

تعیین برخی خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی دانه های جو (ارقام نصرت و کویر)

اردشیر نوری جنگی^{1*}، احمد قنبری³، سید علی مرتضوی²، امیر حسین الهامی راد²، مجتبی حیدری مجد¹

¹ دانش آموخته ی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

² گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

³ عضو هیات علمی گروه کشاورزی دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ پذیرش: 1393/2/13

تاریخ دریافت: 1392/6/3

چکیده

جو یکی از غلات مهم در ایران بوده و دانستن خصوصیات آن از جمله خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی، دارای اهمیت زیادی در بسیاری از تولیدات صنعتی، فرآوری و ذخیره آن می باشد. هدف از این تحقیق اندازه گیری برخی خواص دو واریته جو (نصرت و کویر) بود. برای این منظور، اثر رطوبت در چهار سطح 7/3، 12/1، 16/8 و 21/6 درصد بر پایه خشک، برای رقم نصرت و چهار سطح 6/7، 11/6، 15/4 و 21/2 درصد بر پایه خشک، برای رقم کویر مورد بررسی قرار گرفت. اثر رطوبت، جهت بارگذاری و نوع واریته روی خواص مکانیکی، نیرو و انرژی شکست، تعیین شد. بعلاوه، خواص حرارتی واریته های جو، گرمای ویژه، هدایت گرمایی و ضریب پخش گرمایی، در رطوبت اولیه ی آنها و در دمای 25 درجه سانتیگراد، اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت، ابعاد، قطر میانگین حسابی و هندسی، کرویت، وزن هزار دانه، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک روی صفحات مختلف برای هر دو واریته افزایش داشت. چگالی ظاهری و واقعی هر دو واریته با افزایش رطوبت، کاهش یافت. اثر رطوبت روی تخلخل دانه های جو معنی دار نبود. نیروی شکست برای هر دو واریته با افزایش رطوبت، کاهش و انرژی شکست افزایش یافت. همچنین نیرو و انرژی شکست برای هر دو واریته تحت بارگذاری افقی بیشتر از بارگذاری عمودی بود. نیروی لازم برای شکست واریته نصرت (104/28 نیوتن) بیشتر از واریته کویر (71/76 نیوتن) بود. میانگین انرژی شکست واریته نصرت 54/38 میلی ژول بدست آمد، در حالی که برای واریته کویر 60/65 میلی ژول بود. تفاوت معنی داری بین خواص حرارتی واریته های نصرت و کویر وجود نداشت.

واژه های کلیدی: دانه جو، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، خواص حرارتی.

1- مقدمه

جو (*Hordeum vulgare L*) یکی از غلات مهم و قدیمی در جهان می باشد. جو از گونه ی هوردیوم است و به خانواده ی پواسه از تیره علفیان تعلق دارد. امروزه این محصول یک پنجم کل محصولات خشک (خشکبار) دنیا را به خود اختصاص داده است. در ایران، جو بطور وسیعی کشت می شود. سطح زیر کشت جو در ایران حدود 1675650 هکتار و تولید سالانه ی آن 3446230 تن (FAO, 2009) می باشد (9). از نظر تاریخی، جو یک منبع غذایی مهم در بسیاری از مناطق جهان شامل خاورمیانه، شمال آفریقا، آسیا، و اروپای شرقی و شمالی (مانند ایران، مراکش، ایتویبی، ژاپن، کره، تبت، هند، فنلاند، انگلستان، دانمارک، روسیه، و لهستان) بوده است. اما به دلیل کیفیت بهتر فرآورده های غذایی تهیه شده از گندم و برنج در مقایسه با جو، استفاده از این محصول به عنوان غذا مخصوصاً در قرون 19 و 20 کاهش یافته است (5).

دانستن خواص فیزیکی و سایر خواص محصولات کشاورزی، از اهمیت زیادی در بسیاری از فرآیندهای صنعتی، بویژه برای پایش کردن کیفیت و سلامت محصولات در حین تولید، فرآوری و ذخیره آنها برخوردار می باشد. مواد کشاورزی و محصولات غذایی در پاسخ به نیروهای اعمالی تغییر شکل می دهند. نوع این پاسخ بطور وسیعی بین محصولات مختلف، متفاوت است. مقدار نیرو و انرژی لازم برای ایجاد یک تغییر شکل مشخص روی یک محصول، می تواند برای مطالعه ی خسارات وارده بر محصول حین برداشت، حمل و نقل و عملیات دیگر مورد استفاده قرار گیرد. چنین اطلاعاتی، در فرآیندهای مختلف برای ایجاد شکست و یا جلوگیری از شکست محصول دانسته های مفیدی را فراهم می آورد (32).

آگاهی از خواص حرارتی محصولات مثل گرمای ویژه، هدایت گرمایی و نفوذپذیری گرمایی و همچنین خواص فیزیکی مثل چگالی، شکل و اندازه، برای طراحی تجهیزات و پیش بینی فرآیندهای مرتبط با محصولات، ضروری است. برای تعیین اندازه و موقعیت دماسنجی که مقدار دمای ماده را در طول فرآیند گرم کردن یا سرد کردن مشخص می کند، دانستن خواص حرارتی ماده مورد نیاز است (19). در سال های اخیر ویژگی های مکانیکی و حرارتی بسیاری از محصولات کشاورزی مانند مقاومت مکانیکی پوست آفتاب گردان و مغز آن (12)، دانه های

بادام زمینی (4)، دانه زیره (27) و خواص حرارتی قارچ (30)، دانه سیب (23) غیره بررسی شد. در رابطه با تحقیقات انجام شده در زمینه خواص محصولات کشاورزی مرور منابع نشان داد که اطلاعات محدودی در رابطه با خواص جو وجود دارد، و با توجه به ضرورت داشتن اطلاعات کاملی در این رابطه، انجام این تحقیق ضروری است.

2- مواد و روش ها

2-1- آماده سازی نمونه های جو

دانه های جو (وارسته های نصرت و کویر) که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر کرج تهیه شدند. نمونه ها به منظور حذف مواد خارجی، گرد و خاک، و دانه های شکسته، بصورت دستی تمیز شدند. برای اندازه گیری رطوبت اولیه دانه های جو، نمونه ها با استفاده از آون در دمای 103 ± 1 درجه سانتیگراد برای مدت 24 ساعت خشک شدند (3). رطوبت اولیه رقم های نصرت و کویر به ترتیب $7/3$ و $6/7$ درصد بر پایه خشک بدست آمد. برای بررسی اثر رطوبت روی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه جو، علاوه بر محتوای رطوبتی اولیه نمونه ها، سه سطح رطوبتی دیگر برای رقم های جو در نظر گرفته شد. برای دستیابی به رطوبت های مطلوب، نمونه ها با مقدار آبی که با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد، دوباره رطوبت دهی شدند (26):

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

که در آن Q مقدار آب اضافه شده به نمونه بر حسب گرم، W_i وزن اولیه نمونه بر حسب گرم، M_f رطوبت نهایی نمونه بر حسب درصد، M_i رطوبت اولیه نمونه بر حسب درصد بود.

نمونه های رطوبت داده شده در داخل کیسه های پلاستیکی قرار داده شدند و به مدت یک هفته در دمای 5°C در داخل یخچال نگهداری شدند تا اینکه رطوبت بطور یکنواخت در بین نمونه ها توزیع شود. در نهایت، آزمایش های خواص فیزیکی و مکانیکی در رطوبت های $7/3$ ، $12/1$ ، $16/8$ و $21/6$ درصد بر مبنای خشک برای رقم نصرت و رطوبت های $6/7$ ، $11/6$ ، $15/4$ و $21/2$ درصد بر مبنای خشک برای رقم کویر انجام گرفت.

از ارتفاع حدود ۵۰ سانتی متری داخل یک ظرف پلاستیکی با حجم ۵۰۰ تقریبی سانتی متر مکعب اندازه گیری شد (10). تخلخل دانه‌ها با استفاده از چگالی‌های واقعی و ظاهری و به کمک رابطه زیر محاسبه شد (19):

$$e = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (6)$$

که در آن، e تخلخل دانه‌ها برحسب درصد، ρ_b چگالی ظاهری دانه‌ها برحسب کیلوگرم بر متر مکعب، ρ_t چگالی واقعی دانه‌ها برحسب کیلوگرم بر متر مکعب بود.

زاویه ریپوز، زاویه‌ای با افق است که در آن مواد هنگامی که روی هم انباشته می‌شوند، روی هم خواهند ایستاد برای اندازه گیری زاویه ریپوز تخلیه از یک جعبه مکعبی به ابعاد 200 میلیمتر استفاده شد. این جعبه از یک طرف دارای یک درب کشویی می‌باشد. نمونه را داخل جعبه ریخته و سطح آن را صاف می‌کنیم. سپس با سرعت درب کشویی را بالا کشیده با اندازه گیری ارتفاع و فاصله افقی کپه در دو (θ_e) تا دانه‌ها سرازیر شده و به طور طبیعی تشکیل کپه دهد. زاویه ریپوز تخلیه و جاگذاری مقادیر مربوطه در فرمول زیر به دست آمده است

$$\Theta = \tan^{-1} h/x \quad (7)$$

ضریب اصطکاک ایستایی دانه‌ها در مقابل سه سطح مختلف، چوب، شیشه و آهن گالوانیزه اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$m = \tan a \quad (8)$$

که در آن m ضریب اصطکاک ایستایی دانه‌ها، a زاویه‌ای که دانه‌ها در آستانه حرکت بر روی سطح قرار گرفتند، بود.

برای اندازه‌گیری چگالی‌های ظاهری و واقعی، تخلخل، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک بر روی سطوح مختلف، 5 تکرار برای هر ترکیب از آزمایش‌ها صورت گرفت.

2-3- اندازه‌گیری خواص مکانیکی

خواص مکانیکی دانه جو شامل نیرو و انرژی شکست، در دو جهت عمودی و افقی برای هر دو وارپته‌ی جو در رطوبت‌های مختلف اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های بارگذاری فشاری شبه استاتیکی با استفاده از یک دستگاه آزمون کشش-فشار (اینسترون-مدل SMT-5 ساخت شرکت سنتام تهران، ایران) انجام شد (شکل 2-2). سرعت بارگذاری 10 میلی‌متر بر دقیقه بود.

2-2- اندازه‌گیری خواص فیزیکی

در این تحقیق تأثیر رطوبت بر روی وارپته‌ها، طول، عرض، ضخامت و جرم 100 دانه‌ی جو که بصورت تصادفی انتخاب شده بودند، اندازه‌گیری شد. طول، عرض و ضخامت دانه‌ها با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت 0/01 میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

قطر میانگین دانه‌ها با استفاده از میانگین قطر حسابی و میانگین قطر هندسی بیان شد. این قطرها با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (19):

$$D_a = \frac{L + W + T}{3} \quad (2)$$

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

که در آن D_a قطر میانگین حسابی برحسب میلی‌متر، D_g قطر میانگین هندسی برحسب میلی‌متر، L طول دانه بر حسب میلی‌متر، W عرض دانه بر حسب میلی‌متر، T ضخامت دانه بر حسب میلی‌متر بود.

کرویت دانه‌ی جو از رابطه محسین محاسبه شد (19):

$$\Phi = \left[\frac{(LWT)^{1/3}}{L} \right] \times 100 \quad (4)$$

که در آن Φ کرویت دانه‌ها برحسب درصد است.

وزن هزار دانه با استفاده از یک ترازوی دیجیتال به دقت 0/001 گرم تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، 100 دانه تصادفی از توده دانه‌ها انتخاب و وزن شد (2). مساحت سطح دانه با تشبیه آن به کره‌ای با قطر معادل قطر میانگین هندسی دانه تعیین شد و از طریق معادله زیر اندازه‌گیری شد (26):

$$S = \pi D_g^2 \quad (5)$$

که در آن، S مساحت سطح دانه برحسب میلی‌متر مربع، D_g قطر میانگین هندسی دانه برحسب میلی‌متر بود.

چگالی واقعی به عنوان نسبت بین جرم دانه‌های جو و حجم واقعی دانه‌ها تعریف شد. حجم واقعی دانه‌ها با استفاده از روش جابجایی تولون (C_7H_8) تعیین شد. حجم جابجایی تولون، با غوطه‌ور کردن مقدار وزن شده‌ای از دانه‌های جو در حجم مشخصی از تولون با استفاده از بورت 50 میلی‌لیتری، اندازه‌گیری شد (26). چگالی ظاهری با استفاده از نسبت جرم به حجم، با ریختن دانه‌ها

4-2- اندازه گیری خواص حرارتی

خواص حرارتی دانه های جو شامل گرمای ویژه، هدایت گرمایی و ضریب پخش گرمایی، در رطوبت های اولیه ی دو رقم جو و در دمای 25 درجه سانتیگراد، با پنج تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. گرمای ویژه ی دانه ها با استفاده از یک کالری متر مسی که در داخل یک فلاسک قرار داده شده بود، با استفاده از روش مخلوط ها اندازه گیری شد (21). نمونه های جو با وزن و دمای مشخص داخل کالری متر که حاوی آب با وزن و دمای مشخص بود، ریخته می شد. سپس مخلوط با استفاده از یک همزن مسی، به هم زده می شد تا اینکه تعادل برقرار گردد. دمای نهایی ثبت می شد و گرمای ویژه ی نمونه ها با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$c_s = \left[\frac{(m_c c_c + m_w c_w)(T_e - T_{wi})}{m_s (T_{si} - T_e)} \right] \quad (9)$$

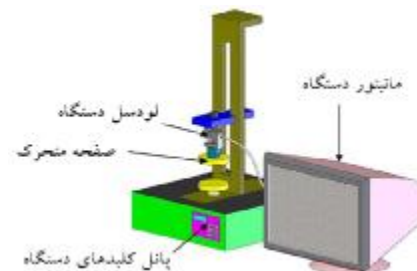
که در آن، c_s گرمای ویژه نمونه ها برحسب ژول بر کیلوگرم درجه کلونین، m_c جرم کالری متر برحسب کیلوگرم، c_c گرمای ویژه کالری متر برحسب ژول بر کیلوگرم درجه کلونین، m_w جرم آب برحسب کیلوگرم، c_w گرمای ویژه آب برحسب ژول بر کیلوگرم درجه کلونین، T_e دمای تعادلی برحسب درجه کلونین، T_{wi} دمای اولیه آب برحسب درجه کلونین، m_s جرم نمونه برحسب کیلوگرم، T_{si} دمای اولیه نمونه برحسب درجه کلونین، بود.

هدایت گرمایی (k) با استفاده از یک پروب شبیه به آنچه توسط آلاگوساندارام و همکاران (1) توصیف شده پروب مورد استفاده عبارت از یک سوزن تزریق 11 با قطر 1 میلیمتر و طول 46 میلیمتر بود که یک سیم کنستانتان برای تولید حرارت و یک ترموکوپل برای تعیین دما در داخل آن تعبیه شده است، اندازه گیری شد. این وسیله از یک منبع گرما و یک ترموکوپل تشکیل شده است. دانه ها برای اطمینان از تماس مناسب بینشان، فشرده شده و در داخل یک ظرف از جنس PVC قرار داده شدند. پروب به وسط توده جو نفوذ داده شد. هدایت گرمایی از فرمول زیر محاسبه گردید:

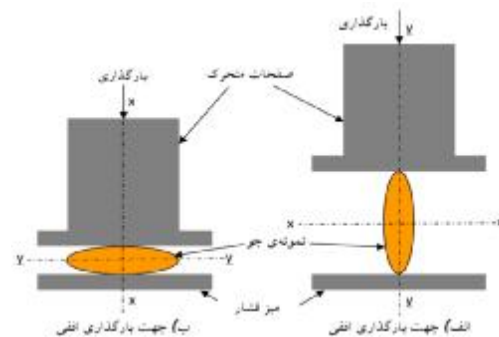
$$k = \frac{RI^2}{4pS} \quad (10)$$

که در آن، k هدایت گرمایی برحسب وات بر متر بر درجه کلونین، R مقاومت الکتریکی در واحد طول برحسب اهم بر متر،

برای هر ترکیب از آزمایش ها، 10 عدد دانه بطور تصادفی انتخاب و آزمایش شد. دانه جو بین دو صفحه ی موازی دستگاه قرار داده شد و تحت شرایط از پیش تعیین شده، فشرده شد تا هنگامی که شکست اتفاق بیفتد. منحنی نیرو- تغییر شکل بعد از هر آزمون ثبت گردید. نقطه ی شکست با نقطه ی تسلیم بیولوژیکی در منحنی نیرو- تغییر شکل متناسب است. نقطه ی تسلیم بیولوژیکی با یک بریدگی در منحنی نیرو- تغییر شکل مشخص می شود. بمحض اینکه شکست بیولوژیکی اتفاق می افتاد، بارگذاری متوقف می شد. برای بررسی اثر جهت قرارگیری دانه در بارگذاری، دانه بصورت عمودی گذاشته شد (شکل 1)، که قطر بزرگ دانه در این حالت موازی جهت بارگذاری بود. بارگذاری افقی، قطر بزرگ دانه عمود بر جهت بارگذاری بود (شکل 2). تغییر شکل، تغییرات در ابعاد اولیه دانه را نشان می داد. البته تغییر شکل حسگر تحت بارگذاری های استفاده شده در این آزمایش قابل چشم پوشی بود. انرژی مورد نیاز برای شکست دانه با محاسبه مساحت زیر منحنی نیرو- تغییر شکل تا نقطه شکست بدست آمد. این کار با استفاده از نرم افزار نصب شده بر روی کامپیوتر دستگاه انجام گرفت.



شکل 1- دستگاه آزمون کشش-فشار محصولات کشاورزی (20)



شکل 2- جهت های بارگذاری فشاری دانه ی جو

تخلخل واریته‌های نصرت و کویر به ترتیب 46/02 و 44/46 درصد بدست آمد. با توجه به مقادیر بدست آمده مقادیر چگالی ظاهری، چگالی واقعی، و تخلخل واریته نصرت بیشتر از واریته کویر بدست آمد.

وزن هزار دانه واریته‌های نصرت و کویر با افزایش رطوبت به ترتیب از 44/48 تا 51/30 و 46/03 تا 50/15 گرم افزایش یافت. بین دو واریته در مقادیر وزن هزار دانه تفاوت کمی وجود داشت. مقادیر زاویه استقرار برای هر دو واریته با افزایش رطوبت، افزایش یافت. زاویه استقرار واریته‌های نصرت و کویر به ترتیب در محدوده‌های 31/16 تا 36/90 و 28/83 تا 33/16 درجه قرار گرفت. زاویه استقرار بدلیل اصطکاک داخلی واریته نصرت کمی بیشتر از واریته کویر بود.

ضریب اصطکاک ایستایی دانه‌ها در مقابل سه سطح مختلف، چوب، شیشه و آهن گالوانیزه اندازه‌گیری شد. اثر رطوبت روی ضریب اصطکاک ایستایی هر دو واریته در مقابل سطوح مختلف، معنی‌دار بود. برای هر دو واریته و در تمام سطوح، با افزایش رطوبت، ضریب اصطکاک افزایش یافت. مقادیر مربوط به این مشخصه در رطوبت‌ها و واریته‌های مختلف در جدول 1 آورده شده است. برای هر دو واریته، بدلیل نوع سطوح در بین سطوح، سطح چوبی دارای بیشترین مقدار ضریب اصطکاک ایستایی و سطح شیشه‌ای دارای حداقل ضریب اصطکاک ایستایی بود.

2-3- خواص مکانیکی

نتایج حاصل از بررسی اثر رطوبت و جهت بارگذاری روی خواص مکانیکی دانه جو، واریته‌های نصرت و کویر، در جدول 3-3 ارائه شده است. تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رطوبت روی نیروی شکست واریته‌های نصرت و کویر و انرژی شکست واریته نصرت در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر رطوبت روی انرژی شکست واریته کویر در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار شد. جهت بارگذاری دانه، تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد روی نیرو و انرژی شکست هر دو واریته‌ی جو داشت. اثر متقابل رطوبت و جهت بارگذاری روی نیروی شکست واریته نصرت در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود، در حالی که این اثر روی نیروی شکست واریته کویر و انرژی شکست هر دو واریته معنی‌دار نبود. نتایج بدست آمده در زیر بحث می‌شود.

I شدت جریان برحسب آمپر، S شیب تغییرات دما برحسب درجه کلوین بود.

ضریب پخش گرمایی بر اساس مقادیر گرمای ویژه و هدایت گرمایی و با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$\alpha = \left[\frac{k}{c_s r_b} \right] \quad (11)$$

که در آن، α ضریب پخش گرمایی دانه‌ها برحسب مترمربع بر ثانیه، c_s گرمای ویژه دانه‌ها برحسب ژول بر کیلوگرم درجه کلوین، ρ_b چگالی ظاهری دانه‌ها برحسب کیلوگرم بر مترمکعب بود.

2-5- روش آماری

داده‌های آزمون توسط آنالیز واریانس داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و میانگین‌ها در سطح آماری 95% و توسط آزمون مقایسه میانگین دانکن و توسط نرم افزار SAS ver 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- خواص فیزیکی

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رطوبت روی اکثر خصوصیات فیزیکی هر دو واریته در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر رطوبت روی وزن هزار دانه و زاویه استقرار واریته کویر در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار شد و همچنین اثر رطوبت روی تخلخل هر دو واریته معنی‌دار نبود.

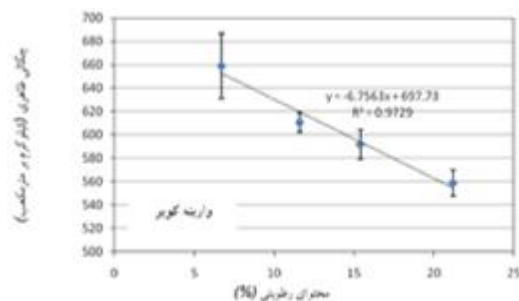
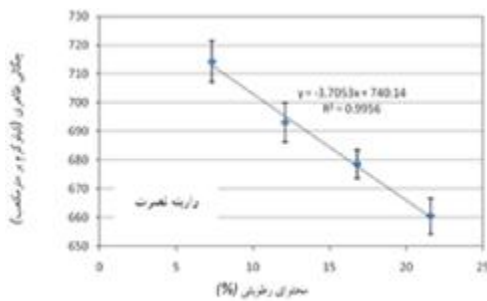
با افزایش رطوبت، طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین حسابی، قطر میانگین هندسی، کرویت و مساحت سطح هر دو واریته افزایش یافت. مقادیر مربوط به این خصوصیات در جدول 3-1 آورده شده است.

چگالی ظاهری و چگالی واقعی واریته‌ی نصرت با افزایش رطوبت به ترتیب از 714/33 تا 660/41 و 1333/41 تا 1210/52 کیلوگرم بر مترمکعب، کاهش یافت در حالی که این مقادیر برای واریته کویر به ترتیب از 659/09 تا 558/66 و 1209/94 تا 986/81 کیلوگرم بر مترمکعب، کاهش یافت. این روند برای هر دو واریته در شکل‌های 3 و 4 نشان داده شده است. اثر رطوبت روی تخلخل دانه‌های جو نصرت و کویر معنی‌دار نبود. میانگین

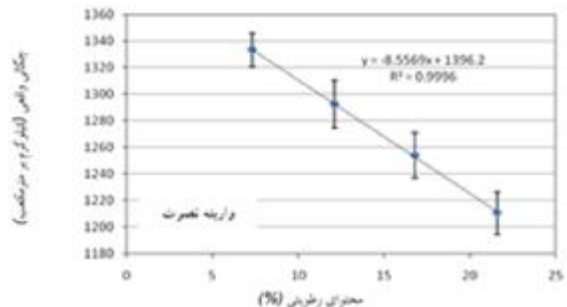
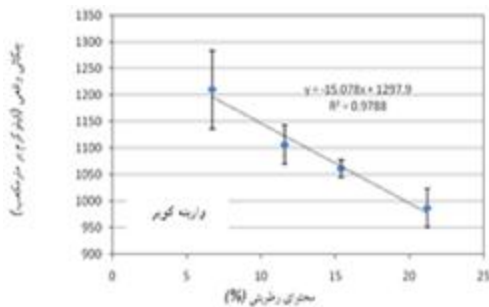
جدول 1- میانگین برخی خواص فیزیکی واریته‌های جو در رطوبت‌های مختلف

محتوای رطوبتی (درصد بر پایه خشک)								خصوصیت
واریته کویر				واریته نصرت				
21/2	15/4	11/6	6/7	21/6	16/8	12/1	7/3	
9/84	9/72	9/66	9/18	9/64	9/47	9/29	8/91	طول (mm)
(0/83)	(0/90)	(0/95)	(1/04)	(0/57)	(0/64)	(0/66)	(0/67)*	
3/68	3/56	3/39	3/16	3/73	3/65	3/45	3/29	عرض (mm)
(0/28)	(0/28)	(0/29)	(0/33)	(0/22)	(0/22)	(0/26)	(0/28)	
2/87	2/77	2/63	2/45	2/98	2/90	2/71	2/58	ضخامت (mm)
(0/22)	(0/27)	(0/28)	(0/32)	(0/18)	(0/18)	(0/23)	(0/23)	
5/46	5/35	5/23	4/93	5/45	5/34	5/15	4/93	قطر میانگین حسابی (mm)
(0/38)	(0/37)	(0/42)	(0/47)	(0/27)	(0/31)	(0/33)	(0/37)	
4/69	4/57	4/41	4/13	4/75	4/64	4/43	4/23	قطر میانگین هندسی (mm)
(0/32)	(0/31)	(0/36)	(0/40)	(0/23)	(0/27)	(0/30)	(0/33)	
47/85	47/30	45/88	45/27	49/35	49/08	47/70	47/54	کروییت (%)
(2/57)	(3/90)	(3/46)	(3/92)	(1/96)	(1/78)	(2/16)	(1/76)	
69/62	66/03	61/59	54/25	71/09	67/95	61/93	56/66	مساحت سطح (mm ²)
(9/45)	(9/16)	(9/84)	(10/50)	(7/15)	(7/98)	(8/39)	(8/76)	

*ارقام داخل پرانتز انحراف استاندارد می‌باشند.



شکل 3- تأثیر رطوبت روی چگالی ظاهری دانه جو



شکل 4- تأثیر رطوبت روی چگالی واقعی دانه جو

جدول 2- میانگین ضریب اصطکاک ایستایی واریته های جو در رطوبت های مختلف

محتوای رطوبتی (درصد بر پایه خشک)								جنس سطح
واریته کویر				واریته نصرت				
21/2	15/4	11/6	6/7	21/6	16/8	12/1	7/3	
0/36 _a	0/329 _{ab}	0/287 _{bc}	0/264 _c	0/440 _a	0/402 _b	0/368 _c	0/307 _d	شیشه
0/411 _a	0/392 _{ab}	0/350 _{bc}	0/302 _c	0/447 _a	0/428 _a	0/402 _b	0/339 _c	آهن گالوانیزه
0/446 _a	0/401 _{ab}	0/352 _{bc}	0/329 _c	0/463 _a	0/438 _b	0/417 _c	0/364 _d	چوب

*حروف a تا d حروف آماری هستند.

3-2-1- نیروی شکست

مقادیر نیروی شکست واریته ای جو نصرت و کویر در رطوبت های مختلف و جهت های بارگذاری مختلف در جدول 3 آورده شده است. همانطور که دیده می شود، نیروی لازم برای شکست اولیه ی دانه برای هر دو واریته با افزایش رطوبت، کاهش یافت. این روند ممکن است به این دلیل باشد که با افزایش محتوای رطوبتی دانه، ساختار آن نرم تر شده و به نیروی کمتری برای شکست نیاز دارد. همچنین نیروی شکست برای هر دو واریته تحت بارگذاری افقی بدلیل افزایش سطح، بیشتر از بارگذاری عمودی بود.

اثر متقابل رطوبت و جهت بارگذاری روی نیروی شکست واریته های جو در شکل 3-3 نشان داده شده است. میانگین نیروی شکست برای واریته ی نصرت 104/28 نیوتن بدست آمد که از 53/11 تا 172/39 نیوتن متغیر بود. در حالی که میانگین نیروی شکست واریته کویر 71/76 نیوتن بود که در محدوده ی 40/88 تا 111/72 نیوتن متغیر بود.

نتایج بدست آمده مطابق با نتایج کوناک و همکاران (2002) بود که بیشترین نیروی شکست دانه نخود را 210 نیوتن در رطوبت 5/2 درصد بر پایه خشک گزارش کردند.

آنها همچنین گزارش کرده اند که دانه های نخود در رطوبت های بالاتر، به شکست حساس تر می شوند و بنابراین به نیروی کمتری برای شکست نیاز دارند (15). آلتونتاس و ییلدیز (2007) مطالعه -

ای روی اثرات رطوبت بر روی برخی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه لویبای فابا انجام دادند.

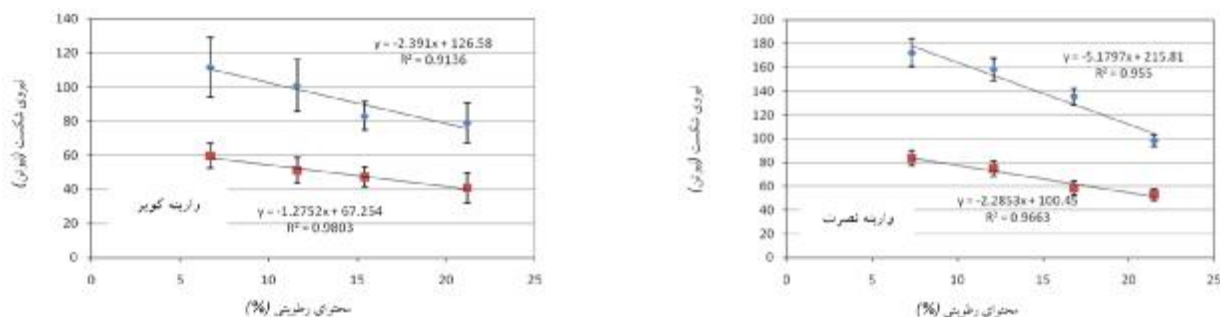
آنها گزارش کردند که با افزایش رطوبت از 9/89 تا 25/08 درصد، نیروی شکست، به ترتیب از 314/17 تا 185/10 نیوتن، 242/2 تا 205/56 نیوتن، و 551/43 تا 548/75 نیوتن برای بارگذاری در راستای محورهای X، Y، Z متغیر بود (2).

محققان دیگر کاهش در نیروی شکست دانه سویا با افزایش رطوبت را گزارش کردند که مطابق با نتایج این تحقیق بود (13، 17، 24).

روند کاهش مشابهی همپنین توسط سعیدی راد و همکاران (2008) برای دانه زیره، و گرجی و همکاران (2010) برای دانه گندم گزارش کردند (11، 27). از طرف دیگر، گزارش شده که استحکام فشاری لویبای فونگی با افزایش رطوبت افزایش می یابد (7).

تأثیر رطوبت و جهت بارگذاری روی نیروی شکست و تغییر شکل دانه گلرنگ توسط باوملر و همکاران (2006) مورد مطالعه قرار گرفت. آنها تفاوت معنی داری در نیروی شکست بین جهت های بارگذاری دانه مشاهده نکردند.

آنها گزارش کردند که با افزایش رطوبت تا 11 درصد بر پایه خشک، نیروی شکست کاهش یافت، ولی با افزایش بیشتر رطوبت، نیروی شکست افزایش یافت (6).



شکل 5- تأثیر رطوبت و جهت بارگذاری روی نیروی شکست دانه جو (♦ بارگذاری افقی و ■ بارگذاری عمودی)

جدول 3- میانگین نیرو و انرژی شکست واریته‌های جو در رطوبت‌های و جهت‌های بارگذاری مختلف

واریته نصرت		
رطوبت (درصد بر پایه خشک)	نیروی شکست (نیوتن)	انرژی شکست (میلی ژول)
7/3	128/04a*	34/37d
12/1	116/49b	47/42c
16/8	96/95c	63/54b
21/6	75/66d	72/20a
جهت بارگذاری		
افقی	141/09a	60/67a
عمودی	67/49b	48/11b
واریته کویر		
6/7	85/74a	52/17b
11/6	76/07ab	57/07ab
15/4	65/22bc	64/04ab
21/2	59/98c	69/34a
جهت بارگذاری		
افقی	93/76a	71/39a
عمودی	49/75b	49/91b

* میانگین‌ها با حداقل حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (P<0/05).

2-2-3- انرژی شکست

محدوده‌ی 40/33 تا 77/43 میلی ژول تغییر کرد. بنابراین مقادیر انرژی شکست واریته‌های نصرت و کویر نزدیک بود و مقادیر مربوط به واریته کویر کمی بیشتر بود که نشان دهنده‌ی انعطاف-پذیری بیشتر این واریته در برابر بارگذاری فشاری بود. انرژی جذب شده در شکست دانه تابعی از نیرو و تغییر شکل در نقطه شکست است. در رطوبت پایین، دانه نیروی زیادی برای شکست نیاز داشت و تغییر شکل‌اش کم بود، اما در رطوبت‌های زیاد،

میانگین مقادیر انرژی شکست واریته‌های دانه جو در رطوبت‌ها و جهت‌های بارگذاری مختلف در جدول 3 آورده شده است. انرژی شکست هر دو واریته با افزایش رطوبت، افزایش یافت. میانگین انرژی شکست واریته نصرت 54/38 میلی ژول بدست آمد که از 29/10 تا 78/24 میلی ژول متغیر بود، در حالی که انرژی شکست میانگین برای واریته کویر 60/65 میلی ژول بود که در

3-3- خواص حرارتی

خواص حرارتی واریته‌های نصرت و کویر شامل گرمای ویژه، هدایت گرمایی و ضریب پخش گرمایی، در رطوبت‌های به ترتیب 7/3 و 6/7 درصد بر پایه خشک، و در دمای 25 درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد (جدول 4). نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین خواص حرارتی واریته‌های نصرت و کویر وجود نداشت. نتایج حاصل در زیر ارائه شده است.

3-3-1- گرمای ویژه

میانگین گرمای ویژه دانه جو برای واریته‌های نصرت رطوبت و کویر، در رطوبت‌های به ترتیب 7/3 و 6/7 درصد بر پایه خشک، به ترتیب 1631/6 و 1392/0 ژول بر کیلوگرم درجه کلوین، بدست آمد. این بدان معنی است که انرژی کمتری برای گرم کردن دانه جو برای رسیدن به دماهای خشک شدن، در فرآیند خشک کردن نیاز است. گرمای ویژه در فرآوری حرارتی دانه‌ها و مخصوصاً در پیش‌بینی رفتار گرمایی آنها مفید خواهد بود.

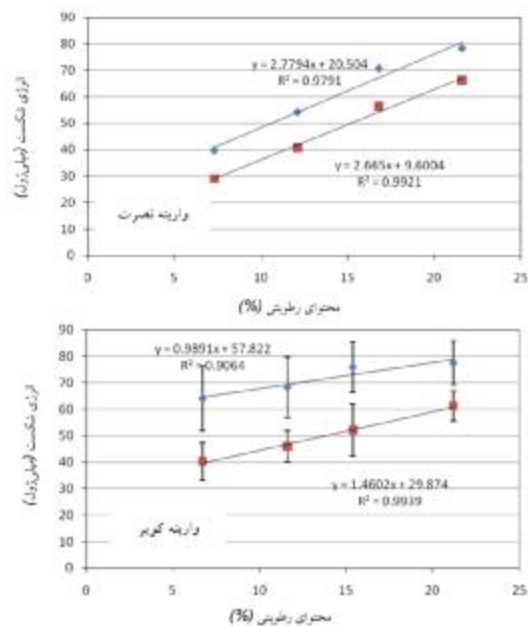
بنابراین دانستن گرمای ویژه دانه جو در طراحی فرآیند خشک کردن کاربرد دارد. همچنین برای بدست آوردن معادلات نرخ خشک کردن تجربی دانه جو، که بوسیله آن افت رطوبت از دانه جو به عنوان تابعی از دمای جو توصیف می‌شود، برخی اطلاعات در مورد خواص حرارتی دانه جو از جمله گرمای ویژه مورد نیاز است (29، 33).

3-3-2- هدایت گرمایی

هدایت گرمایی دانه جو مقیاسی از تواناییش در انتقال گرما می‌باشد. مقادیر میانگین هدایت گرمایی برای واریته‌های نصرت و کویر به ترتیب 0/175 و 0/161 وات بر متر درجه کلوین، بود. این نتیجه در توافق با این حقیقت است که هدایت گرمایی مواد غذایی بین هدایت گرمایی آب (0/614 وات بر متر درجه سانتیگراد در دمای 27 درجه سانتیگراد) و هدایت گرمایی هوا (0/026 وات بر متر درجه سانتیگراد در دمای 27 درجه سانتیگراد) متغیر است. مقادیر هدایت گرمایی سایر مواد غذایی بین این دو محدوده قرار می‌گیرد. هنگامی که دانه‌های جو خشک می‌شوند، مقدار هدایت گرمایی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد برای اینکه می‌توان گفت مواد جامد خشک

نیروی شکست کم و تغییرشکل بالا بود. افزایش انرژی شکست با افزایش رطوبت نشان دهنده این حقیقت است که اثر افزایش تغییرشکل بیشتر از اثر کاهش نیروی شکست با افزایش رطوبت بوده است. نتیجه بدست آمده با نتایج خزایی (2002) مطابقت داشت. او انرژی جذب شده در شکست نخود تحت بارگذاری شبه استاتیکی را اندازه‌گیری کرد و گزارش کرد که با افزایش رطوبت، انرژی شکست بطور معنی‌داری افزایش یافت (14). نتیجه مشابه‌ای توسط سعیدی‌راد و همکاران (2008) برای دانه زیره، و گرجی و همکاران (2010) برای دانه گندم گزارش کردند (11، 27).

همچنین مقادیر انرژی شکست در هر دو واریته و در همه رطوبت‌ها، برای بارگذاری افقی بطور معنی‌داری ($P < 0/01$) بزرگتر از مقادیر مربوط به بارگذاری در جهت عمودی بود. بنابراین دانه‌ها در جهت بارگذاری افقی خیلی انعطاف‌پذیرتر بودند. دلیل این امر می‌تواند این باشد که در بارگذاری عمودی تماس صفحات فشاری با دانه کمتر است و تنش بالاتری در دانه ایجاد می‌شود. در یک مطالعه که توسط سینگ و گوسوامی (1998) انجام شد، ماکزیمم انرژی جذب شده توسط دانه زیره 14/8 و 20/4 میلی‌ژول به ترتیب در بارگذاری افقی و عمودی، در رطوبت دانه‌ی 7 درصد بر پایه خشک، گزارش شده است (31). اثر متقابل رطوبت و جهت بارگذاری روی انرژی شکست واریته‌های جو نصرت و کویر در شکل 6 نشان داده شده است.



شکل 6- تأثیر رطوبت و جهت بارگذاری روی انرژی شکست دانه جو (بارگذاری افقی و بارگذاری عمودی)

گرمایی جو قابل مقایسه با هدایت گرمایی جو (0/17 تا 0/23 وات بر متر درجه کلونین) و نخود (0/19 تا 0/26 وات بر متر درجه کلونین)، در محدوده ی رطوبتی 9 تا 23 درصد و محدوده ی دمایی 28- تا 29 درجه سانتیگراد بود (1).

متخلخل هادی های گرمای خیلی ضعیفی هستند چرا که منافذ توسط هوا اشغال می شوند. برای مواد متخلخل، هدایت گرمایی اندازه گیری شده، یک مقدار ظاهری است که هدایت گرمایی مؤثر نامیده می شود. این مشخصه، یک ویژگی کلی از انتقال گرمایی است با این فرض که گرما بوسیله رسانش از میان مواد جامد و متخلخل منتقل می شود. مقدار بدست آمده برای هدایت

جدول 4- میانگین خواص حرارتی واریته های دانه جو

خواص حرارتی			
ضریب پخش گرمایی ($\text{m}^2 \text{s}^{-1} \times 10^{-8}$)	هدایت گرمایی ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	گرمای ویژه ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	واریته
14/67 a (5/92)	0/175 a (0/006)	1631/6 a (56/52)*	نصرت
15/70 a (3/29)	0/161 a (0/019)	1392/0 a (36/57)	کویر

* میانگین ها با حداقل حروف مشترک تفاوت معنی داری ندارند ($P < 0/05$). ارقام داخل پرانتز انحراف استاندارد می باشند.

دانه جو، نزدیک به مقادیر دانه زیره ($6/53 \times 10^{-8}$ تا $16/64 \times 10^{-8}$ مترمربع بر ثانیه) در محدوده ی دمایی 50- تا 50 درجه سانتیگراد و رطوبت 7/8 درصد بر پایه خشک بود (31).

نتایج بدست آمده در این تحقیق برای خواص حرارتی دانه های جو، در صنایع غذایی و در فرآیندهایی که خواص انتقال گرما و انبارش مواد کشاورزی دانه ای دارای اهمیت است، قابل استفاده می باشد. به عنوان نمونه این مشخصات قابل استفاده برای تنظیمات اهنگ خشک کردن، برای محاسبات زمان خشک کردن اقتصادی، و برای تعیین موازنه های انرژی فرآیندهای خشک کردن، می باشند.

4- نتیجه گیری

هدف از انجام این تحقیق اندازه گیری برخی ویژگی های دو واریته دانه جو (نصرت و کویر) بود. برای این منظور اثر رطوبت و نوع واریته روی خصوصیات فیزیکی، طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین حسابی، قطر میانگین هندسی، کرویت، مساحت سطح، چگالی ظاهری، چگالی واقعی، تخلخل، وزن هزار دانه، زاویه استقرار، و ضریب اصطکاک روی سطوح مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر رطوبت، جهت بارگذاری و نوع

واضح است که هدایت گرمایی پایین تر منجر به فرآیند خشک کردن کندتر خواهد شد. در تحقیقی که امامی و همکاران (2007) انجام دادند، یک رابطه خطی مستقیم بین چگالی ظاهری و هدایت گرمایی یافت شد (8). این امر می تواند به وجود منافذ و منافذ هوایی در میان مواد نسبت داده شود. از آنجائیکه هوا دارای هدایت گرمایی کمی است، تخلخل بیشتر (چگالی ظاهری کمتر) می تواند منجر به هدایت گرمایی کمتر شود.

اطلاعات هدایت گرمایی برای بیش از 100 ماده غذایی توسط کروکیدا و همکاران (2001) طبقه بندی و آنالیز شده است (16). هدایت گرمایی مواد غذای مختلف همچنین توسط محققان دیگر گزارش شده است (25، 28، 34).

3-3-3- ضریب پخش گرمایی

ضریب پخش گرمایی توانایی ماده برای هدایت گرما نسبت به توانایش در ذخیره گرما را تعیین می کند (32). میانگین ضریب پخش گرمایی برای واریته های نصرت و کویر به ترتیب $14/67 \times 10^{-8}$ و $15/70 \times 10^{-8}$ مترمربع بر ثانیه بدست آمد. دانستن این مقدار برای دانه جو به عنوان ضریب پخش گرمایی در محاسبات انتقال جرم و گرما که در طراحی فرآیند خشک کردن اعمال می شود، لازم است. مقادیر بدست آمده در این تحقیق برای

کلوین، بود. میانگین ضریب پخش گرمایی برای واریته های نصرت و کویر به ترتیب $14/67 \times 10^{-8}$ و $15/70 \times 10^{-8}$ مترمربع بر ثانیه بدست آمد.

5- منابع

- 1- Alagusundaram, K., Jayas, D.S., Muir, W.E. and White, N.D.G., 1991. Thermal conductivity of bulk barley, lentils, and peas. *Transactions of ASAE* 34, 1784-1788.
- 2- Altuntaş, E. and Yıldız, 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- ASAE, 2006. Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds. S352.2, 606.
- 4- Aydin, C., 2007. Some engineering properties of peanut and kernel. *Journal of Food Engineering* 79, 810-816.
- 5- Baik, B.K., and Ullrich, S.E., 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48(2): 233-242.
- 6- Baumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S.M. and Riccobene, I.C., 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*, 72, 134-140
- 7- Bay, P.M.A., Bourne, M.C. and Taylor, A.G., 1996. Effect of moisture content on compressive strength of whole snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds and separated cotyledons. *Int J Food Sci Tech*, 31, 327-331.
- 8- Emami, S., Tabil, L.G., Tyler, R.T. 2007. Thermal properties of chickpea flour, isolated chickpea starch, and isolated chickpea protein. *Transaction of the ASABE*, 50(2), 597-604.
- 9- FAO, 2009. Available from <http://faostat.fao.org/faostat/>.
- 10- Ghasemi Varnamkhashti, M., Mobli, H., Jafari, A., Keyhani, A.R., Heidari Soltanabadi, M., Rafiee, S. and Kheiralipour, K. 2008. Some physical properties of rough rice (*Oryza sativa*) grain. *Journal of Cereal Science* 47, 496-501.
- 11- Gorji, A., Rajabipour, A. and Tavakoli, H., 2010. Fracture resistance of wheat grain as a function of moisture content, loading rate and grain orientation. *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), 448-452.
- 12- Gupta, R.K. and Das, S.K., 2000. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46: 1-8.
- 13- Hoki, M. and Tomita, K., 1976. Moisture effects on mechanical strength of soybeans.

وارته روی خواص مکانیکی، نیرو و انرژی شکست، تعیین شد. بعلاوه، خواص حرارتی واریته های جو، گرمای ویژه، هدایت گرمایی و ضریب پخش گرمایی، در رطوبت اولیه ی آنها و در دمای 25 درجه سانتیگراد، اندازه گیری شد. همچنین خواص تغذیه ای و ترکیبات معدنی واریته های جو در این تحقیق اندازه گیری شد. نتایج زیر از انجام این تحقیق حاصل شد:

1. با افزایش رطوبت، طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین حسابی، قطر میانگین هندسی، کرویت، مساحت سطح، وزن هزار دانه، و زاویه استقرار هر دو واریته افزایش یافت. چگالی ظاهری و چگالی واقعی واریته ی نصرت با افزایش رطوبت به ترتیب از 714/33 تا 660/41 و 1333/41 تا 1210/52 کیلوگرم بر مترمکعب، کاهش یافت در حالی که این مقادیر برای واریته کویر به ترتیب از 659/09 تا 558/66 و 1209/94 تا 986/81 کیلوگرم بر مترمکعب، کاهش یافت. اثر رطوبت روی تخلخل دانه های جو نصرت و کویر معنی دار نبود. اثر رطوبت روی ضریب اصطکاک ایستایی هر دو واریته در مقابل سطوح مختلف، معنی دار بود. برای هر دو واریته و در تمام سطوح، با افزایش رطوبت، ضریب اصطکاک افزایش یافت. برای هر دو واریته، در بین سطوح، سطح چوبی دارای بیشترین مقدار ضریب اصطکاک ایستایی و سطح شیشه ای دارای حداقل ضریب اصطکاک ایستایی بود.

2. نیروی لازم برای شکست اولیه ی دانه برای هر دو واریته با افزایش رطوبت، کاهش یافت. همچنین نیروی شکست برای هر دو واریته تحت بارگذاری افقی بیشتر از بارگذاری عمودی بود. نیروی لازم برای شکست واریته نصرت بزرگتر از نیروی شکست واریته کویر بود. انرژی شکست هر دو واریته با افزایش رطوبت، افزایش یافت. مقادیر انرژی شکست واریته های نصرت و کویر نزدیک بود و مقادیر مربوط به واریته کویر کمی بیشتر بود. مقادیر انرژی شکست در هر دو واریته و در همه رطوبت ها، برای بارگذاری افقی بطور معنی داری بزرگتر از مقادیر مربوط به بارگذاری در جهت عمودی بود.

3. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده ها نشان داد که تفاوت معنی داری بین خواص حرارتی واریته های نصرت و کویر وجود نداشت. میانگین گرمای ویژه دانه جو برای واریته های نصرت و کویر به ترتیب 1631/6 و 1392/0 ژول بر کیلوگرم درجه کلوین، بدست آمد. مقادیر میانگین هدایت گرمایی برای واریته های نصرت و کویر به ترتیب 0/175 و 0/161 وات بر متر درجه

- loading. *Journal of Food Engineering*, 86(4): 565-572.
- 28- Saravacos, G.D. and Maroulis, Z.B., 2001. Transport Properties of Foods. New York: Marcel Dekker.
- 29- Sharp, J.R., 1982. A review of low temperature drying simulation models. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27, 169-190.
- 30- Shrivastava, M. and Datta, A.K., 1999. Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). *Journal of Food Engineering*, 39, 255-260.
- 31- Singh, K.K. and Goswami, T.K., 1998. Mechanical properties of cumin seed under compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 36, 311-321.
- 32- Strohine, R. and Hamann, D.D., 1994. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. Course manual, Purdue University, USA.
- 33- Sun D.W. and Woods, J.L., 1997. Low temperature moisture transfer characteristics of Barley: Thin-layer models and equilibrium misotherm. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59, 273-283.
- 34- Sweat, V.E., 1995. Thermal properties of foods. In M. A. Rao & S. S. H. Rizvi (Eds.), *Engineering properties of Foods*, 2nd ed (pp.99-138) New York:Marcel Dekker.
- Bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University, Tsu, 51, 103-110.
- 14- Khazaei, J., 2002. Determination of force required to pea pod harvesting and mechanical resistance to impact. [Ph.D. Thesis] Faculty of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.
- 15- Konak, M., Carman, K., Aydin, C. 2002. Physical properties of chick pea seeds. *Biosystems Engineering*, 82, 73-78.
- 16- Krokida, M.K., Panagiotou, N.M., Maroulis, Z.B. and Saravacos, G.D., 2001. Thermal conductivity: Literature data compilation for foodstuffs. *Int J Food Pro* 4: 111-137.
- 17- Liu, M., Haghighi, K., Strohine, R.L. and Ting, E.C., 1990. Mechanical properties of the soybean cotyledon and failure strength of soybean kernels. *Transaction of the ASAE*, 33, 559-566.
- 18- Mandas, N. and Habte, M., 2002. Numerical simulation statis-bed drying of barley. *Biosystems Engineering*, 82(3), 313-319.
- 19- Mohsenin, N.N., 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- 20- Nazari Galedar, M., Mohtasebi, S.S., Tabatabaeefar, A., Jafari, A. and Fadaei, H., 2009. Mechanical behavior of pistachio nut and its kernel under compression loading. *Journal of Food Engineering*, 95(3), 499-504.
- 21- Ogunjimi, L.O., Aviara, N.A. and Aregbesola, O.A. 2002. Some engineering properties of locust bean seed. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 95-99.
- 22- Oje, K. and Ugbor, E.C., 1991. Some physical properties of oil bean seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 50, 305-313.
- 23- Omobuwajo, T.O., Sanni, L.A. and Olajide, J.O., 2000. Physical properties of ackee apple (*Blighia sapida*) seeds. *Journal of Food Engineering*, 45, 43-48.
- 24- Paulsen, R.M., 1978. Fracture resistance of soybeans to compressive loading. *Transaction of the ASAE*, 21, 1210-1216.
- 25- Rahman, M.S. and Chen, X.D., 1995. A general form of thermal conductivity equation for an apple sample during drying. *Dry Technol* 13, 2153-2165.
- 26- Sacilik, K., Ozturk, R. and Keskin, R., 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering* 86(2), 191-198.
- 27- Saiedirad, M.H., Tabatabaeefar, A., Borghei, A., Mirsalehi, M., Badii, F. and Ghasemi Varnamkhasti, M. 2008. Effects of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (*Cuminum cyminum* Linn.) under quasi-static