

اثر رطوبت، سرعت و جهت بارگذاری بر روی خواص مکانیکی دانه نخود

عبداله گل محمدی^{۱*}، لطیف روغنی پور^۲، ترحم مصری گندشمین^۳

۱-۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی سابق گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

*نویسنده مسئول:

اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

پست الکترونیکی: Agolmohammadi42@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۷

چکیده

خواص مکانیکی محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین خواص مورد استفاده در طراحی فرایندها و ماشین‌های کشاورزی است. در این بین، نیروهای اعمالی و تغییر شکل مواد در اثر این نیروها جزء مهم‌ترین عمل و عکس‌العمل بین ماشین و محصول محسوب می‌شود. در این تحقیق خواص مکانیکی دانه نخود رقم آزاد در اثر آزمون‌های فشاری شبه استاتیکی در سطوح مختلف رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی و چگرمگی دانه نخود در سطوح رطوبتی ۱۱، ۱۶، ۲۱ و ۲۶ درصد بر پایه تر، در سه سطح سرعت بارگذاری ۲، ۵ و ۸ میلی‌متر بر دقیقه و در دو جهت بارگذاری موازی و عمود بر لبه اندازه‌گیری و ثبت شد. تحلیل نتایج نشان داد که اثر رطوبت و جهت روی تمام صفات اندازه‌گیری معنی‌دار بود. در حالیکه سرعت بارگذاری روی همه صفات اندازه‌گیری غیرمعنی‌دار است. با افزایش میانگین محتوی رطوبتی، نیروی گسیختگی از ۴۹۲ به ۹۷ نیوتن کاهش یافت. بیشترین و کمترین نیروی گسیختگی دانه، به ترتیب ۸۰۱ و ۲۸ نیوتن در رطوبت‌های ۱۱٪ و ۲۶٪ به دست آمد. همچنین با افزایش رطوبت، مقدار انرژی گسیختگی کاهش یافت. بیشترین میانگین انرژی گسیختگی مربوط به سطح رطوبتی ۱۱٪ و برابر با ۲۸۵ میلی ژول بدست آمد. همچنین محاسبات نشان داد که با افزایش رطوبت مقدار میانگین چگرمگی کاهش و تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد، بیشترین آسیب نخود مربوط به حالت دولپه‌ای شدن است که در رطوبت ۲۶٪ و بارگذاری در جهت موازی بر لبه، اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: نخود، خواص مکانیکی، رطوبت، انرژی گسیختگی، بارگذاری شبه استاتیکی.

۱- مقدمه

می‌باشد. حبوبات گیاهانی از خانواده بقولات

حبوبات پس از غلات، دومین منبع غذایی بشر (Fabaceae) و زیر خانواده پروانه آسایان

یا خراش برداشتن پوسته و لپه‌ای شدن نخود دیده می‌شود. لپه‌ای شدن دارای اهمیت بیشتری می‌باشد زیرا اگر تحت کوبش دولپه شود علاوه بر کاهش شدید کیفیت و قیمت ممکن است در مرحله جداسازی و تمیز کردن در خرمن‌کوب، لپه‌ها و یا بذور شکسته همراه با ساقه‌های خرد شده دور ریخته شوند (افکاری، ۱۳۸۷).

خزایی و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقی اثرات رطوبت، اندازه دانه و جهت بارگذاری بر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه سه رقم نخود ایرانی (بیونیز، کاکا و جم) تحت اثر نیروهای شبه استاتیک در محدوده رطوبت ۷-۱۵ درصد بر مبنای تر را مطالعه نموده و میانگین نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه‌های نخود به ترتیب ۲۳۰ نیوتن و ۱۰۵/۷ میلی ژول بدست آوردند و نتیجه گرفتند که هر چهار فاکتور رطوبت دانه، اندازه دانه، رقم و جهت بارگذاری تأثیر معنی‌داری بر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه دارد. همچنین با افزایش رطوبت، نیروی شکست کاهش و انرژی مصرفی روند افزایشی نشان می‌دهد. ذکی‌دیزجی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی تأثیر رطوبت، رقم و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی دانه نخود در رطوبت‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد را بررسی و نتیجه مطالعه خود را انتشار دادند. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت از ۱۵ به ۲۵ درصد نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی و چغرمگی کاهش و تغییر شکل افزایش می‌یابد و اثر رقم فقط بر نیرو و انرژی گسیختگی معنی‌دار است و اثر جهت بارگذاری فقط بر نیروی گسیختگی معنی‌دار است به طوری که بیشترین نیروی گسیختگی در بارگذاری عرضی بدست آمده است. ماشاءالله کرمانی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی مقادیر نیرو، انرژی شکست، مدول الاستیسیته

(*papilionoideae*) می‌باشد (کوچکی، ۱۳۸۱). نخود معمولی (*Chickpea*) از گونه‌های جنس *Cicer* است. به طور کلی نخودهای زراعی از نظر شکل دانه به دو تیپ تقسیم‌بندی می‌شود. تیپ اول به نام تیپ کابلی که دارای دانه‌های درشت (وزن یک صد دانه بیش از ۲۶ گرم) کم و بیش کروی و کرم رنگ بوده و تیپ دوم به نام دسی دارای دانه‌های کوچک‌تر (وزن یک صد دانه ۱۷-۲۶ گرم) با اشکال نامنظم و رنگ‌های مختلف می‌باشد (صادقی‌پور، ۱۳۸۰). در ایران طبق آمار سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ از بین ۸۶۹ هزار هکتار اراضی اختصاص یافته به حبوبات، ۶۴/۴۸ درصد آن متعلق به نخود می‌باشد و با سهم تولید ۲۰۹ هزار تن در رتبه اول گروه حبوبات قرار گرفته است (بی‌نام، ۱۳۸۸).

کیفیت دانه حبوبات به طور قابل توجهی تحت تأثیر روش‌های برداشت و جابجایی است. در این عملیات بذور به طور مکرر تحت ضرباتی بر سطوح فلزی و دیگر بذور قرار می‌گیرند. ضربات می‌تواند ناشی از دوران خرمن‌کوب، حرکت پیاله در بالابرها، عمودی، تخلیه کننده‌های گریز از مرکز و هلیس‌های بارگیری و تخلیه و یا در اثر تخلیه به صورت سقوط آزاد باشد. در طی جابجایی، تنش‌های مکانیکی (به صورت ضربه یا فشار) به پوسته یا بخش کوتیلدون دانه‌ها اعمال می‌گردد. بر این اساس بررسی خواص مکانیکی و رئولوژیکی دانه از اهمیت زیادی برخوردار است (افکاری، ۱۳۸۷).

حبوبات از جمله نخود را پس از برداشت خرمن‌کوبی می‌کنند. اما از آنجا که دولپه دانه حبوبات به سهولت از یکدیگر جدا می‌شوند، به هنگام کوبیدن باید دقت کرد تا دانه‌ها خرد یا دولپه نشوند. ضایعات و صدمات نخود به صورت صدمه دیدن جنین، کنده شدن

از نمونه‌ها، برای تعیین رطوبت اولیه، مقدار ۳۰ گرم از آن به طور تصادفی انتخاب و به مدت ۲۴ ساعت در دمای 1 ± 10.5 درجه سلسیوس داخل آن قرار گرفت. مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن دانه نخود به سطوح رطوبتی مورد نظر (۱۱، ۱۶، ۲۱، ۲۶ درصد) از رابطه‌ی (۱) محاسبه گردید:

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

که در آن M_i و M_f رطوبت‌های اولیه و رطوبت ثانویه دانه‌های نخود بر حسب درصد، W_i جرم اولیه نمونه بر حسب گرم و Q میزان آب لازم که برای رساندن رطوبت دانه‌های نخود به میزان مورد نظر بر حسب گرم است. مقدار آب لازم روی دانه‌های نخود اسپری شده و در ظرف پلاستیکی درب دار ریخته و بعد از هم زدن برای ایجاد تعادل رطوبتی به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. قبل از شروع هر آزمایشی روی دانه‌ها، مقدار مورد نیاز از یخچال بیرون آورده شده و به آن‌ها اجازه داده شد به مدت دو ساعت در دمای آزمایشگاهی قرار گیرند. برای انجام آزمون مکانیکی دانه‌های نخود و تعیین ویژگی‌های استحکام فشاری دانه، از دستگاه آزمون کشش و فشار ستنام مدل STM-20 استفاده شد. در هر بار قرارگیری دانه‌های نخود در دستگاه، ابعاد اصلی دانه (L, W, T) توسط کولیس دیجیتال با دقت 0.01 میلی‌متر اندازه گیری شد. برای تعیین قطر هندسی و میزان کرویت دانه نخود از روابط (۲) و (۳) استفاده شد (محسنین، ۱۹۷۰).

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{D_g}{L} \times 100 \quad (3)$$

و تغییر شکل دانه‌های برنج هاشمی و خزر را در دو سطح رطوبتی و در چهار سطح سرعت بارگذاری مختلف بررسی نمودند. نتیجه مطالعه نشان داد که با کاهش رطوبت دانه مقادیر کلیه خواص یاد شده افزایش می‌یابند و با کاهش رطوبت از ۱۷٪ به ۱۱٪ مقادیر نیرو و انرژی شکست در هاشمی بیش از دو برابر افزایش یافت. صدماتی که در اثر ضربه به بذر وارد می‌شود، باعث کاهش قابلیت نگهداری، کاهش درصد جوانه زنی و قدرت رویشی بذر و در نتیجه کاهش کیفیت محصول می‌شود. بنابراین باید کلیه عوامل و پارامترهای موثر (مانند رطوبت، رقم، جهت، سرعت بارگذاری و...) بر میزان و نحوه این صدمات مورد بررسی علمی قرار گیرند. از این رو بررسی خواص فیزیکی و رئولوژیکی این محصول مورد توجه محققین قرار گرفته است. اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی دانه نخود هم چون سایر دانه‌های گیاهی در طراحی بهینه تجهیزات برای کاشت، برداشت، بوجاری و عملیات فراوری لازم است. در این تحقیق کلیه خواص مکانیکی دانه نخود رقم آزاد شامل نیروی بیشینه، انرژی لازم برای شکست دانه، تغییر شکل دانه در بار بیشینه و نیز چگرمگی از طریق آزمون فشاری در محدوده رطوبت ۱۱ تا ۲۶ درصد بر پایه تر در سه سطح سرعت بارگذاری و دو جهت بارگذاری اندازه‌گیری و تعیین شده و اثر سرعت و جهت بارگذاری و نیز رطوبت دانه بر کلیه خواص مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از مرکز تحقیقات کشاورزی کرمانشاه تهیه و سپس به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از تمیز کردن دانه‌ها و تفکیک دانه‌های شکسته و مواد خارجی

شامل رطوبت، سرعت و جهت بارگذاری به ترتیب در ۵، ۳ و ۲ سطح و متغیرهای وابسته شامل نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی، تغییر شکل در نیروی شکست بیشینه و چگرمگی می‌باشند.

۳- نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری ابعاد هندسی، میانگین مقادیر خواص مکانیکی بدست آمده از آزمون‌های بارگذاری شبه استاتیک دانه‌های نخود و همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر عوامل رطوبت، جهت و سرعت بارگذاری بر نیروی گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی، انرژی گسیختگی و چگرمگی به ترتیب در جداول (۱)، (۲) و (۳) نشان داده شده‌اند.

۳-۱- خواص فیزیکی

با توجه به جدول (۱) با افزایش رطوبت دانه‌ها از ۱۱ تا ۲۶٪ بر پایه تر میانگین طول از ۹/۱۲ تا ۹/۴۶، عرض از ۷/۳۱ تا ۷/۹، ضخامت از ۷/۱۱ تا ۷/۳۳، میانگین قطر هندسی از ۷/۸ تا ۸/۱۸ میلی متر به طور خطی افزایش یافتند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین افزایش به ترتیب مربوط به عرض (۰/۹/۲۰) و ضخامت (۰/۳/۰۹) است. همچنین با افزایش رطوبت دانه‌های نخود از ۱۱ تا ۲۶٪ میانگین درجه کرویت از ۸۵/۶۳ تا ۸۶/۶۲ درصد افزایش یافت.

که در آن‌ها L ، W ، T و D_g طول، عرض، ضخامت و قطر هندسی دانه نخود بر حسب میلی متر و \emptyset درجه کرویت بر حسب درصد است. موقعیت قرارگیری دانه‌ها در دستگاه به دو صورت موازی و عمود بر لپه‌ها در نظر گرفته شد. بارگذاری در شرایط شبه‌استاتیک و در سرعت‌های ۲ mm/min، ۵ mm/min و ۸ mm/min انجام شد.

داده‌های نیروی شکست و تغییر شکل تا نقطه شکست از منحنی نیرو- تغییر شکل تعیین گردید. میزان کرنش از رابطه (۴) محاسبه شد (کامست و همکاران، ۲۰۰۲).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

انرژی گسیختگی نمونه‌ها با استفاده از سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل از مبدأ مختصات تا نقطه گسیختگی محاسبه شد.

برای تعیین چگرمگی هر یک از نمونه‌ها، مقدار انرژی گسیختگی بر حجم نمونه تقسیم و مقدار چگرمگی بر حسب میلی‌ژول بر میلی متر مکعب تعیین شد. حجم دانه با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد که در آن D_g قطر هندسی دانه نخود بر حسب میلی متر و V حجم دانه‌ها بر حسب میلی متر مکعب است.

$$V = \frac{\pi D_g^3}{6} \quad (5)$$

برای مقایسه خواص مکانیکی از طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در پنج تکرار استفاده شد که در آن فاکتورها (متغیرهای مستقل)

جدول ۱. مقادیر میانگین مشخصات هندسی دانه‌های نخود مورد استفاده در آزمون‌های مکانیکی

Table1. Mean values for geometric properties of chickpea seeds

محتوی رطوبت (%w.b.)				مشخصه
۲۶	۲۱	۱۶	۱۱	
۹/۴۶	۹/۳۳	۹/۱۶	۹/۱۲	طول
۷/۹	۷/۶۴	۷/۴۴	۷/۳۱	عرض
۷/۳۳	۷/۲۰	۷/۰۶	۷/۱۱	ضخامت
۸/۱۸	۸	۷/۸۴	۷/۸	قطر هندسی
۸۶/۶۲	۸۵/۸۸	۸۵/۶۲	۸۵/۶۳	کرویت

جدول ۲ میانگین مقادیر خواص مکانیکی دانه‌های نخود.

Table2. Mean values for mechanical properties of chickpea seeds

محتوی رطوبت بر پایه تر				سرعت بارگذاری	جهت بارگذاری	مشخصه مکانیکی
%۲۶	%۲۱	%۱۶	%۱۱			
۹۱/۷۸	۸۱/۸	۹۲/۹	۶۲۹/۸۱	۲	عمود بر لپه	نیروی شکست (N)
۱۱۶/۷۶	۱۴۳/۶۲	۱۵۵/۵۵	۵۵۰/۳۸	۵		
۸۹/۲۱	۱۷۶/۵	۱۶۵/۶	۵۴۷/۴۸	۸	موازی لپه	شکست (N)
۷۵/۰۲	۱۱۵/۱۳	۱۰۵/۳۲	۳۸۶/۸۵	۲		
۸۹/۷۵	۷۷/۹۳	۱۲۷/۲۲	۴۴۴/۶۱	۵	عمود بر لپه	انرژی شکست (mJ)
۱۲۵/۲۴	۸۵/۴۱	۱۱۸/۹۹	۳۹۴/۸	۸		
۲/۲۲	۱/۸۱	۱/۲۸	۱/۲۹	۲	عمود بر لپه	تغییر شکل (mm)
۲/۴۹	۲/۱	۱/۶۲	۱/۳۴	۵		
۲/۲۷	۲/۳۵	۱/۷۷	۱/۱۵	۸	موازی لپه	شکست (mJ)
۱/۹۶	۱/۹۴	۱/۲۴	۱/۱۴	۲		
۲/۱۶	۱/۷۲	۱/۳۳	۱/۰۷	۵	عمود بر لپه	چگرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)
۲/۲۹	۱/۷۴	۱/۲۹	۰/۹۲	۸		
۶۶/۷	۸۴/۹۴	۵۷/۲۳	۳۹۲/۵۶	۲	عمود بر لپه	انرژی شکست (mJ)
۷۷/۴	۸۸/۱۴	۱۲۴	۳۷۵/۹۷	۵		
۶۱/۶۵	۱۳۶/۵۹	۱۴۵/۹۸	۲۸۹/۲	۸	موازی لپه	شکست (mJ)
۴۸/۷۵	۷۸/۹۱	۶۶/۱۷	۲۳۲/۷۱	۲		
۵۸/۸۸	۵۵/۵۹	۸۶/۴	۲۴۵/۵۵	۵	عمود بر لپه	چگرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)
۷۸/۸۲	۶۳/۵۱	۷۵/۲۹	۱۷۹/۳	۸		
۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۲۳	۱/۳۵	۲	عمود بر لپه	چگرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)
۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۴۶	۱/۵۸	۵		
۰/۲۱	۰/۴۶	۰/۶	۱/۱۵	۸	موازی لپه	چگرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)
۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۸۹	۲		
۰/۲	۲۲	۰/۳۳	۱	۵	موازی لپه	چگرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)
۰/۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۸۱	۸		

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس خواص مکانیکی دانه های نخود (بر حسب p)

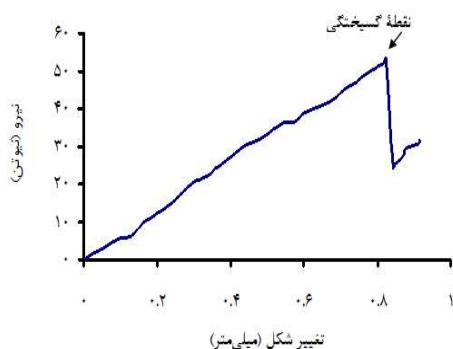
Table 3. Analysis of variance of mechanical properties (p)

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیروی گسیختگی	تغییر شکل نقطه گسیختگی	انرژی گسیختگی	چگرمگی
رطوبت	۳	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
سرعت بارگذاری	۲	ns ۰/۶۰۴	۰/۳۰۵ ^{ns}	۰/۷۷۴ ^{ns}	۰/۳۹۸ ^{ns}
جهت بارگذاری	۱	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
رطوبت × سرعت بارگذاری	۶	ns ۰/۷۷۴	۰/۵۶۵ ^{ns}	۰/۰۸۲ ^{ns}	۰/۱۱۳ ^{ns}
رطوبت × جهت بارگذاری	۳	۰/۰۰۱**	۰/۹۷۱ ^{ns}	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۶**
سرعت × جهت بارگذاری	۲	ns ۰/۹۶۲	۰/۳۱۰ ^{ns}	۰/۸۸۱ ^{ns}	۰/۷۴ ^{ns}
رطوبت × سرعت × جهت بارگذاری	۶	ns ۰/۲۲۰	۰/۵۲۷ ^{ns}	۰/۷۲۳ ^{ns}	۰/۷۴۵ ^{ns}
خطا	۹۷				

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ° معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ns غیر معنی دار

۲-۳- نیروی گسیختگی

شکل (۱) نمونه‌ای از نمودار نیرو- تغییر شکل دانه نخود در بارگذاری فشاری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، پس از بروز شکستگی، منحنی نیرو- تغییر شکل به طور ناگهانی افت پیدا می‌کند. این حالت در اکثر آزمایش‌ها ملاحظه گردید. نخستین نقطه گسیختگی که در آن نیرو کاهش پیدا می‌کرد به عنوان نیروی گسیختگی دانه ثبت گردید. نیروی لازم برای گسیختگی یکی از معیارهای استحکام ماده محسوب می‌گردد. استحکام دانه‌ها در مقابل نیروهای وارده به آن‌ها یکی از عوامل مهم در طراحی ماشین‌های فرآوری، برداشت مکانیکی، دستی و غیره است.



شکل (۱): نمونه‌ای از نمودار نیرو- تغییر شکل دانه نخود در بارگذاری فشاری

Fig. 1. A typical force-deformation curve for chickpea seed under compressive loading

مقدار نیروی لازم برای گسیختگی دانه‌ها با افزایش رطوبت از ۱۱ تا ۲۶٪ کاهش یافت. که با نتایج به دست آمده توسط کناک (۲۰۰۲)، خزایی (۱۳۸۳)، ذکی دیزجی و مینایی (۱۳۸۶) و ازریف و هولیا ایزیک (۲۰۰۸) برای دانه‌های نخود، کرمانی و همکاران (۱۳۸۵) برای برنج و طباطبائی فر و همکاران (۱۳۸۶) برای زیره سبز مطابقت دارد.

بارگذاری و اثر متقابل رطوبت در جهت، بر مقدار تغییر شکل دانه نخود در سطح ۱٪ معنی دار می‌باشد. بنابراین افزایش رطوبت ضمن کاهش مقاومت مکانیکی دانه، موجب افزایش قابلیت تغییر شکل‌پذیری آن می‌گردد. با افزایش رطوبت از ۱۱ الی ۲۶ درصد، تغییر شکل در نقطه گسیختگی از مقدار میانگین ۱/۲۶ الی ۲/۳۲ میلی‌متر در جهت عمود بر لپه (۱/۸۴ برابر) و از مقدار میانگین ۱/۰۴۳ الی ۲/۱۳ میلی‌متر در جهت موازی با لپه (۲/۰۵ برابر) افزایش می‌یابد. مشخص است که مقدار میانگین تغییر شکل در جهت عمود بر لپه بیشتر از جهت موازی با لپه می‌باشد. این تفاوت در استحکام دو جهت را می‌توان به شکل، ترتیب قرارگیری سلول‌ها و ساختمان داخلی بافت دانه نخود و همچنین سطح تماس در موقع بارگذاری فشاری نسبت داد. این نتیجه با نتایج تحقیقات ذکی و مینایی (۱۳۸۶) برای نخود و آلتون تاش و بیلدیز (۲۰۰۵) برای باقلا مطابقت دارد. همچنین پیداست که میزان افزایش تغییر شکل با رطوبت در نقطه گسیختگی در جهت موازی با لپه بیشتر از جهت عمود بر لپه است. افزایش قابلیت تغییر شکل‌پذیری دانه با رطوبت، خصوصیت مهمی است که مانع از هم گسیختگی دانه در زیر بار می‌شود که از نظر برداشت زود هنگام حائز اهمیت است.

بیشترین تغییر شکل ۳/۱۵ میلی‌متر در جهت عمود بر لپه و رطوبت ۲۶٪ و کمترین ۰/۵۲ میلی‌متر در جهت موازی با لپه و رطوبت ۱۱٪ به دست آمد. مقایسه میانگین تغییر شکل در سطوح رطوبتی مختلف در جدول (۴) آمده است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی رطوبت و جهت بارگذاری و نیز اثر متقابل رطوبت در جهت بارگذاری بر نیروی گسیختگی در سطح ۱٪ معنی دار شده است. بیشترین نیروی لازم برای گسیختگی مربوط به رطوبت ۱۱٪ در جهت عمود بر لپه (۸۰۱/۱۷ نیوتن) و کمترین نیرو در رطوبت ۲۶٪ و در جهت موازی با لپه دانه (۲۸ نیوتن) به دست آمد. میانگین نیروی گسیختگی در جهت عمود بر لپه‌ها (۲۳۶/۷۸ نیوتن) ۱/۳۳ برابر بیشتر از آن در جهت موازی با لپه‌ها (۱۷۸/۸۵ نیوتن) به دست آمد. همچنین گسیختگی در جهت عمود بر لپه به صورت خرد شدن و در جهت موازی با لپه به صورت معمول به صورت دو لپه شدن ظاهر شد. با توجه به کم بودن نیروی مورد نیاز شکست در جهت موازی با لپه، به نظر می‌رسد بیشترین آسیب مکانیکی دانه نخود به صورت دو لپه شدن صورت گیرد. از نظر آسیب مکانیکی، لپه‌ای شدن تحت ضربات کوبش در خرمن‌کوبی دارای اهمیت بیشتری می‌باشد.

تفاوت مقدار میانگین نیرو در رطوبت ۱۱٪ نسبت به سه سطوح رطوبتی دیگر زیاد می‌باشد. چنانچه در مقایسه میانگین نیروی گسیختگی تحت تأثیر رطوبت به روش دانکن، سطح ۱۱٪ در کلاس A و سه سطح دیگر در کلاس B قرار گرفتند. علت این تفاوت می‌تواند ناشی از ترد بودن دانه‌ها در سطح رطوبتی پایین باشد. نتایج مقایسه میانگین نیروی گسیختگی در سطوح رطوبتی مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

۳-۳- تغییر شکل

با توجه به جدول (۳) اثرات اصلی رطوبت و جهت

جدول ۴. مقایسه میانگین خواص مکانیکی در رطوبت‌های مختلف (به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)
Table 4. Mean comparison of mechanical properties at different moistures and Duncan based ($p=5\%$)

محتوی رطوبت (%w.b.)				
مشخصه مکانیکی	۱۱٪	۱۶٪	۲۱٪	۲۶٪
نیروی شکست (N)	۴۹۲/۳۲a	۱۲۷/۶b	۱۱۳/۴b	۹۷/۹۶b
تغییر شکل (mm)	۱/۱۵d	۱/۴۲c	۱/۹۴b	۲/۲۳a
انرژی شکست (mJ)	۲۸۵/۸۸a	۹۲/۵۱b	۸۴/۶۱b	۶۵/۳۶b
چگرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)	۱/۱۲a	۰/۳۷b	۰/۳۳b	۰/۲۲b

۳-۴- انرژی گسیختگی و چگرمگی

انرژی لازم برای گسیختگی (مساحت زیر منحنی نیرو- تغییر شکل) بستگی به دو عامل نیرو و تغییر شکل دارد. در این تحقیق با توجه به این که میزان کاهش نیروی گسیختگی دانه نخود در مقایسه با افزایش تغییر شکل حاصل از افزایش رطوبت در نقطه‌ی گسیختگی بیشتر است؛ لذا انرژی گسیختگی دانه نخود با افزایش درصد رطوبت در مجموع کاهش یافت. البته این نتیجه ممکن است برای مواد ترد و در رطوبت‌های پایین‌تر صادق نباشد.

ذکی‌دیزجی و مینایی (۱۳۸۶) برای نخود نتیجه مشابهی به دست آوردند. کرمانی و همکاران در تحقیقی روی برنج بیان نمودند که با کاهش رطوبت برنج از ۱۷ به ۱۱٪ بر پایه تر، نیرو و انرژی گسیختگی حدود دو برابر افزایش می‌یابد. با اینحال بعضی از محققین اظهار نموده‌اند که با افزایش رطوبت، انرژی بیشتری برای تخریب دانه نخود و محصولات مشابه لازم می‌باشد (خرزایی، ۱۳۸۱ و بیلا نسکی، ۱۹۹۶). البته دامنه و سطوح رطوبتی مورد مطالعه و عوامل مرتبط دیگر مانند ترد یا نرم بودن نمونه، معیار شکست، نوع و جنس

نمونه، شرایط آماده سازی نمونه، ارقام مختلف و روش و دستگاه آزمایش بر این مسئله تأثیرگذار می‌باشند (ذکی‌دیزجی و مینایی، ۱۳۸۶). بیشترین و کمترین انرژی مورد نیاز گسیختگی به ترتیب ۵۳۸ میلی‌ژول در رطوبت ۱۱٪ و جهت عمود بر لپه و ۱۱/۵ میلی‌ژول در رطوبت ۲۶٪ در جهت موازی لپه به دست آمد. میانگین انرژی لازم گسیختگی در جهت موازی با لپه (۱۰۵/۸۲ میلی‌ژول) کمتر از جهت عمود بر لپه دانه نخود (۱۵۸/۴ میلی‌ژول) به دست آمد. در نتیجه در رطوبت‌های بالاتر از نظر انرژی گسیختگی نیز بیشترین آسیب ممکنه به صورت لپه‌ای شدن ظاهر می‌گردد.

تأثیرات رطوبت و جهت بارگذاری و اثر متقابل این دو بر چگرمگی (انرژی مورد نیاز برای گسیختگی به ازای واحد حجم) مشابه اثرات آن‌ها بر انرژی می‌باشد. با افزایش رطوبت چگرمگی از مقدار میانگین ۰/۵۲۳ به ۰/۲۲۳ کاهش یافت.

خاصیت چگرمگی ترکیبی از دو خاصیت استحکام و انعطاف پذیری است و هر چقدر مقدار استحکام و انعطاف پذیری بیشتر باشد مقدار خاصیت چگرمگی نیز بالاتر است. وقتی افزایش رطوبت باعث کاهش نیروی

است. از این مدل‌ها می‌توان برای پیش‌بینی، برآورد و کنترل داده‌ها استفاده نمود. با توجه به اینکه تأثیر جهت بارگذاری بر کلیه خواص مکانیکی مورد مطالعه معنی‌دار می‌باشد، در نتیجه مدل‌های رگرسیونی در دو جهت مختلف ارائه شده است.

در مدل خطی تغییرات نیروی گسیختگی در مقابل تغییرات رطوبت که در دو جهت موازی و عمود بر لپه اعمال شد، مقدار ضریب تبیین مدل به ترتیب برابر با ۰/۶۵۱ و ۰/۶۵۸ محاسبه شد. همچنین ضریب تبیین مدل نمایی برازش شده به ترتیب برابر ۰/۸۰۸ و ۰/۸۴۲ به دست آمد. مدل درجه دوم ارائه شده دارای ضریب تبیین بزرگتر و به ترتیب برابر ۰/۹۵۹ و ۰/۹۳۰ بود که در نتیجه به دو مدل دیگر ترجیح داده شد.

گسیختگی و افزایش تغییر شکل گردد و در کل، مقدار چغرمگی را هم کاهش دهد، می‌توان نتیجه گرفت که اثر افزایش رطوبت بر روی کاهش نیروی گسیختگی بیشتر از اثر آن بر روی افزایش انعطاف پذیری بوده است. این نتیجه با نتایج تحقیقات ذکی‌دیزجی و مینایی (۱۳۸۶) برای دانه نخود مطابقت دارد. مقدار میانگین چغرمگی دانه نخود در راستای موازی با لپه $(0/422 \frac{mJ}{mm^3})$ کمتر از راستای عمود بر لپه $(0/602 \frac{mJ}{mm^3})$ به دست آمد. مقایسه میانگین چغرمگی در سطوح رطوبتی مختلف در جدول (۴) آمده است.

۳-۵- روابط رگرسیونی خواص مکانیکی دانه‌های نخود

در جدول (۵) روابط رگرسیونی خواص مکانیکی دانه‌های نخود رقم آزاد بر حسب رطوبت ارائه شده

جدول ۵. مدل‌های رگرسیونی خواص مکانیکی دانه‌های نخود بر حسب رطوبت در دو جهت بارگذاری

Table 5. Regression models of mechanical properties at different moistures and two directions of loading

خواص مکانیکی	جهت بارگذاری	ضریب تبیین (R ^۲)	مدل رگرسیونی
نیروی گسیختگی	موازی	۰/۹۵۹	$F = 2/954M_C^2 - 128/5M_C + 1453$
	عمود	۰/۹۳۰	$F = 4/031M_C^2 - 177/8M_C + 2021$
تغییر شکل در نقطه گسیختگی	موازی	۰/۹۸۳	$D = 0/075M_C + 0/161$
	عمود	۰/۹۷۹	$D = 0/074M_C + 0/426$
انرژی گسیختگی	موازی	۰/۹۵۳	$E = 1/393M_C^2 - 61/19M_C + 717/2$
	عمود	۰/۹۳۰	$E = 2/088M_C^2 - 94/43M_C + 1125$

۴- نتیجه گیری

بر پایه‌تر، میانگین نیروی گسیختگی ۵/۰۲ برابر و انرژی گسیختگی ۴/۳۶ و چغرمگی ۵ برابر کاهش یافته و تغییر شکل در نقطه گسیختگی ۱/۹۴ برابر افزایش یافت.

۱- تأثیر رطوبت دانه‌های نخود رقم آزاد بر کلیه خواص مکانیکی مورد ارزیابی در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار بود. به طوری که با افزایش رطوبت از ۱۱ تا ۲۶ درصد

- ۲- نیرو و انرژی مورد نیاز برای گسیختگی دانه‌های نخود در جهت عمود بر لپه بیشتر از جهت موازی با لپه به دست آمد (به ترتیب ۱/۳۳ و ۱/۵ برابر).
- ۳- اثر سرعت بارگذاری و تأثیر متقابل رطوبت در سرعت بر کلیه خواص مکانیکی مورد بررسی غیر معنی‌دار بود.
- ۴- اثر متقابل رطوبت در جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. تأثیر رطوبت بر نیرو و انرژی گسیختگی در جهت عمود بر لپه بیشتر از تأثیر آن در جهت بارگذاری موازی با لپه دانه نخود به دست آمد.

۵- فهرست منابع

1. Afkari, A.H. and Minaei, s. 2008. Fundamentals of investigation and evolution of mechanical damage in agricultural products. **JahadDaneshgahi** press. (In Persian).
2. Altuntaş, E. and Yildiz, M. 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. **Journal of Food Engineering** 78: 174-183.
3. Anon. 2009. **Agricultural statistics**. Vol 1, Ministry of Jihad-e-Agriculture (Iran).
4. Bilanski, W. K. 1966. Damage resistance of seed grains. **Trans of the ASAE** 19(2): 360 – 363.
5. Hunsigi, G. and Krishna, K. R. 2001. **Science of filed crop production**. Translated by sadeghipour, o. Pejeshkiannejad and son's publications. Iran.
6. Isik, E. and Isik, H. 2008. The effect of moisture of organic chickpea (*Cicerarienum* L.) Grain on the physical and mechanical properties. **International Journal of Agricultural Research** 3: 40-51.
7. Kermani A.M., Tavakoli, T., Minaei, s and Khoshtagaza, H. 2006. Determination of mechanical properties of rice kernel and study of effect speed of loading. **Iranian Journal of Food Science and Technology** 3(4): Wenter 2006. (In Persian).
8. 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).
9. Konak, M., Carman, K. and Aydin, C. 2002. Physical properties of chick pea seeds. **Biosystems Engineering** 82(1): 73-78.
10. Koocheki, A. and BanaianAval, M. 2002. Pulse crop, **JahadDaneshgahimashhad** press.
11. Liu, M., Haghghi, K., Stroshine, R. L. and Ting, E. C. 1990. Mechanical properties of the soybean cotyledon and failure strength of soybean kernels. **Trans of the ASAE** 33(3): 559 – 566.
12. Mohsenin, N.N. 1970. Physical properties of plant and animal materials (2nd Ed.). **Gordon and Breach Science Publishers**. New York.

13. Saiedirad, M.H., Tabatabaeefar, A. and Borghei, A. 2007. Effect of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed under quasi-static loading. **Journal of Food Engineering** 86: 565-572.
14. Zakidizaji, 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).

The Effect of Moisture Content, Speed, and Direction of Loading on Mechanical Properties of Chickpea Seed

A. Gholmohammadi¹, L. Roghanipour², T. Mesri Ghendishmin³

^{1,3} Assistant Professor of Mechanics of Agricultural Machinery Department of Mohagheghe Ardebili University, Iran

² Former MSC Student In Mechanics of Agricultural Machinery, Mohagheghe Ardebili University, Iran

*Agolmohammadi42@yahoo.com

Received: 2013-08-06 Accepted: 2013-12-18

Abstract

Mechanical properties of agricultural products are of the most important properties used in design processes and agricultural machinery. In this case, the applied force and deformation of materials are major components of these actions and reactions between the machine and the product. In this study, the mechanical properties of chickpea seeds (cultivar Azad) under quasi-static compression tests were evaluated at different levels of moisture content. Rupture force, rupture energy, deformation at rupture point, and toughness of the chickpea seed at four levels moisture content from 11 to 26% wet basis in three levels of loading rate from 2 to 8 mm per second and two direction of loading (parallel and perpendicular to the cotyledons) was measured and recorded. The results showed that moisture content and direction of loading were significant for all mechanical properties. While the effect of loading rate on all properties was insignificant. With increasing moisture content, mean load failure was reduced from 492 to 97 N. The maximum and minimum rupture force of seed, obtained on the moisture content of 11 and 26% that were 801 and 28 N, respectively. Also, with increasing moisture content, the amount of rupture energy decreased. The highest average rupture energy was obtained for moisture content level of 11% with 285 J. Also, the results showed that with increasing the average amount of moisture content, toughness reduced and deformation at the point of rupture increases. Results showed that the greatest damage on chickpea seeds is associated with split mode condition at 26% moisture content and occurs when the force is applied in a direction parallel to the cotyledon.

Keywords: Chickpea, Mechanical properties, Moisture content, rupture energy, quasi-static loading.