghijkl
	۱۳/۶	۰/۸۰۹bcdefgh	۰/۸۳۲bcdefg	۰/۸۴۰bcdefg

از جدول شماره (۲) مشخص است با افزایش رطوبت و اندازه دانه، تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می یابد و با افزایش سرعت بارگذاری تغییر شکل در نقطه گسیختگی کاهش می یابد. به طوری که از جدول مشخص است بیشترین مقدار تغییر شکل برای سرعت بارگذاری ۲ میلی متر بر دقیقه، رطوبت ۱۳/٦ درصد و اندازه دانه بزرگ برابر ۱/۳۷ میلی متر و کمترین مقدار آن برای سرعت بارگذاری میلی متر بر دقیقه، رطوبت ۹/۱ درصد و اندازه دانه کوچک برابر با ۰/۱۶۷ میلی متر می باشد. علت افزایش تغییر شکل در نقطه گسیختگی با افزایش رطوبت، جذب آب توسط

دانه و در نتیجه نرم تر شدن بافت دانه در اثر جذب آب می باشد و نیز دانه لوبیا سفید در رطوبت های پائین تردی بیشتری دارد و با افزایش رطوبت شکل پذیری آن بالا می رود و در نتیجه تحت بار وارده بیشتر تغییر شکل می دهد(قهاری کرمانی، ۱۳۹۰). همچنین بدلیل اثر ضربه اعمال شده به دانه در سرعت های بالا مخصوصا" سرعت ۱۱ میلی متر بر دقیقه، تغییر شکل نقطه گسیختگی کاهش یافته است. این پدیده منطقی به نظر می‌رسد زیرا با افزایش سرعت بارگذاری، ماده ویژگی‌های تردی بیشتری از خود نشان می‌دهد که منجر به کاهش ویژگی‌های تغییر شکل‌پذیری ماده می‌گردد. به طور کلی در تمام سطوح رطوبتی با افزایش سرعت بارگذاری، تغییرشکل در نقطه گسیختگی کاهش می‌یابد. این پدیده منطقی به نظر می‌رسد زیرا با افزایش سرعت بارگذاری، ماده ویژگی‌های تردی بیشتری از خود نشان می‌دهد که منجر به کاهش ویژگی‌های تغییر شکل‌پذیری ماده می‌گردد. به طور کلی در تمام سطوح رطوبتی با افزایش سرعت بارگذاری، تغییرشکل در نقطه گسیختگی کاهش می‌یابد این نتیجه با نتایج تحقیقات قهاری کرمانی (۱۳۹۰)، برای لوبیا چیتی رقم محلی مشگین شهر، ذکی دیزجی و مینایی(۱۳۸٦) برای نخود و بوربائی و همکاران (۲۰۰۸) برای دانه میوه جوز آفریقایی مطابقت دارد. در شکل های ۲ و ۳ به ترتیب اثرات متقابل دوگانه رطوبت و سرعت بارگذاری, رطوبت و اندازه دانه بر نیروی لازم برای گسیختگی نشان داده شده است.



شکل ۲– اثر متقابل رطوبت و سرعت بارگذاری بر نیروی لازم برای گسیختگی

شکل (2) نشان می دهد که در اکثر موارد با افزایش سرعت بارگذاری نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می یابد. و با افزایش رطوبت میانگین نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد، در حالی که بیشترین مقدار نیرو در رطوبت ۹/۱ درصد و برای سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه با مقدار ۵۰۹/٦ نیوتن و کمترین مقدار آن در رطوبت ۱۳/٦ درصد برای سرعت بارگذاری ۱۱ میلی‌متر بر دقیقه با مقدار ۲۰۱/٤ نیوتن به‌دست آمد. علت این امر می‌تواند ناشی از نرم شدن دانه لوبیا سفید باشد. یعنی با افزایش رطوبت، دانه لوبیا سفید از حالت تردی در سطح رطوبتی ۹/۱ درصد به حالت نرمی

و مومی در سطح رطوبتی ۱۳/٦ درصد تبدیل می‌شود. مشاهده‌های عینی نیز تائید این مدعا است. به‌طوری که در رطوبت ۹/۱ درصد، در موقع بارگذاری فشاری صدای شکست دانه لوبیا سفید در لحظه گسیختگی کاملاً مشهود بود. ولی در سایر سطوح رطوبتی صدای شکستن به ندرت مشهود بود. سفت و نرم بودن دانه خصوصیت مهمی است که نیروی لازم برای گسیختگی و تغییر پذیری دانه تا لحظهٔ گسیختگی و در نهایت انرژی مصرفی برای گسیختگی دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طباطبائی‌فر و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که در رطوبت بالا دانه نرم‌تر شده و برای گسیختگی احتیاج به نیروی کمی دارد. این نتیجه با نتایج تحقیقات آلتونتاس و یلدیز (۲۰۰۵) برای باقلا، طباطبائی‌فر و همکاران (۲۰۰۷) برای زیره سبز و توکلی و همکاران (۲۰۰۹) برای جو مطابقت دارد .شکل۳ اثر متقابل رطوبت و اندازه دانه بر نیروی لازم برای گسیختگی لوبیا سفید را نشان می دهد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت و اندازه دانه بر نیروی لازم برای گسیختگی نشان داد که در اکثر موارد با افزایش رطوبت میانگین نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد، در حالی که بیشترین مقدار نیرو در رطوبت ۹/۱ درصد و برای اندازه دانه متوسط با مقدار ٤۹۷/۵ نیوتن و کمترین مقدار آن در رطوبت ۱۳/٦ درصد برای اندازه دانه متوسط با مقدار ۲۱۱/٦ نیوتن به دست آمد احتمال می رود این نتیجه به دلیل مقاومت دانه های درشت تر, نسبت به تخریب باشد. این نتیجه با نتیجه تحقیق ذکی دیزجی و مینایی (۱۳۸٦) برای نخود مطابقت دارد.
جدول۳ اثر متقابل سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه را بر انرژی لازم برای گسیختگی دانه لوبیا سفید نشان می دهد.

جدول۳- اثر متقابل سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر انرژی لازم برای گسیختگی

سرعت بارگذاری (میلی متر بر دقیقه)	رطوبت	اندازه دانه		
		کوچک	متوسط	بزرگ
۲	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۲۱/۸۲j ٦۷/۹defghij ۱۲۲/۲cdefghij ۲۰۲/٤bc	۲۵/٦٦ij ۷۰/۳۲defghij ۱۲۲/٦cdefghij ۲٤۷b	۲۷/۹۵ij ۷۰/۵۹defghij ۱۲۳/۹cdefghij ٤۱۰/۲a
۵	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۱۸/۰۷j ۵٤/۰۱fghij ۹۵/۰۸cdefghij ۱٦۹/٦bcdef	۱۸/٤۲j ٦۱/۵۸efghij ۱۰۸/۱cdefghij ۱۷۵/۷bcde	۲۰/۰۲j ٦۱/۹٤efghij ۱۲۱/۵cdefghij ۱۸۳bcd
۸	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۱۵/۲۸j ٤۳/۱۳ghij ۸۸/۰۷defghij ۱٤٦/۲bcdefgh	۱۷/۳۹j ٤۵/۱۳ghij ۹۰/۷cdefghij ۱۵۹/۱bcdefg	۱۷/۳۹j ٤۹/۸۹ghij ۹۲/۹۷cdefghij ۱٦۹bcdef

۱۱	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۱۱/۸۹j ۳٦/۲۸hij ۸۰/۹٤defghij ۱۲۸/٥cdefghij	۱٤/٤۲j ٤۰/۲۸hij ۸۳/۸٥defghij ۱۳۹/۸bcdefghi	۱٤/۸۸j ٤۲/٤۷hij ۸٦/٤۱defghij ۱٤٤/٥bcdefgh

جدول(۳) نشان می دهد که با افزایش رطوبت و اندازه دانه انرژی لازم برای گسیختگی دانه لوبیا سفید افزایش می یابد. در حالی که با افزایش سرعت بارگذاری, انرژی لازم برای گسیختگی لوبیا سفید کاهش می یابد.

انرژی لازم برای گسیختگی برابر با سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل تا نقطه گسیختگی است لذا با افزایش تغییر شکل در نقطه گسیختگی در اثر افزایش رطوبت و اندازه دانه و همچنین با توجه به افزایش نیروی مورد نیاز برای گسیختگی دانه با افزایش اندازه دانه نتیجه بالا مورد انتظار است. این نتیجه با نتایج تحقیق قهاری کرمانی(۱۳۹۰) برای لوبیا چیتی رقم محلی مشگین شهر، و اسدزاده (۱۳۹۰) برای پنبه دانه مطابقت دارد. در جدول (٤) اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه بر چغرمگی در نقطه گسیختگی دانه لوبیا سفید نشان داده شده است.

جدول۴- اثر متقابل سه تایی سرعت بارگذاری، رطوبت واندازه دانه بر چغرمگی در نقطه گسیختگی

سرعت بارگذاری (میلی متر بر دقیقه)	رطوبت	اندازه دانه		
		کوچک	متوسط	بزرگ
۲	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۰/۱۸۱ij ۰/۳٥۷fghij ۰/٦۰۱bcdefghij ۱/۰۷۳bc	۰/۱۹٥ij ۰/۳٥۸fghij ۰/٦۰۷bcdefghij ۱/۱٥٦b	۰/۲۰٤hij ۰/۳۸۳efghij ۰/٦۲۷bcdefghij ۲/۰۰۲a
٥	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۰/۰۹۲j ۰/۲۷۳ghij ۰/٤۹٦defghij ۰/۹۳٤bcdef	۰/۰۹۷j ۰/۲۸۹ghij ۰/٥٥۸cdefghij ۰/۹٤۸bcde	۰/۱۰٥j ۰/۳٤۹ghij ۰/٥۸۰cdefghij ۱/۰٥۹bcd
۸	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۰/۰۷۳j ۰/۲۲۱hij ۰/٤۸۲efghij ۰/۸۳۳bcdefg	۰/۰۸۱j ۰/۲۲۱hij ۰/٤۹۱defghij ۰/۸٤٤bcdefg	۰/۰۸۳j ۰/۲۳۰hij ۰/٤۹٥defghij ۰/۸٥٤bcdefg
۱۱	۹/۱ ۱۰/٦ ۱۲/۱ ۱۳/٦	۰/۰٥٥j ۰/۲۰٦hij ۰/٤۳۸efghij ۰/۷۳۲bcdefghi	۰/۰٦٤j ۰/۲۱۰hij ۰/٤۷۱efghij ۰/۷۸۷bcdefgh	۰/۰٦۹j ۰/۲۱۲hij ۰/٤۸۰efghij ۰/۸۱۲bcdefg

از جدول شماره (٤) مشخص است با افزایش رطوبت و اندازه دانه، چغرمگی افزایش می یابد و با افزایش سرعت بارگذاری چغرمگی کاهش می یابد. همان طور که از جدول (٤) مشخص است بیشترین مقدار چغرمگی برای سرعت

بارگذاری ۲ میلی متر بر دقیقه، رطوبت ۱۳/٦ درصد و اندازه دانه بزرگ برابر ۲/۰۰۲ میلی ژول بر میلی متر مکعب و کمترین مقدار آن برای سرعت بارگذاری ۱۱ میلی متر بر دقیقه، رطوبت ۹/۱ درصد و اندازه دانه کوچک برابر با ۰/۰۵۵ میلی ژول بر میلی متر مکعب به دست آمد. چغرمگی کار مورد نیاز در واحد حجم برای تخریب مواد می باشد. تغییرات چغرمگی و انرژی لازم برای گسیختگی تقریبا" مشابه هم می باشد برای مواد ترد مثل بذرها، با افزایش رطوبت انرژی مورد نیاز برای گسیختگی کاهش می یابد(توکلی،2010). این نتیجه با نتایج تحقیقات قهاری کرمانی (۱۳۹۰)، برای لوبیا چیتی رقم محلی مشگین شهر، ذکی دیزجی و مینایی(۱۳۸٦) برای نخود و بوربائی(۲۰۰۸) برای دانه میوه جوز آفریقایی مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱- با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می شود عملیات برداشت و فرآوری این محصول در سرعت بارگذاری بیشتر و رطوبت های پائین انجام شود تا از ضایعات مکانیکی جلوگیری شود.

۲- اطلاع از خواص استحکامی دانه اهمیت زیادی برای طراحی صحیح سیستم‌های جابجایی و کاشت بذر دارد، لذا توصیه می‌شود تا این تحقیق در ارقام متداول دیگر مجدداً به عمل آید.

منابع و مآخذ

۱. اسدزاده، ع. ح. ۱۳۹۰. تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی پنبه‌دانه. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲. خزائی، ج.، رجبی‌پور، ع.، محتسبی، س.، بهروزی‌لار، م. ۱۳۸۳. تعیین نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکست دانه نخود در بارگذاری شبه استاتیک. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۵. شماره ۳. ص ۷۷٦– ۷٦۵.

۳. ذکی دیزجی، ح.، مینایی، س. ۱۳۸٦. تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی دانهٔ نخود. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. جلد ٤. شماره ۲. ص ٦٦–۵۷.

٤. قهاری کرمانی، ف. ۱۳۹۰. تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی یک رقم لوبیای ایرانی. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۵. مجنون حسینی، ن. ۱۳۷۵. حبوبات در ایران، ۱، موسسه نشر جهاد وابسته به جهاد دانشگاهی، تهران، ص ۲٤۰.

6. ASAE. 1999. Moisture measurement-ungrounder grain and seeds.ASAE Standaed S352.2: 567-568.
7. Anonymous. 2010. Agriculture Database of FAO – STAT. Available on the http://FAOSTAT. FAO. ORG.

8. Correa, P.C. and Jaren, C. 2007. Resistance of edidle beans to compression. Journal of Food Engineering. 86, 172- 176.
9. Khazaei, J. Rajaipour, A. Mohtasebi, S. and Behroozielar, M. 2004. Determination of and energy required for rupture of chickpea kernel in quasi- static loading. Iranian Journal of Agricultural science, 35(3): 765-766.
10. Khazaei, J. 2009. Influence of impact velocity moisture content on mechanical damage White kidey beens under loading Cerectari Agronomic Moldova. 1(137).
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 of Agricultural Research. 8(3): 741-749.
12. Özarslan, C. 2002. Physical properties of cottonseed. Biosystem Engineering. 83(2): 169-174
13. Singh, K. K. and Reddy, B. S. 2006. Post-harvest physic-mechanical properties of orange peed and fruit. J. Food Engng. 73: 112-120.
14. Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural materials. Translated by S. Bars. Elsevier Science Publishers, New York. 398p.
15. Stroshine, R. and Haman, D. 1994. Physical properties of Agricultural Materials and Food Products. 1st edn. West Lafayette, Indiana
16. Tabatabaeefar, A. Saiedirad, M. H. Borghei, A. Mirsalehi, M. Badii, F. and Ghasemi varnamkhasti, M. 2007. Effect of moisture content, Seed size, Loading rate and Seed orientation on Force and Energy required for Fracturing Cumin Seed (Cuminum cyminum Linn.) under quasi-ststic loading. Journal of Food Engineering. 86: 565-572.
17. Tavakoli, H. Mohtasebi, S.S. Rajabpour, A. and Tavakoli, M. 2009. Effect of moisture content, loading rate and grain orientation on Fracture resistance of barly grain. ResearchAgricultural Engineering, 55, (3): 85-93.
18. Tavakoli, M. Haghayegh, G.H. Tavakoli, H. and Azizi, M.H. 2010. Comparison of mechanical properties between two varieties of rice straw. Advance Journal of Food Science and Technology. 2(1): 50-54.
19. Unal, H. Zecirkiran, M. and acid Tüsavas, Z. 2009. Some engineering and acid treatment ddurations, African Journal of Agricultural Research. Vol. 4(3): 247-258.

Some of mechanica properties of White Bean

Abstract

In this study some mechanica properties of White Been including deformation at rupture point, force required to rupture, energy required to rupture and toughness wear determined during on experiment in the case of an factorial teast and in base of a completely factorial desing. Independent variables included 4 levels at moisture content (9.1, 10.6, 12.1 and 13.6% d.b.), 4 levels at loading velocity (2, 5, 8 and 11 $^{mm}/_{min}$) and 3 levels of grain size. The results showed that the interaction effects of loading velocity, moisture content and grain size were significant on defamation at rupture point ($p< 0.01$). The interaction effects of loading velocity, grain size, moisture content and grain size were significant on the force required to rupture ($p< 0.01$). While the main effect of grain size and the interaction effects of loading velocity and grain size and also the interaction effects of loading velocity, moisture content and grain size were not significant on the force to rupture. The interaction effects of loading velocity, moisture content and grain size were significant on the energy required to rupture ($p< 0.01$), while the main effect of grain size and the interaction effects of loading velocity and moisture content were not significant on the energy required to rupture. Also, the interaction effects of loading velocity, moisture content and grain size were significant on the toughness ($p< 0.01$).

Keywords: mechanical properties, rupture, white bee