

اثر رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر برخی خواص مکانیکی دانه جو

آذین زند میرالوند^{۱*}، منصور راسخ^۲، عزت اله عسکری اصلی ارده^۳

۱. کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۲/۲۹)

چکیده

در این تحقیق برخی خواص مکانیکی دانه جو شامل تغییر شکل در نقطه گسیختگی، نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی و چگرمگی در رطوبت‌های ۱۰/۵، ۱۲/۵، ۱۴/۵ و ۱۶/۵ درصد (W_{db}) و با سرعت‌های بارگذاری 5 mm.min^{-1} ، ۲۵، ۳۵ و در ۳ اندازه دانه در آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی با ۷ تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد که اثر رطوبت بر نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی، تغییر شکل و چگرمگی در سطح احتمالی ۱٪ معنی‌دار است. همچنین اثر سرعت بارگذاری، بر تغییر شکل در سطح احتمالی ۱٪ معنی‌دار شد. اثر متقابل رطوبت و سرعت بارگذاری نیز بر تغییر شکل و چگرمگی در سطح احتمالی ۱٪ و بر نیروی گسیختگی و انرژی گسیختگی در سطح احتمالی ۵٪ معنی‌دار شد. بعلاوه با افزایش رطوبت تمامی پارامترهای مکانیکی مورد آزمایش افزایش داشته‌است و با افزایش اندازه دانه، مقادیر نیروی گسیختگی و تغییر شکل به صورت خطی افزایش داشته‌است.

واژه‌های کلیدی: آزمون فشاری، دانه جو، چگرمگی، خواص مکانیکی، نیروی گسیختگی

مقدمه

گیاه جو از دسته *Hordeum* و تیره *Triticeae* و از خانواده گرامینه می‌باشد. جنس *Hordeum* دارای ۳۲ گونه می‌باشد و در آسیای مرکزی و جنوب شرقی آسیا، شمال شرقی آمریکا، آمریکای جنوبی، و مدیترانه تمرکز دارد. گیاه جو، علاوه بر اینکه در تغذیه دام به عنوان جیره ترکیبی و به خصوص به عنوان خوراک اصلی دام‌های مناطق سردسیری که امکان پرورش مناسب ذرت و سایر غلات نمی‌باشد، استفاده می‌شود، به صورت‌های مختلف (نان، غذاهای مناطق خاص و ...) در برنامه غذایی بشر نیز شرکت دارد و حتی در درمان تعدادی از بیماریها نیز مؤثر شناخته شده است. بنابر آمار فائو بیشترین تولید جو در ایران مربوط به سال ۲۰۱۰ با حدود ۳ میلیون و ۵۰۰ هزار تن می‌باشد که سطح زیر کشت در همین سال بیش از ۱۵۰۰ هزار هکتار بوده است و کشور ایران در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ همواره مقام اول تا سوم را در میزان عملکرد، مقدار تولید و سطح زیر کشت به گیاه جو در بین کشورهای جنوب آسیا به خود اختصاص داده‌است (www.faostat.FAO.org) که همین امر نشانگر ظرفیت بالای کشور ایران در کنترل وضعیت بازار منطقه می‌باشد.

اهمیت شناخت خواص مهندسی دانه جو در ایران از آنجا مشخص می‌شود که طبق آمار فائو در دو سال منتهی به ۲۰۱۲، گیاه جو دارای رتبه دوم در سطح زیر کشت و رتبه هشتم در میزان تولید می‌باشد. در ایران طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مجموع ۲۸/۸ هزار تن بذر اصلاح شده جو تولید گردید و تمامی بذور آن در اختیار زارعین قرار گرفت که در این بین سهم بخش غیر دولتی حدود ۱۷۰۰۹/۶ تن معادل ۵۹ درصد از کل می‌باشد، که درمقایسه با مدت مشابه سال قبل از رشدی معادل ۱۵ درصد برخوردار است. (Anonymous, 2013).

اندازه گیری خواص مکانیکی دانه های غلات از دو جهت حائز اهمیت است، یکی امکان شناسایی بافت دانه که در راستای طبقه‌بندی آن صورت می‌گیرد و دیگری به دست آوردن اطلاعاتی که به بهینه سازی ماشین های برداشت و جابجایی دانه می‌انجامد (Rasekhet al, 2007). آن دسته از خواص فیزیکی و مکانیکی که به محتوای رطوبتی دانه بستگی دارد، برای طراحی ساختمان انبار و انتخاب تجهیزات انبار، حائز اهمیت می‌باشد (Oztürk and Esen, 2008). به منظور کسب نتایج مفید از آزمایش‌ها به صورت اطلاعات قابل درک و قابل استفاده در طراحی مهندسی، مطالعه بر روی منحنی نیرو-تغییر شکل حاصل از آزمون فشاری محصولات کشاورزی لازم و ضروری است. در تحقیقی (AfkariSayyah et al, 2009)، برای

از $47/5N$ و $10mJ$ به $82N$ و $56mJ$ افزایش یافت (Alamiet *et al.*, 2009). همچنین در تحقیقی دیگر، با مطالعه اثر رطوبت، جهت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی پنبه دانه رقم ورامین، دریافتند که رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال ۱٪ بر کلیه خواص مکانیکی اثر معنی دار دارند و با افزایش رطوبت، انرژی لازم برای گسیختگی و چغرمگی افزایش می یابد، در حالیکه تغییر شکل در نقطه گسیختگی، کاهش می یابد، همچنین در این تحقیق اثر متقابل رطوبت و جهت بارگذاری برای تغییر شکل در نقطه گسیختگی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شده است (Asadzadeh *et al.*, 2012).

هدف از این تحقیق تعیین خواص مکانیکی دانه جو شامل نیروی گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی، انرژی گسیختگی و چغرمگی دانه و بررسی تاثیر رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر این خواص مکانیکی می باشد.

مواد و روش ها

به منظور انجام این آزمایش، ابتدا ۱۵ کیلوگرم دانه جو پاک نشده و ناخالص رقم پرتو به آزمایشگاه خواص بیوفیزیک گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شد، پس از تمیز کردن و حذف ناخالصی شامل بذور علف هرز و دانه های شکسته و سنگ و ...، ۵ نمونه ۱۰ گرمی توسط ترازوی با دقت $0/001$ گرم توزین و مطابق با استاندارد ASAE 2007 رطوبت اولیه محصول تعیین شد. محتوای رطوبت مبنای بر پایه خشک (M_d) طبق رابطه ۱ به دست آمد (Stroshine, 1998). این مقدار برابر با $10/5$ ٪ محاسبه شد. با توجه به اینکه دانه جو در رطوبت حدود 17 ٪ برداشت شده و دانه برای انجام عملیات پس از برداشت عملاً در محدوده رطوبتی پایین تر از این مقدار (تا حدود 10 ٪) نگهداری می شود، بنابراین برای تهیه ۳ نمونه با درصد رطوبت $12/5$ ٪، $14/5$ ٪ و $16/5$ ٪ اقدام شد. برای این منظور ابتدا ۳ نمونه با وزن تقریبی 1700 گرم انتخاب شد که بسته به درصد رطوبت مطلوب، میزان آب مورد نیاز برای اضافه کردن به نمونه برای حصول به رطوبت مورد نظر از رابطه ۲ به دست آمد (Tavakoliet al, 2009):

$$M_d = 100 \times \frac{W_w}{W_d} \quad (\text{رابطه ۱})$$

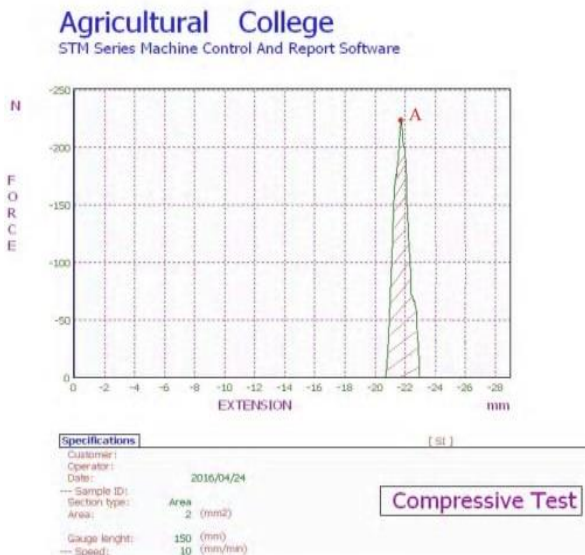
$$G = \frac{W(M_f - M_d)}{100 - M_f} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در روابط ۱ و ۲، M_d رطوبت مبنای نمونه بر پایه

استخراج خصوصیات بافت یک دانه (به ویژه گندم)، از طریق روش های مکانیکی، روش بارگذاری به واسطه آن که بخش گسترده تری از حجم محصول را تحت تأثیر قرار می دهد، ترجیح داده شده است. در تحقیقی دیگر (Rasekhet *et al.*, 2007)، با مقایسه برخی خواص فیزیکی و مکانیکی گندم سن زده و سالم رقم سرداری، مناسب ترین رطوبت برای جداسازی دانه های سالم و سن زده بر اساس چغرمگی^۱، رطوبت 12 ٪ بر پایه تر تعیین شد. به علاوه آنها پارامتر چغرمگی را مناسب ترین عامل در تفکیک دانه های سن زده و سالم گندم رقم سرداری یافتند. همچنین در تحقیقی بر روی تأثیر رطوبت بر خواص مکانیکی دو رقم ذرت مشخص شد که با افزایش رطوبت، نیروی گسیختگی دانه های ذرت کاهش و انرژی گسیختگی افزایش می یابد (Seifi and Alimardani, 2010). با این حال، در زمینه تعیین و بررسی عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی دانه جو، تحقیقات زیادی انجام نشده است. در تحقیقی بر روی مقایسه خواص مکانیکی و حرارتی دو رقم نصرت و کویر دانه جو، مشاهدات حاکی از آن بود که با افزایش محتوای رطوبتی از $7/3$ ٪ به $21/6$ ٪، برای رقم نصرت و از $6/7$ ٪ به $21/2$ ٪ برای رقم کویر، نیروی گسیختگی کاهش و انرژی گسیختگی افزایش می یابد. همچنین نیروی گسیختگی رقم نصرت بیشتر از رقم کویر بدست آمد (NouriJangi *et al.*, 2011). در تحقیقی دیگر، با بررسی اثر رطوبت، سرعت بارگذاری و اندازه دانه بر مقاومت گسیختگی دانه جو، دریافتند که بیشترین انرژی گسیختگی جذب شده توسط دانه در رطوبت $21/58$ ٪ و تحت بار افقی با سرعت $5mm.min^{-1}$ و برابر $78/24mJ$ و کمترین آن در رطوبت $7/34$ ٪، تحت بار عمودی و با سرعت $10mm.min^{-1}$ بدست می آید. همچنین معلوم شد که مقاومت به گسیختگی و توانایی تغییر شکل دانه های جو، با افزایش محتوای رطوبتی، به ترتیب کاهش و افزایش می یابد (Tavakoli *et al.*, 2009). بعلاوه در تحقیقی بر روی خواص هندسی و مکانیکی دانه جو، در سطوح رطوبتی $12/5$ تا $15/5$ ٪، مقادیر جابجایی، نیرو و انرژی گسیختگی مورد نیاز کمتری برای رقم *Mauritia* نسبت به رقم *Prestige* مشاهده شد (Markowski *et al.*, 2010). در تحقیقی دیگر، به تعیین خواص مکانیکی رقم دانه سویا (هیل، پرشینگ و گرگان ۳) در بارگذاری شبه استاتیک در ۳ سطح رطوبتی (۱۰، ۱۲ و ۱۴٪ بر پایه خشک) و ۳ سطح دمایی (۵۰، ۶۰، ۷۰ درجه سلسیوس) تعیین و نتیجه گیری شد که با افزایش رطوبت از ۱۰ به ۱۴٪، مقدار نیرو و انرژی گسیختگی به ترتیب

$$V = \frac{4}{3} \pi abc \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه ۴، a ، b و c به ترتیب طول، عرض و ضخامت دانه جو (mm) است. تجزیه واریانس نتایج در آزمایش فاکتوریل در طرح پایه کاملاً تصادفی و در ۷ تکرار انجام شد. مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف تیمارها با آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن و با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. متغیرهای مستقل شامل ۴ محتوای رطوبتی (۱۰/۵، ۱۲/۵، ۱۴/۵ و ۱۶/۵٪ بر پایه خشک)، ۳ اندازه دانه کوچک (کمتر از ۰/۰۵ گرم)، متوسط (۰/۰۵۷-۰/۰۵ گرم) و بزرگ (بیشتر از ۰/۰۵۷ گرم) و ۴ سرعت بارگذاری (۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ میلی‌متر بر دقیقه) است.



شکل ۱. نمودار نیرو-تغییر شکل (بارگذاری دانه جو، در سرعت آزمایشی $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ و رطوبت پایه)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل اندازه دانه، سرعت بارگذاری و رطوبت بر خواص مکانیکی دانه جو در جدول ۱ نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، اثر اصلی رطوبت بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی، نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی و چگرمگی دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شده است. اثر اصلی اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی، نیروی گسیختگی و انرژی گسیختگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است. اما بر چگرمگی دانه معنی دار نشده است. همچنین اثر سرعت بارگذاری بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شده است.

خشک (٪)، W_w وزن رطوبت نمونه (gf)، W_d وزن نمونه خشک (gr)، W وزن نمونه (gf)، M_f رطوبت مورد نیاز، و G مقدار آب لازم برای اضافه کردن به نمونه برای دستیابی به رطوبت مورد نظر محصول است. پس از اضافه کردن مقدار آب لازم به هر نمونه ۱۷۰۰ گرمی، به منظور توزیع یکنواخت رطوبت در تمامی دانه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در یخچال با دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس نگهداری شدند و سپس آزمایشهای لازم انجام شد. برای تعیین خواص مکانیکی، آزمونهای فشاری با استفاده از دستگاه آزمایش کشش- فشار مدل STM-20 ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام انجام شد. این دستگاه مجهز به بارسنج BONGSHIN مدل DBBP-100 با ظرفیت 100 kgf و یک جفت فک ثابت (فک پایین) و متحرک (فک بالا) و به صورت مسطح بود. برای اجرای آزمون فشاری، دانه‌های جو، هرکدام به صورت افقی در جهت عرض دانه و با شرایط بارگذاری یکسان بین دو فک قرار گرفت. سپس دستور شروع آزمون توسط نرم افزار مرتبط و از طریق رایانه متصل به دستگاه صادر می شد. همچنین با شنیدن صدای شکستن دانه یا مشاهده کاهش نیروی گسیختگی در نمودار نیرو- تغییر شکل که این نمودار همزمان با اجرای آزمایش توسط نرم افزار رسم می شد، دستور توقف آزمایش توسط رایانه به دستگاه داده می شد. پس از انجام هر آزمایش نمودار نیرو- تغییر شکل بارگذاری و داده‌های متناظر نیرو و تغییر شکل در نرم افزار اکسل ذخیره شدند. در نقطه‌ای که گسیختگی در آن ایجاد می شد، نیروی گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی مستقیماً با استفاده از نمودار نیرو- تغییر شکل و داده‌های متناظر نیرو- تغییر شکل ذخیره شده تعیین شدند (شکل ۱). مختصات نقطه بیشینه یا ماکزیمم نمودار (نقطه A در شکل ۱) نشان دهنده مقادیر نیروی گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی دانه می باشد.

انرژی گسیختگی دانه با محاسبه مساحت زیر منحنی نیرو-تغییر شکل از نقطه شروع بارگذاری تا نقطه گسیختگی دانه محاسبه شده است (Karaj and Muler, 2010). مساحت سطح هاشورخورده در شکل ۱، میزان انرژی گسیختگی دانه در نقطه گسیختگی را تعیین می کند. چگرمگی دانه جو با توجه به رابطه (۳) از تقسیم انرژی گسیختگی بر حجم دانه جو بدست آمده است (Sitkei, 1986).

$$T_n = \frac{E}{V} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه ۳، T_n ، چگرمگی دانه جو E ؛ (mJ/mm^3) ، انرژی گسیختگی دانه V ؛ (mm^3) ؛ حجم دانه می باشد. حجم دانه

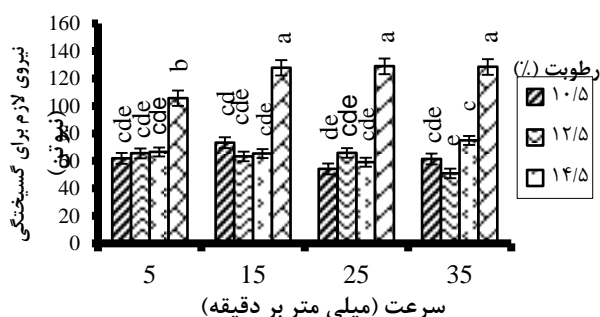
جو از رابطه (۴) به دست آمده است (Mohsenin, 1987):

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس خواص مکانیکی دانه جو

میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
چگرمگی (mJ.mm ⁻¹)	انرژی گسیختگی (mJ)	تغییر شکل در نقطه گسیختگی (mm)	نیروی گسیختگی (N)		
۰/۰۶۸ ^{ns}	۱۸۵/۹۱۶ ^{ns}	۰/۴۳۸ ^{**}	۸۵۷/۰۰۵ ^{ns}	۳	سرعت بارگذاری
۴/۵۳۴ ^{**}	۸۹۴۹/۱۴۶ ^{**}	۰/۷۶۶ ^{**}	۷۴۰۳۳/۱۶۱ ^{**}	۳	رطوبت دانه
۰/۱۸۵ ^{**}	۳۴۱/۵۱۰ [*]	۰/۰۷ ^{**}	۱۷۲/۸۷۳ [*]	۹	سرعت بارگذاری و رطوبت
۰/۰۵۴ ^{ns}	۳۳۶۸/۲۷۲ ^{**}	۰/۲۳۸ ^{**}	۲۳۷۴۲/۰۷۵ ^{**}	۲	اندازه دانه
۰/۰۴۳ ^{ns}	۱۰۷/۸۸۷ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۳۴۲/۸۸۴ ^{ns}	۶	سرعت بارگذاری و اندازه دانه
۰/۱۱۹ ^{ns}	۲۹۲/۳۳۸ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۷۳۳/۶۶۷ ^{ns}	۶	رطوبت و اندازه دانه
۰/۰۴۴ ^{ns}	۶۹/۴۸۱ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}	۳۳۸/۷۷۹ ^{ns}	۱۸	سرعت بارگذاری، رطوبت و اندازه دانه
۰/۰۶۶	۱۶۳/۸۲۷	۰/۰۲۸	۷۲۳/۱۸۳	۲۸۸	خطا
				۳۳۵	کل
%۵۵/۸۱	%۶۱/۴۰	%۲۶/۶۴	%۳۴/۳۶		C.V.

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

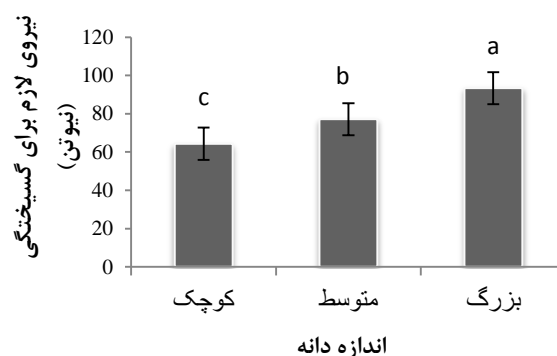
احتمالی ۱٪ به دست آوردند. در تحقیق دیگری اثر افزایش رطوبت از ۷/۳ تا ۲۱/۶ درصد (بر پایه خشک) بر مقادیر میانگین انرژی گسیختگی در سطح احتمالی ۵٪ معنی دار شد (NouriJangiet al, 2011). در یک پژوهش، اثر افزایش رطوبت بر مقدار چگرمگی دانه گندم رقم سرداری سن زده و سالم در سطح احتمالی ۵٪ معنی دار شد (Rasekhet al, 2007). در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اندازه دانه بر نیروی گسیختگی و نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر نیروی گسیختگی نشان داده شده است.



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر نیروی گسیختگی (LSD=۱۶/۳۳)

نیروی گسیختگی بیشتری نیاز دارند. در تحقیق (Karaj and Muler, 2010) نیز افزایش نیروی گسیختگی با افزایش در اندازه دانه *Jatropha curcas L.* گزارش شد. دلیل کاهش نیروی گسیختگی با اندازه دانه این است که دانه‌های بزرگ بدلیل تغذیه کامل مواد توسط دانه و رشد کامل، نیروی گسیختگی زیادی دارند و با توجه به اینکه دانه‌های کوچک اغلب رشد کافی

در تحقیق (Karaj and Muler, 2010) اثر معنی داری از افزایش اندازه دانه بر مقدار میانگین تغییر شکل و نیروی گسیختگی بذر *Jatropha curcas L.* به ترتیب در سطح احتمالی ۱٪ و ۵٪ به دست آورده است. در نتایج مشابه، نیز اثر معنی داری از افزایش رطوبت در محدوده رطوبتی ۷/۳۴ تا ۲۱/۵۸ درصد بر پایه خشک بر مقدار نیروی گسیختگی و انرژی گسیختگی دانه جو در سطح احتمالی ۵٪ پیدا شد (Tavakoliet al, 2009). همچنین (Rasekh and Asadzadeh, 2012)، نیز اثر معنی داری از افزایش رطوبت در محدوده رطوبتی ۷/۱۷ تا ۱۳ درصد بر پایه خشک بر نیروی گسیختگی پنبه دانه رقم ورامین در سطح

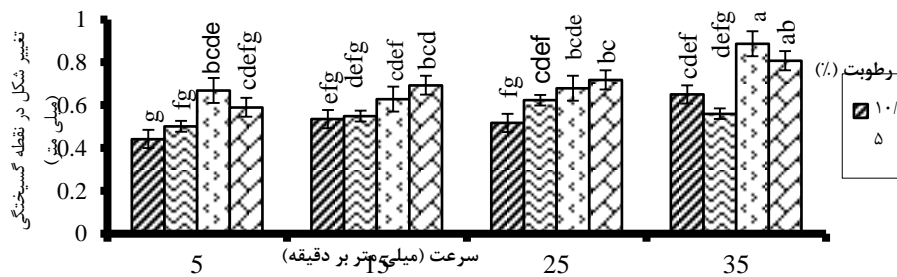


شکل ۲. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اندازه دانه بر نیروی گسیختگی (LSD=۹/۳۱۸)

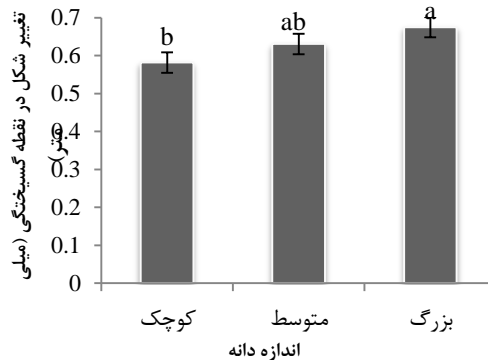
از شکل شماره ۲ مشخص میشود با افزایش اندازه دانه نیروی گسیختگی افزایش می یابد به طوریکه کمترین مقدار آن برای اندازه کوچک دانه جو برابر با ۶۴/۳ نیوتن و بیشترین مقدار آن برای اندازه بزرگ دانه جو برابر با ۹۳/۳۶ نیوتن است. و بین هر سه اندازه دانه از نظر نیروی گسیختگی اختلاف معنی دار وجود دارد. عبارتی دانه‌های بزرگتر، به دلیل استحکام بیشتر به

برابر با ۱۲۸/۹ نیوتن است. بعلاوه با افزایش سرعت بارگذاری نیروی گسیختگی افزایش می یابد. در شکل های شماره ۴ و ۵ به ترتیب نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اندازه دانه و اثر متقابل سرعت بارگذاری × رطوبت دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی نشان داده شده است.

نداشته لذا نیروی گسیختگی کمتری دارند. همچنین از شکل شماره ۳ مشخص می شود کمترین مقدار نیروی گسیختگی مربوط به سرعت بارگذاری ۳۵ میلی متر بر دقیقه و رطوبت ۱۲/۵ درصد برابر با ۵۰/۸۹ نیوتن و بیشترین مقدار نیروی گسیختگی در سرعت بارگذاری ۲۵ میلی متر بر دقیقه و رطوبت ۱۶/۵ درصد



شکل ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی (LSD = ۰/۱۲۳۹)

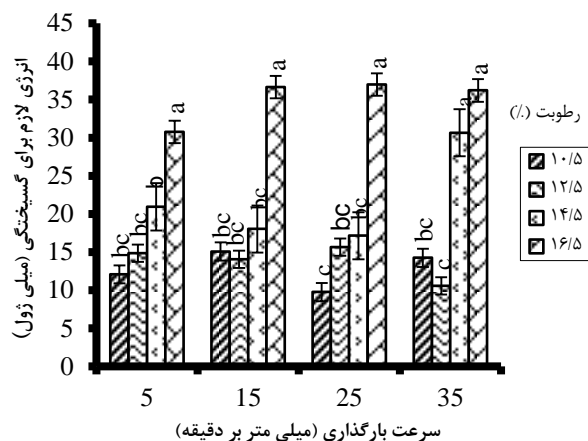


شکل ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اندازه دانه بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی (LSD = ۰/۰۵۷۸۹)

تغییر شکل در نقطه گسیختگی در رطوبت ۱۴/۵٪ و سرعت 35 mm.min^{-1} و کمترین تغییر شکل در رطوبت ۱۰/۵٪ و سرعت 5 mm.min^{-1} رخ می دهد. بدیهی است که با افزایش رطوبت، بافت دانه حجیم تر شده و رطوبت داخل بافت دانه جو باعث می شوند تا محصول دیرتر شکسته شود. همین امر موجب افزایش در مقدار تغییر شکل دانه می شود.

در شکل های ۶ و ۷ به ترتیب نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اندازه دانه و نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر انرژی گسیختگی دانه جو نشان داده شده است

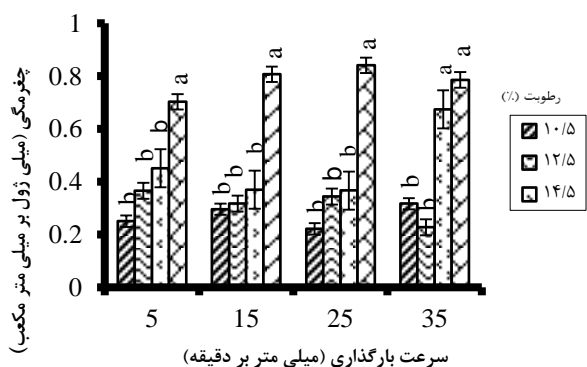
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود مقادیر میانگین تغییر شکل در نقطه گسیختگی در دانه های با اندازه های کوچک و بزرگ، اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند. کمترین مقدار تغییر شکل در نقطه گسیختگی در دانه هایی با اندازه کوچک و برابر با ۰/۵۸۲ میلی متر و بیشترین آن در دانه هایی با اندازه بزرگ و برابر با ۰/۶۵۷ میلی متر می باشد. در دانه های با اندازه کوچک تر، به دلیل ضخامت کمتر دانه و در نتیجه مقاومت کمتر، عمل گسیختگی در مقادیر کمتر تغییر شکل اتفاق می افتد و با توجه به شکل ۵ مشخص می شود با افزایش سرعت بارگذاری تغییر شکل در نقطه گسیختگی نیز افزایش می یابد. بیشترین



شکل ۷. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر انرژی گسیختگی (LSD=۷/۷۷۵)

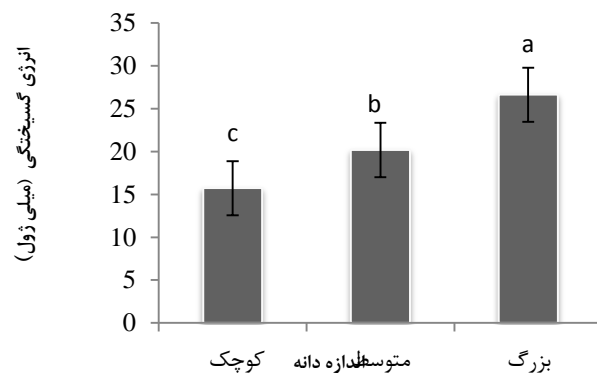
معنی‌دار بین مقادیر میانگین انرژی گسیختگی در رطوبت‌های مختلف در سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه وجود دارد. همچنین از شکل شماره ۷ معلوم می‌شود در اکثر موارد با افزایش محتوای رطوبتی دانه، انرژی گسیختگی دانه افزایش داشته است و این مورد مخصوصاً در رطوبت ۱۶/۵ درصد کاملاً مشهود است. علت افزایش انرژی گسیختگی با افزایش رطوبت دانه این است که طبق شکل ۵ با افزایش رطوبت دانه تغییر شکل در نقطه گسیختگی و طبق شکل ۳ با افزایش رطوبت دانه انرژی گسیختگی دانه افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه انرژی گسیختگی ارتباط مستقیم با نیروی گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی دارد لذا افزایش انرژی گسیختگی با افزایش رطوبت دانه مورد انتظار است.

در شکل شماره ۸ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دو تایی سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر چغرمگی دانه جو نشان داده شده است.



شکل ۸. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه بر چغرمگی (LSD=۰/۲۰۵۶)

در شکل ۸ مشخص است چغرمگی دانه جو در سرعت‌های بارگذاری ۵، ۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه در سطوح رطوبتی ۱۰/۵ تا ۱۴/۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند اما با



شکل ۶. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی اندازه دانه بر انرژی گسیختگی (LSD=۴/۴۳۵)

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است انرژی گسیختگی با افزایش اندازه دانه، از ۱۵/۷۳mJ تا ۲۶/۶۳mJ افزایش می‌یابد. در پژوهش (Karaj and Muler, 2010) نیز اثر صعودی انرژی گسیختگی دانه *Jatropha curcas* L. در اثر افزایش دانه مشاهده شد. این افزایش، با توجه به تغییر کیفیت بافت دانه در اثر بزرگتر شدن آن کاملاً توجیه‌پذیر است. با توجه به شکل شماره ۷، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر میانگین انرژی گسیختگی در رطوبت یکسان و سرعت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند در حالیکه همین اختلاف در سرعت یکسان و رطوبت‌های مختلف مورد آزمایش معنی‌دار است که با توجه به معنی‌دار نشدن اثر تکی سرعت بارگذاری و معنی‌دار شدن اثر تکی رطوبت در سطح احتمالی ۱٪ بر انرژی گسیختگی این نتایج منطقی به نظر می‌رسد. بیشترین مقدار میانگین انرژی گسیختگی در رطوبت ۱۶/۵٪ و سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و کمترین مقدار میانگین انرژی گسیختگی در رطوبت ۱۰/۵٪ و سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه به دست آمده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بیشترین اختلاف

می‌یابد، همچنین با افزایش اندازه دانه، سرعت بارگذاری و محتوای رطوبتی میانگین تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می‌یابد. هرچند اثر اصلی سرعت بارگذاری بر مقادیر میانگین انرژی گسیختگی و چگرمگی معنی‌دار نشده‌است، اما با توجه به معنی‌داری اثر متقابل سرعت بارگذاری و رطوبت دانه، سرعت بارگذاری بهینه برای انجام عملیات برداشت و پس از برداشت $25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ با رعایت حداقل محتوای رطوبتی ممکن ($10/5\%$) می‌باشد. به طور کلی انجام عملیات در محتوای رطوبتی پایین‌تر باعث کاهش نیروی گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی می‌شود.

REFERENCES

- AfkariSayyah .A.H, Minaei .S, Sahari .M.A. (2009). Investigation on factors which effect on grain mechanical properties, as an index of wheat hardness. 16th national congress of Iran Food Industry, Gorgan University of agricultural science and natural resources, Gorgan Province, Iran. (In Farsi)
- Alami .H, Khoshtaqaza .M, Minaiee .S. (2009). Definition of mechanical properties of soy bean seed in a quasi- static load. Science and food industries of Iran magazine. 6 (2), 124-130. (In Farsi)
- Asadzadeh .A.H, Rasekh .M, Afkari .A.H. (2012). Effects of moisture content, loading direction and loading rate on mechanical properties of cotton seed (Varamin Variety), 7th national congress of Agricultural machinery and mechanization, Shiraz University, Iran. (In farsi)
- ASAE D245.6 W/Corr. 1, October. (2007). Moistur relationships of plant-based agriculture products American society of agriculture and biological engineers publication.
- Anonymous. (2007). ASAB EP 379.4, American Society of Agricultural and Biological Engineers, USA.
- Anonymous. (2010). Agriculture Database of FAO-STAT. Available on the <http://FAOSTAT.FAO.ORG>
- Anonymous. (2013). I. R. Iran Agricultural Ministry. Scheduled program of wheat seed production. (In Farsi)
- Karaj .S., Müller .J. (2010). Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. Ind. Crops Prod.: 1-10.
- Markowski .M, Majewska .K, Kwiatkowski .D, Malkowski .M, Burdylo .G. (2010). Selected geometric and mechanical properties of barley (*Hordeum Vulgare* L.) grains. International journal of food properties, 13(4): 890-905.
- Mohsenin, N. N. (1978). Physical Properties of plant and animal material. 1st edition. Gordon and Breach, New York, NY.
- Nourijangi .A, Mortazavi .S.A., Tavakoli .M, Ghanbari .A, Tavakolipor .H, Haghayegh .G.H. (2011). Comparison of mechanical and thermal properties between two varieties of barley (*Hordeum Vulgare* L.) grains. Australian journal of agricultural engineering, 2 (5): 132-139.
- Öztürk .T and Esen .B. (2008). Physical and mechanical properties of barley. Agricultural tropical Et subtropical, 41(3): 117-121.
- Rasekh.M, Firouzabadi .B, Minaei .S, AfkariSayah .A.H, Asghari .A. (2007). Comparison of some physical and mechanical properties of Sound and Sunn pest-damaged wheat kernel of Salary variety. Science and food industries of Iran magazine. 4 (3): 21-30. (In Farsi)
- Rasekh .M, Asadzadeh .A.H. (2012). Investigation of mechanical properties of cotton seed under quasi-static load. (Varamin Variety), 7th national congress of Agricultural machinery and mechanization, Shiraz University, Iran. (In Farsi)
- Seifi. M.R., Alimardani. R. (2010). Comparison of moisture-dependent physical and mechanical properties of two varieties of corn (Sc 704 and Dc 370). Australian Journal of Agricultural Engineering, 1 (5): 170-178.
- Sitkei, G. (1986). Mechanics of agricultural materials. Translated by S. Bars. Elsevier Science Publishers, New York.
- Stroshine .R. (1998). Physical properties of agricultural materials and food products. Department of agricultural biological engineering. Purdue University. West Lafaya, Indiana.
- Tavakoli .H, Mohtasebi .S.S., Rajabipour .A, Tavakoli .M. (2009). Effect of moisture content, loading rate and grain orientation on fracture resistance of barley grain. Research in agricultural engineering, 55: 85-93.

افزایش رطوبت به $16/5\%$ این اختلاف معنی دار شده است و در محتوای رطوبتی $16/5$ درصد چگرمگی دانه افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. البته در اکثر موارد نیز با افزایش سرعت بارگذاری چگرمگی افزایش داشته است. به طور کلی مشاهده می‌شود تغییر سرعت بارگذاری اثری بر چگرمگی دانه در رطوبت $16/5\%$ نداشته است و بیشترین اثر به تغییر رطوبت از $14/5\%$ به $16/5\%$ در سرعت های ۵، ۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه مربوط می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت با افزایش اندازه دانه، خواص مکانیکی مورد مطالعه دانه جو افزایش