

## برخی خواص فیزیکی و مکانیکی فندق و مغز آن (۲۲۵)

علی ماشاءاله کرمانی<sup>۱</sup>

### چکیده

در این تحقیق تعدادی از خواص فیزیکی دانه و مغز فندق رقم محلی قزوینی، به صورت تابعی از رطوبت در محدوده ۵٪ تا ۲۰٪ بر پایه تر اندازه گیری و ارزیابی گردید. خواص فیزیکی دانه و مغز فندق شامل ویژگی های ابعادی (طول، عرض و ضخامت)، وزن و خواص هندسی (قطر متوسط هندسی، حجم، مساحت سطح رویه و سطح مقطع) با افزایش رطوبت، افزایش می یافت. افزایش رطوبت موجب کاهش کروییت دانه و مغز فندق گردید. مقادیر متوسط طول، عرض (پهنا) و ضخامت (ارتفاع)، قطر متوسط هندسی، وزن، حجم، مساحت سطح رویه، مساحت سطح مقطع و کروییت دانه فندق در رطوبت ۵٪ بر پایه تر به ترتیب عبارت بودند از، ۱۶/۹۲، ۱۷/۵۱، ۱۵/۳۳، ۱۶/۵۵ میلی متر، ۱/۹۵ گرم،  $2/40 \text{ cm}^3$ ،  $8/63 \text{ cm}^3$ ،  $2/16 \text{ cm}^3$  و  $93/52\%$ ، همچنین مقادیر متناظر برای مغز فندق به صورت ۱۳/۵۵، ۱۳/۵۹، ۱۱/۸۹، ۱۳/۰۰ میلی متر، ۰/۹۲ گرم،  $1/16 \text{ cm}^3$ ،  $5/02 \text{ cm}^3$  و  $1/26 \text{ cm}^3$  و ۹۲/۸۵٪ بود. درصد نسبت پوست دانه فندق ۵۲/۸۱٪ ارزیابی گردید. برای تعیین خواص مکانیکی، دانه و مغز فندق بین دو صفحه تحت موازی بارگذاری شدند و مقادیر نیروی شکست و تغییر شکل ویژه برای شروع گسیختگی پوست و مغز تعیین شدند. آزمایش ها برای فندق در دو سطح ۵٪ و ۱۰٪ بر پایه تر، و برای مغز در سطح رطوبت ۵٪ بر پایه تر و در سه جهت بارگذاری در امتداد محورهای X، Y و Z انجام گرفت. نتایج نشان داد که رطوبت و جهت بارگذاری، نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا گسیختگی دانه فندق را بطور معنی داری ( $P < 0.01$ ) تحت تأثیر قرار می دهد. با افزایش رطوبت نیروی شکست دانه کاهش می یافت، در حالی که تغییر شکل ویژه شکست افزایش می یابد. بیشترین نیروی شکست دانه و مغز فندق به ترتیب در جهت بارگذاری در امتداد محور Xها و Zها بود. متوسط نیروی شکست دانه فندق در سه جهت بارگذاری به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از مقدار آن برای مغز فندق بود.

**کلیدواژه:** خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، نیروی شکست، فندق، مغز فندق

۱- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، پست الکترونیک: a\_m\_kermani@yahoo.com

## مقدمه

فندق یکی از محصولات باغبانی - خشکباری است که ارزش غذایی بالایی در تغذیه انسان دارد. ضمناً این محصول ارزش صادراتی بالایی دارد، به همین دلیل توجه به توسعه و بهبود روند تولید و فرآوری آن از اهمیت خاصی برخوردار است. کشور ایران پس از کشورهای ترکیه، ایتالیا، اسپانیا و آمریکا رتبه پنجم جهانی تولید فندق در دنیا را دارا است. عمده صادرات این محصول به کشورهای حاشیه خلیج فارس بوده است. از محل های عمده تولید فندق منطقه الموت واقع در شمال استان قزوین و رشته کوه های البرز است. با توجه به استعداد منطقه، امکان توسعه سطح زیر کشت این محصول و نیز ایجاد صنایع غذایی وابسته، سیستم های فرآوری و بسته بندی به منظور ورود به بازارهای جهانی را دارد [۳]. از این رو، جهت توفیق در تولید و توسعه سطح زیر کشت این محصول توجه به ایجاد دستگاه های فرآوری مناسب جهت عرضه محصول مرغوب و با کیفیت بالا اجتناب ناپذیر است [۲].

تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین ها و تجهیزات انتقال، درجه بندی و فرآوری محصولات کشاورزی همیشه مورد توجه بوده است. اصولاً طراحی ماشین های کشاورزی بدون توجه به این پارامترها ناقص و منجر به نتایج ضعیف خواهد گردید. بعضی از خواص فیزیکی وابسته به رطوبت مواد کشاورزی عبارتند از شکل، اندازه (ابعاد)، جرم، چگالی توده، چگالی حقیقی، تخلخل و ضریب اصطکاک روی سطوح مختلف [۱۴]. تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه تعیین خواص بیومکانیک محصولات مختلف کشاورزی صورت گرفته است. از جمله این محصولات می توان به دانه سورگوم، دانه انار، نخود، نخود سبز، عدس، دانه بامیه، دانه کلزا، بلارد<sup>۱</sup>، بادام و مغز آن، پسته و مغز اشاره نمود [۱۵، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۶، ۲۲، ۱، ۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۱۱]. کلیه مطالعات فوق نشان داده اند که خواص فیزیکی بشدت تحت تأثیر رطوبت محصول بوده اند.

در رابطه با فندق چندین تحقیق برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی انجام شده است. آیدین<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) مقادیر خواص فیزیکی (خصوصیات ابعادی و شکلی، چگالی ها و تخلخل)، ضریب اصطکاک، سرعت حد و نیروی شکستن فندق و مغز فندق رقم Tombul ترکیه که از تولیدکنندگان عمده تولید فندق است را در سه سطح رطوبت ۳٪، ۹ و ۲۰٪ بر پایه تر تعیین کردند [۷].

گونر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۳) رفتار مکانیکی فندق و مغز آن را تحت بارگذاری فشاری بین دو صفحه تخت بررسی کردند. آنان در این تحقیق پارامترهای نیرو، تغییر شکل نسبی در نقطه شکست و انرژی شکست را در سه محور بارگذاری X، Y و Z مطابق شکل ۱ مطالعه کردند. نتایج آزمون مکانیکی نشان داد که رفتار مکانیکی فندق در بارگذاری در امتداد محور X و Y به رطوبت بستگی داشت، در صورتی که در امتداد محور Z ارتباط معنی داری با رطوبت نشان نداد. آنان همچنین گزارش کردند که تغییر شکل تا نقطه شکست و انرژی شکست پوسته عموماً با افزایش رطوبت افزایش می یافت، در حالی که نیروی شکست با افزایش رطوبت، کاهش معنی داری نشان داد. بررسی نتایج خواص فیزیکی نشان داد که ارقام مختلف با هم اختلاف معنی داری دارند و مقادیر تعیین شده با نتایج تحقیق آیدین (۲۰۰۲) مطابقت داشته اند [۱۰].

اوزدمیر و آکینچی<sup>۴</sup> (۲۰۰۴) خواص فیزیکی و غذایی چهار رقم فندق تجاری ترکیه را تعیین و مقایسه نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بطور کلی تمام خواص فیزیکی ارقام مورد مطالعه از نظر آماری با هم متفاوت است [۱۷].

پلیستیچ<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۶) خواص فیزیکی و نیروی شکستن فندق و مغز فندق رقم محلی کشور کرواسی را بصورت تابعی از رطوبت در چهار سطح رطوبت در محدوده رطوبت ۲/۶٪ تا ۷/۲۸٪ بر پایه تر تعیین کرده و برای آن ها روابط رگرسیونی ارائه کردند. نتایج خواص ابعادی فندق رقم مورد مطالعه آنان نشان داد که این رقم بزرگ تر از ارقام ترکیه ای است که آیدین (۲۰۰۳) تعیین کرده بود. همچنین نتایج خواص ابعادی مغز فندق نشان داد که رقم کشور کرواسی کشیده تر و پهن تر از ارقام ترکیه ای و البته دارای گرویت کمتری است [۱۸].

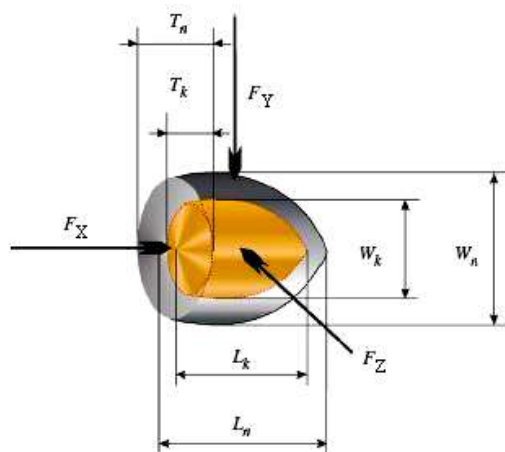
1. Cashew nut

2. Aydin

3. Guner

4. Ozdemir &amp; Akinci

5. Pliesic

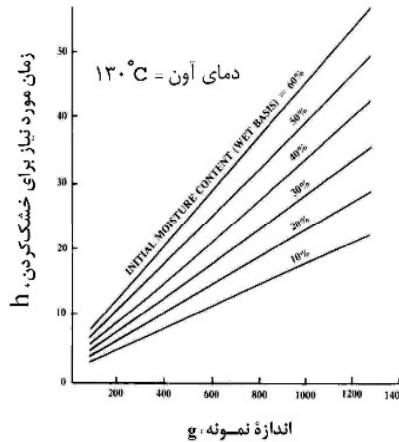


شکل ۱: ابعاد فندق، مغز فندق و جهت های بارگذاری،  $T_n$ ;  $W_n$ ;  $L_n$  به ترتیب طول، پهنا و ضخامت فندق و  $T_k$ ;  $W_k$ ;  $L_k$  ابعاد متناظر برای مغز فندق و  $F_x$ ;  $F_y$ ;  $F_z$  سه جهت بارگذاری.

- طبق بررسی های انجام شده تحقیقی پیرامون خواص بیومکانیکی فندق انجام نشده است. از این رو، در راستای مکانیزاسیون عملیات فرآوری فندق در تحقیق حاضر برخی پارامترهای بیوفیزیکی - مکانیکی آن تعیین می گردد. بر این اساس هدف از انجام این تحقیق، تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی فندق و مغز آن بصورت زیر می باشد:
- ۱- تعیین خواص فیزیکی فندق و مغز فندق رقم محلی قزوینی شامل ابعاد (طول، پهنا و ضخامت)، قطر متوسط هندسی، کروییت، جرم واحد دانه و نسبت پوست فندق در محدوده رطوبتی ۵٪ تا ۲۰٪.
  - ۲- تعیین خواص مکانیکی فندق و مغز آن شامل: نیرو و انرژی شکست فندق و مغز آن و نیز تغییر شکل پذیری فندق و مغز آن تا نقطه شکست در دو سطح رطوبتی ۵٪ و ۱۰٪ در بارگذاری در امتداد سه محور اصلی فندق.

## مواد و روش ها

حدود ۱۵ کیلوگرم فندق ت از منطقه الموت تهیه شد. فندق های مورد نظر بصورت دستی پوست گیری شده، دانه های نارس، شکسته و مواد زائد از آن خارج گردید. برای تعیین رطوبت اولیه فندق از دستورالعمل موجود برای محصول مشابه (بادام زمینی) استفاده شد. مطابق دستورالعمل ASAE S410.1 و نمودار شکل ۲ رطوبت اولیه فندق از طریق قراردادن سه نمونه ۷۰ گرمی در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت حدود ۲۳٪ بر پایه تر تعیین گردید [۵].



شکل ۲: نمودار زمان‌های لازم برای خشک کردن نمونه در آون برای تعیین رطوبت اولیه نمونه‌های با اندازه‌های مختلف [۵].

### خواص فیزیکی

برای تعیین خواص فیزیکی فندق و مغز آن بر حسب رطوبت چهار سطح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد بر پایه‌تر در نظر گرفته شد. سطوح مختلف رطوبت مورد نظر دانه‌ها از طریق خشک کردن در هوای آزاد و توزین‌های پی در پی و محاسبه کاهش وزن تا رسیدن به سطح مطلوب ایجاد شد.

برای اندازه‌گیری‌های ابعادی دانه و مغز فندق (مطابق شکل ۲) و جرم واحد دانه، هشتاد دانه از رقم مورد نظر در هریک از چهار سطح رطوبتی به طور تصادفی انتخاب شده به کمک کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) و ترازوی الکترونی (با دقت ۰/۰۱ گرم) انجام شد. حجم ( $V$ )، قطر متوسط هندسی<sup>۱</sup> ( $D_g$ ) و کروییت ( $\phi$ ) فندق و مغز آن در هر سطح رطوبتی به ترتیب از روابط ۱ تا ۳ محاسبه می‌گردد [۱۴].

$$V = \pi LWT / 6 \quad (۱)$$

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (۲)$$

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} 100 \quad (۳)$$

که در آن‌ها:

$$V = \text{حجم، mm}^3$$

$$D_g = \text{قطر متوسط هندسی، mm}$$

$$\phi = \text{کروییت، درصد}$$

$$L = \text{طول، mm}$$

$$W = \text{پهنا، mm}$$

$$T = \text{ضخامت، mm}$$

نسبت پوست ( $R_s$ ) یا درصد جرمی پوست<sup>۲</sup> از توزین وزن پوست هر دانه فندق و محاسبه نسبت وزن پوست ( $M_s$ ) به وزن فندق کامل ( $M$ ) مطابق رابطه ۴ تعیین گردید [۲۰].

$$R_s = \frac{M_s}{M} \quad (۴)$$

<sup>۱</sup>. Geometric mean diameter

<sup>۲</sup>. Shell mass percentage or shell ratio

مساحت سطح<sup>۱</sup> رویه، (S)، و سطح مقطع<sup>۲</sup>، (S<sub>p</sub>)، دانه و مغز فندق به ترتیب برابر مساحت سطح کُره و دایره‌ای با قطری معادل قطر متوسط هندسی آن‌ها در نظر گرفته شد و از روابط ۵ و ۶ محاسبه گردید [۱ و ۱۹].

$$S = \pi D_g^2 \quad (۵)$$

$$S_p = \pi D_g^2 \quad (۶)$$

### خواص مکانیکی

آزمون مکانیکی فندق برای تعیین ویژگی‌های مقاومت به شکستگی آن انجام شد. آزمایش‌ها به وسیلهٔ ماشین آزمون مواد Hounsfield مدل H5K-s ساخت انگلستان انجام شد. این ماشین به یک دستگاه رایانه متصل است و از طریق نرم‌افزار مربوطه تنظیمات آزمایش اعمال شده و نمودار نیرو – تغییرشکل برای هر آزمایش ثبت می‌گردد. آزمون مکانیکی فشاری برای دانهٔ فندق در دو سطح رطوبت ۵٪ و ۱۰٪ بر پایه تر و برای مغز فندق تنها در سطح رطوبت ۵٪ انجام گردید. با توجه به این‌که رطوبت محصول برای نگهداری حدود ۶-۵ درصد و عملیات فندق‌شکنی در رطوبت ۱۰٪ انجام می‌گیرد، در این تحقیق خواص مکانیکی فندق در این دو سطح تعیین و مورد بررسی قرار می‌گیرد. فندق و مغز آن بین دو صفحهٔ موازی در سه جهت مطابق شکل ۱ در امتداد محورهای اصلی X (محور طولی)، Y (در امتداد پهنا) و Z (در امتداد ضخامت) با سرعت ۱/۲۴ mm تحت اثر بارگذاری فشاری قرار می‌گیرد. برای هر آزمایش داده‌های نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطهٔ شکست از منحنی نیرو – تغییرشکل تعیین گردید. تغییرشکل ویژه (نسبی) در هر جهت بارگذاری از تقسیم تغییرشکل تا نقطهٔ شکست بر اندازهٔ قطر دانه در امتداد محور متناظر مطابق رابطهٔ ۷ محاسبه گردید.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} 100 \quad (۷)$$

که در آن:

$\varepsilon$  = تغییرشکل ویژه (نسبی)، درصد (بدون بعد)

$L$  = اندازهٔ اولیهٔ بعد دانه تحت بارگذاری، mm

$\Delta L$  = اندازهٔ تغییرشکل تا نقطهٔ شکست در جهت بارگذاری، mm

آزمون‌های مکانیکی مورد نظر برای هر تیمار در هشت تکرار انجام شدند. از این‌رو، تعداد آرایش‌های مکانیکی برای دانهٔ فندق ۴۸ و برای مغز فندق ۲۴ آزمایش بوده است. نتایج پارامترهای آزمون مکانیکی بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیهٔ واریانس شد. مقایسهٔ میان بین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. داده‌های حاصل از تحقیق به کمک نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تحلیل قرار گرفتند. معادلات رگرسیونی برای خواص مختلف فیزیکی به کمک برنامهٔ MS Excel 2003 بدست آمد.

### نتایج و بحث

#### خواص فیزیکی

جدول ۱ نتایج مقادیر متوسط ویژگی‌های ابعادی، وزن، حجم، قطر متوسط هندسی و کُرویت دانهٔ فندق و مغز آن را در چهار سطح رطوبتی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup>. Surface area

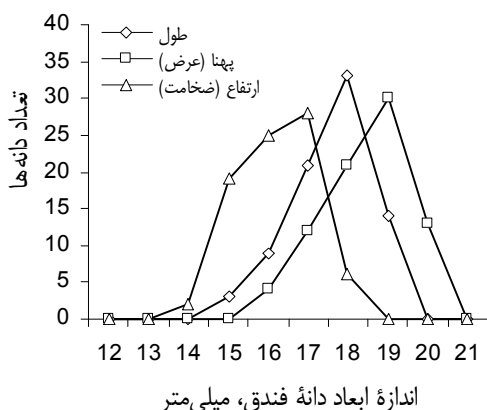
<sup>۲</sup>. Projected area

جدول ۱: مقادیر متوسط خواص ابعادی و هندسی دانه و مغز فندق در چهار سطح رطوبت (اعداد درون پرانتزها انحراف معیارند)

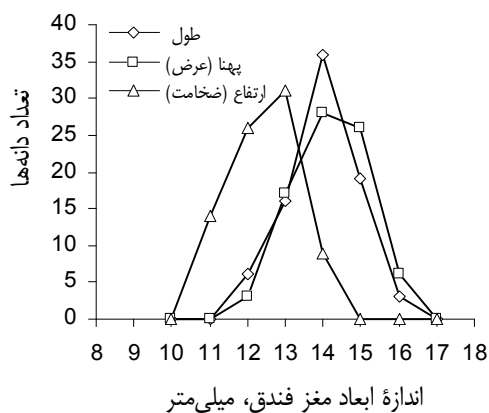
مشخصه فیزیکی							
رطوبت، درصد (بر پایه تر)	وزن (g)	طول (mm)	عرض (پهنا) (mm)	ضخامت (ارتفاع) (mm)	حجم (mm <sup>3</sup> )	قطر متوسط هندسی (mm)	گرویت %
۵	۱/۹۵	۱۶/۹۲	۱۷/۵۱	۱۵/۳۳	۲۳۹۵/۱۰	۱۶/۵۵	۹۳/۵۲
	(۰/۳۴)	(۱/۰۰)	(۱/۱۱)	(۱/۰۳)	(۳۷۳/۵۰)	(۰/۹۰)	(۱/۷۰)
	۲/۰۷	۱۷/۰۸	۱۸/۰۰	۱۵/۶۹	۲۵۴۰/۵۵	۱۶/۸۹	۹۳/۳۴
۱۰	(۰/۳۲)	(۱/۰۰)	(۱/۰۵)	(۰/۹۳)	(۳۶۸/۲۶)	(۰/۸۴)	(۲/۰۴)
	۲/۱۸	۱۷/۳۸	۱۸/۳۶	۱۶/۰۵	۲۷۰۰/۸۰	۱۷/۲۳	۹۳/۲۶
	(۰/۳۵)	(۱/۰۷)	(۱/۰۸)	(۰/۹۸)	(۴۰۲/۳۸)	(۰/۹۰)	(۲/۰۴)
۱۵	۲/۳۲	۱۷/۴۲	۱۸/۴۳	۱۶/۰۹	۲۷۰۵/۴۳	۱۷/۲۵	۹۳/۱۹
	(۰/۳۳)	(۰/۹۶)	(۱/۱۰)	(۰/۹۰)	(۳۶۳/۱۹)	(۰/۷۹)	(۲/۱۸)
	۰/۹۲	۱۳/۵۵	۱۳/۵۹	۱۱/۸۹	۱۱۶۲/۴۶	۱۳/۰۰	۹۲/۸۵
۵	(۰/۱۵)	(۰/۹۶)	(۱/۰۲)	(۰/۹۱)	(۱۸۷/۷۳)	(۰/۷۴)	(۳/۱۱)
	۰/۹۵	۱۳/۶۲	۱۳/۶۷	۱۱/۹۳	۱۱۷۴/۴۴	۱۳/۰۰	۹۱/۹۹
	(۰/۱۲)	(۰/۹۶)	(۰/۹۴)	(۰/۸۱)	(۱۶۰/۵۱)	(۰/۶۱)	(۳/۳۵)
۱۰	۰/۹۹	۱۳/۷۲	۱۳/۶۸	۱۲/۰۴	۱۱۸۴/۳۰	۱۳/۰۹	۹۱/۹۸
	(۰/۱۶)	(۰/۹۷)	(۱/۲۰)	(۰/۹۱)	(۱۹۵/۳۷)	(۰/۷۴)	(۳/۵۰)
	۱/۱۴	۱۳/۹۸	۱۴/۰۰	۱۱/۹۴	۱۲۳۱/۲۷	۱۳/۲۶	۹۱/۶۳
۱۵	(۰/۱۷)	(۰/۹۰)	(۱/۰۲)	(۰/۹۲)	(۱۹۷/۹۹)	(۰/۷۴)	(۳/۱۰)
	۱۳/۵۵	۱۳/۵۹	۱۳/۶۷	۱۱/۹۳	۱۱۷۴/۴۴	۱۳/۰۰	۹۱/۹۹
	(۰/۱۲)	(۰/۹۶)	(۰/۹۴)	(۰/۸۱)	(۱۶۰/۵۱)	(۰/۶۱)	(۳/۳۵)
۱۰	۰/۹۵	۱۳/۶۲	۱۳/۶۷	۱۱/۹۳	۱۱۷۴/۴۴	۱۳/۰۰	۹۱/۹۹
	(۰/۱۲)	(۰/۹۶)	(۰/۹۴)	(۰/۸۱)	(۱۶۰/۵۱)	(۰/۶۱)	(۳/۳۵)
	۰/۹۹	۱۳/۷۲	۱۳/۶۸	۱۲/۰۴	۱۱۸۴/۳۰	۱۳/۰۹	۹۱/۹۸
۱۵	(۰/۱۶)	(۰/۹۷)	(۱/۲۰)	(۰/۹۱)	(۱۹۵/۳۷)	(۰/۷۴)	(۳/۵۰)
	۱/۱۴	۱۳/۹۸	۱۴/۰۰	۱۱/۹۴	۱۲۳۱/۲۷	۱۳/۲۶	۹۱/۶۳
	(۰/۱۷)	(۰/۹۰)	(۱/۰۲)	(۰/۹۲)	(۱۹۷/۹۹)	(۰/۷۴)	(۳/۱۰)

بر اساس داده‌های جدول ۱ مقادیر کلیه ویژگی‌های ابعادی شامل طول، عرض (پهنا) و ضخامت (ارتفاع) و خواص هندسی شامل حجم و قطر متوسط هندسی دانه فندق و مغز با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابند. در محدوده رطوبت ۵٪ تا ۲۰٪ (بر پایه تر) مقادیر متوسط طول، عرض و ضخامت دانه فندق به ترتیب از ۱۶/۹۲ تا ۱۷/۵۱، ۱۷/۴۲ تا ۱۸/۴۳ و ۱۵/۳۳ تا ۱۶/۰۹ میلی‌متر و برای مغز فندق به ترتیب از ۱۳/۵۵ تا ۱۳/۹۸، ۱۳/۵۹ تا ۱۳/۰۰ و ۱۱/۸۹ تا ۱۲/۰۹ میلی‌متر افزایش می‌یابند. با افزایش رطوبت با توجه به افزایش ابعاد دانه، حجم آن (محاسبه شده از رابطه ۱) نیز افزایش می‌یابد. با افزایش رطوبت، گرویت دانه و مغز فندق به ترتیب از ۹۳/۵۲ به ۹۳/۱۹ درصد و ۹۲/۸۵ به ۹۱/۶۳ درصد کاهش می‌یابد. مقایسه خواص فیزیکی فندق محلی قزوینی با ارقام کشورهای ترکیه [۹] و کروسی [۱۷] نشان می‌دهد که از نظر وزن، یک واحد فندق قزوینی (در رطوبت ۵٪) با متوسط وزن ۱/۹۵ گرم از متوسط چهار رقم تجاری ترکیه (۱/۹۱ گرم در رطوبت ۶٪) سنگین‌تر است، در حالی که نصف یک واحد فندق کرواسی (۳/۸۸ گرم در رطوبت ۶٪) است. از نظر حجمی رقم کشور کرواسی حدوداً دو برابر (۴/۸۸ cm<sup>3</sup>) فندق قزوینی (۲/۴۰ cm<sup>3</sup>) است. گرویت فندق‌های قزوینی (۹۳/۵۲٪) خیلی بیشتر از ارقام ترکیه‌ای (۸۹/۳۵٪) و کرواسی (۸۲/۸۶٪) است. ارقام کشور کرواسی کشیده و دارای قطر اصلی خیلی بزرگ‌تری (۲۵/۳۲ mm) در رطوبت ۶٪ نسبت به ارقام ترکیه‌ای (۱۹/۳۱ mm) در رطوبت ۶٪ و رقم قزوینی (۱۶/۹۲ mm) در رطوبت ۵٪ هستند.

نمودارهای شکل ۳ منحنی‌های توزیع فراوانی اندازه اقطار اصلی دانه و مغز فندق را در رطوبت ۱۰٪ نشان می‌دهد. از منحنی‌ها پیدا است که توزیع فراوانی ابعاد دانه و مغز فندق روندی متمایل به توزیع نرمال نشان می‌دهد. در نمونه اندازه‌گیری شده حدود ۶۸٪ دانه‌های فندق دارای طولی در محدوده ۱۸-۱۶، حدود ۶۴٪ دارای پهنایی در محدوده ۱۹-۱۷ mm و حدود ۶۶٪ دارای ضخامتی در محدوده ۱۷-۱۵ mm بودند. برای مغز فندق حدود ۶۹٪ و ۶۸٪ به ترتیب دارای اندازه طول و پهنای در محدوده ۱۵-۱۳ mm و حدود ۷۱٪ آن‌ها از نظر اندازه ضخامت مغز در محدوده ۱۳-۱۱ mm قرار داشتند.



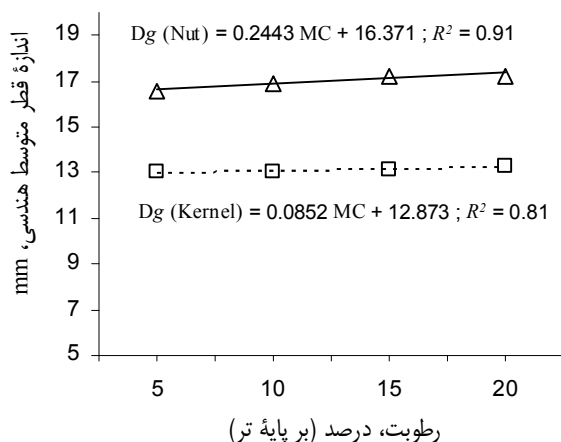
(ب)



(الف)

شکل ۳: منحنی‌های توزیع فراوانی اندازه ابعاد دانه و مغز فندق (سه قطر اصلی) در رطوبت ۱۰٪ بر پایه تر.

در شکل ۴ تغییرات قطر متوسط هندسی دانه و مغز فندق (محاسبه شده از رابطه ۲) با رطوبت نشان می‌دهد که افزایش رطوبت موجب افزایش قطر متوسط هندسی فندق می‌گردد. افزایش رطوبت فندق موجب متورم شدن سلول‌های آن می‌گردد و از این رو اندازه قطر آن‌ها و در نتیجه قطر دانه افزایش می‌یابد. معادلات رگرسیون بر روی شکل ۷ نشان می‌دهد که شیب افزایش قطر متوسط هندسی پوست فندق بیشتر از مقدار آن برای مغز فندق بوده است. همچنین داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد، مساحت سطح (S) و سطح مقطع ( $S_p$ ) دانه و مغز فندق که به ترتیب از روابط ۵ و ۶ محاسبه شدند، با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش تقریباً خطی قطر متوسط هندسی چنین نتیجه‌ای قابل توصیف است.



شکل ۴: اثر رطوبت بر اندازه قطر متوسط هندسی دانه (—△—) و مغز فندق (—□—).

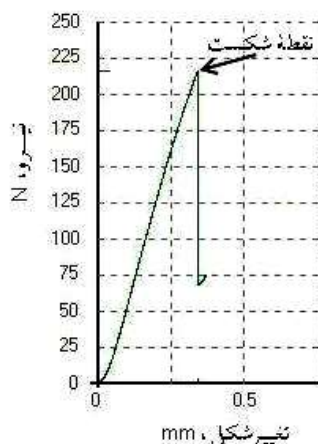
با استفاده از رابطه ۴ متوسط نسبت پوست فندق رقم محلی مورد مطالعه ۵۲/۸۱٪ با انحراف معیار ۴/۱۸ تعیین شد. روابط رگرسیونی برای خواص فیزیکی مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده است.

جدول ۲: معادلات رگرسیون برای وزن، طول، پهنا، ضخامت، حجم، کروییت، مساحت های سطح روبه و مقطع دانه و مغز فندق در محدوده رطوبت ۵٪ تا ۲۰٪

معادله فندق	$R^2$	معادله مغز فندق	$R^2$
$M = 0.12 MC + 1.82$	۰/۹۹	$m = 0.07 MC + 0.83$	۰/۸۳
$L = 0.18 MC + 16.75$	۰/۹۳	$l = 0.14 MC + 13.67$	۰/۹۱
$W = 0.31 MC + 17.30$	۰/۹۱	$w = 0.12 MC + 13.43$	۰/۷۹
$T = 0.27 MC + 15.13$	۰/۹۲	$t = 0.07 MC + 11.81$	۰/۹۷
$V = 109.12 MC + 2312.7$	۰/۹۰	$v = 21.63 MC + 1134$	۰/۸۶
$S = 25.85 MC + 843.88$	۰/۹۱	$s = 7.07 MC + 521.89$	۰/۸۰
$S_p = 6.46 MC + 210.97$	۰/۹۱	$s_p = 1.77 MC + 130.47$	۰/۸۰
$\phi = -0.11 MC + 93.60$	۰/۹۴	$\phi = -0.39 MC + 93.15$	۰/۹۶

#### خواص مکانیکی دانه فندق

شکل ۵ نمونه ای از نمودارهای نیرو - تغییر شکل فندق در بارگذاری فشاری نشان می دهد. همان طوری که مشاهده می گردد، پس از بروز شکستگی، منحنی نیرو - تغییر شکل بطور ناگهانی افت می کند. این حالت در اکثر آمایش ها ملاحظه گردید. در تعداد محدودی پس از بروز شکست اولیه نمودار حالت صعودی را مجدداً ادامه می داد. بهر حال، نخستین نقطه شکست بعنوان نیروی شکست دانه ثبت گردید و مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۵: نمودار نیرو - تغییر شکل فندق در بارگذاری فشاری.

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس خواص مکانیکی فندق در بارگذاری فشاری را نشان می دهد. به منظور برآورده نمودن دو شرط نرمال بودن توزیع پارامتر و یکسان بودن واریانس خطای تیمارها تبدیل مطلوب (Ln) بر روی داده های هر پارامتر انجام گرفته شد [۴]. جدول ۳ نشان می دهد که رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال ۱٪ نیروی شکست پوست فندق را تحت تأثیر قرار می دهد. اثر جهت بارگذاری و رطوبت دانه بر تغییر شکل ویژه تا نقطه شکست پوست فندق نیز معنی دار است.



جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی پوست فندق در بارگذاری فشاری

مجموع مربعات (MS)		درجه آزادی	منع تغییرات
تغییر شکل نسبی تا نقطه شکست	نیروی شکست		
۰/۱۲۰*	۰/۳۱۵**	۱	رطوبت
۰/۲۴۳**	۰/۳۹۹**	۲	جهت بارگذاری
۰/۰۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۲ <sup>ns</sup>	۲	رطوبت × جهت بارگذاری
۰/۰۵۶	۰/۰۱۹	۴۲	خطا
۹/۱۶%	۲/۴۰%	—	ضریب تغییرات (C. V.)

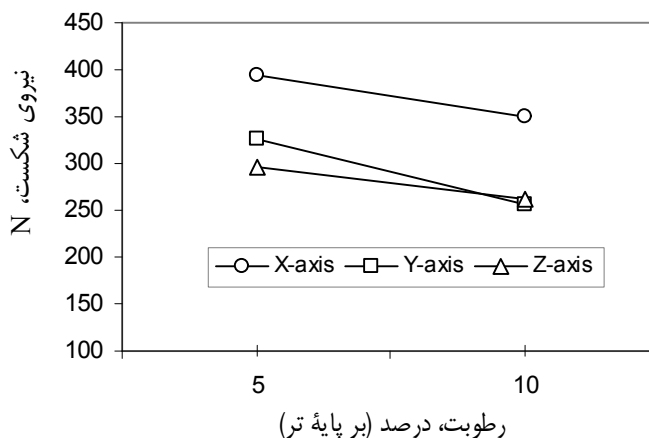
\* معنی دار در سطح احتمال ۵٪، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪،  
ns در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین داده های نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا نقطه شکست پوست فندق را در جهت های بارگذاری مختلف را نشان می دهد. نمودار شکل ۶ نشان می دهد که با افزایش رطوبت، نیروی شکست پوست فندق در هر سه جهت بارگذاری بطوری معنی داری (جدول ۴) کاهش می یابد. نیروی شکست پوست فندق در جهت محور xها خیلی بیشتر از سایر جهات بارگذاری است و در جهت محور zها کمترین مقدار (جدول ۴) را دارد. نمودار شکل ۷ نشان می دهد که تغییر شکل ویژه (نسبی) تا نقطه شکست پوست فندق با افزایش رطوبت، افزایش می یابد. با افزایش رطوبت بلت نرم شدن پوست مقدار تغییر شکل بیشتری می یابست اعمال گردد. جهت بارگذاری اثر معنی داری (در سطح احتمال ۵٪) بر میزان تغییر شکل تا نقطه شکست دانه دارد. تحقیقات محققان دیگر نشان داده است که با افزایش رطوبت مقدار نیروی شکست دانه کاهش می یابد [۱۰، ۱۷ و ۱۸]. همچنین جهت بارگذاری بر نیروی شکست پوست تأثیر دارد و در جهت بارگذاری محور xها بزرگترین مقدار را دارد [۱۸].

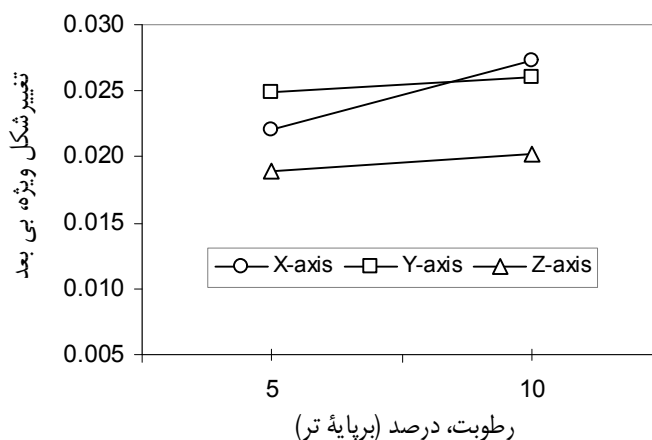
جدول ۴: مقایسه میانگین های نیروی شکست و تغییر شکل ویژه (نسبی) فندق در سه جهت بارگذاری

جهت بارگذاری	نیروی شکست، (N)	تغییر شکل نسبی تا نقطه شکست، (-)
محور xها	۳۷۲/۷۷ A <sup>x</sup>	۲/۴۶ A
محور yها	۲۹۱/۲۲ B	۲/۵۵ A
محور zها	۲۷۹/۰۴ B	۱/۹۶ B

<sup>x</sup> میانگین های دارای حروف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت آماری معنی دار ندارند.



شکل ۶: اثر رطوبت و جهت بارگذاری بر نیروی شکست پوسته فندق.



شکل ۷: اثر رطوبت و جهت بارگذاری بر تغییر شکل ویژه تا نقطه شکست پوسته فندق.

جدول ۵ نشان می‌دهد که متوسط نیروی شکست در کلیه جهت‌های با افزایش رطوبت از ۵٪ به ۱۰٪ بر پایه تر بیش از ۱۴٪ کاهش یافته است. با توجه نتایج بخش بررسی خواص فیزیکی و نمودار شکل ۴، تفاضل قطر متوسط هندسی دانه و مغز فندق با افزایش رطوبت از ۵٪ به ۱۰٪ بر پایه تر حدود ۹٪ بود. از آنجایی که با افزایش رطوبت، تغییر شکل ویژه نیز افزایش می‌یابد دلیل اینکه عملیات فندق شکنی در رطوبت بالا (حدود ۱۰٪) انجام می‌گیرد تنها بخاطر کاهش نیروی شکست دانه با افزایش رطوبت است. این موضوع در کاهش نیروی اعمال شده بر دانه و در نتیجه کاهش صدمات بر مغز و نیز انرژی مصرفی مؤثر است.

جدول ۵: مقادیر متوسط نیروی شکست پوسته فندق در سه جهت بارگذاری فشاری

خواص مکانیکی	رطوبت ۵٪ (بر پایه تر)		رطوبت ۱۰٪ (بر پایه تر)	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
نیروی شکست، (N)	۳۲۸/۴۲	۵۱/۰۱	۲۹۰/۲۶	۵۲/۶۰
تغییر شکل نسبی تا نقطه شکست، (-)	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴

خواص مکانیکی مغز فندق

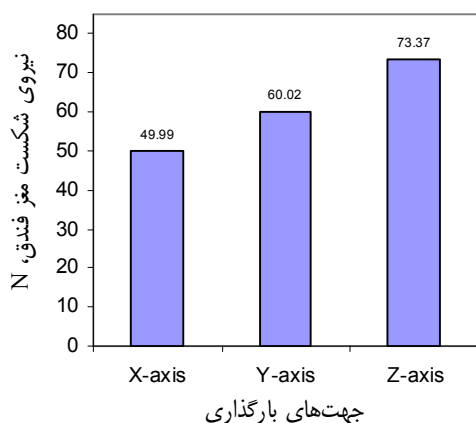
جدول ۶ تجزیه واریانس خواص مکانیکی مغز فندق با رطوبت ۵ درصد بر پایه تر را در سه جهت بارگذاری نشان می دهد. همان طوری که مشاهده می گردد، جهت بارگذاری اثر معنی داری (در سطح ۱٪) بر نیروی شکست دانه و تغییر شکل تا نقطه شکست مغز فندق دارد.

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس مقادیر خواص مکانیکی مغز فندق در بارگذاری فشاری

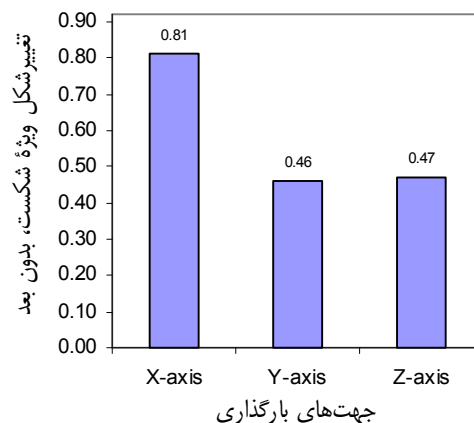
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (MS)	
		نیروی شکست	تغییر شکل نسبی تا نقطه شکست
جهت بارگذاری	۲	۰/۲۹۵**	۰/۵۹۴**
خطا	۲۱	۰/۰۴۴	۰/۰۴۸
ضریب تغییرات (C. V.)	—	۵/۱۲٪	۱۴/۵۹٪

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

نمودارهای شکل ۸ تغییرات مقادیر نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا نقطه شکست مغز فندق را در سه جهت بارگذاری انجام شده نشان می دهد. بزرگ ترین و کم ترین مقدار نیروی شکست مغز به ترتیب در جهت بارگذاری محورهای Z و X ها بود. تغییر شکل تا نقطه شکست در امتداد محور X ها بیشترین مقدار را داشت. تفاوت متوسط نیروی شکست مغز در هر سه جهت بارگذاری (N ۶۱/۱۳) نسبت به نیروی شکست دانه فندق (N ۳۱۴/۳۴) خیلی کم تر است. فندق شکنی در این حالت با افزایش ضایعات مواجه خواهد شد.



(ب)



(الف)

شکل ۸: الف - تغییرات نیروی شکست مغز فندق، ب - تغییرات تغییر شکل ویژه شکست دانه فندق برای جهت های بارگذاری مختلف در امتداد محورهای اصلی دانه در رطوبت ۵٪ بر پایه تر.

## نتیجه گیری

- 1- خواص فیزیکی دانه و مغز فندق شامل ویژگی های ابعادی (طول، عرض و ضخامت)، وزن و خواص هندسی (قطر متوسط هندسی، حجم، مساحت سطح رویه و سطح مقطع) با افزایش رطوبت، افزایش می یابد.
- 2- گرویت دانه و مغز فندق با افزایش رطوبت کاهش می یابد.
- 3- مقادیر متوسط طول، عرض (پهنا) و ضخامت (ارتفاع)، قطر متوسط هندسی، وزن، حجم، مساحت سطح رویه، سطح مقطع و گرویت دانه فندق در رطوبت ۵٪ بر پایه تر به ترتیب عبارت بودند از:  $۱۶/۹۲$ ،  $۱۷/۵۱$ ،  $۱۵/۳۳$ ،  $۱۶/۵۵$  لی متر،  $۱/۹۵$  گرم،  $۲/۴۰$   $cm^3$ ،  $۸/۶۳$   $cm^2$  و  $۲/۱۶$   $cm^2$ ، همچنین مقادیر متناظر برای مغز فندق عبارت بودند از:  $۱۳/۵۵$ ،  $۱۳/۵۹$ ،  $۱۱/۸۹$ ،  $۱۳/۰۰$  میلی متر،  $۰/۹۲$  گرم،  $۱/۱۶$   $cm^3$ ،  $۵/۰۲$   $cm^2$  و  $۱/۲۶$   $cm^2$  و  $۹۲/۸۵$ ٪.
- 4- نسبت پوست دانه فندق رقم محلی قزوینی  $۵۲/۸۱$ ٪ بود.
- 5- رطوبت و جهت بارگذاری نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا گسیختگی دانه فندق را بطور معنی داری تحت تأثیر قرار می دهد. با افزایش رطوبت نیروی شکست دانه کاهش می یابد، در حالی که تغییر شکل ویژه شکست افزایش می یابد.
- 6- بیشترین نیروی شکست دانه فندق در جهت بارگذاری در امتداد محور Xها بود. بیشترین نیروی شکست مغز فندق در امتداد محور Zها بود.
- 7- متوسط نیروی شکست دانه فندق در سه جهت بارگذاری بطور قابل ملاحظه ای بیشتر از مقدار آن رای مغز فندق بود. از این رو، حساسیت آن نسبت به شکستگی زیاد است.
- 8- با در نظر گرفتن خنثی شدن تفاضل قطر متوسط هندسی دانه و مغز فندق با افزایش تغییر شکل نسبی با افزایش رطوبت، کاهش نیروی شکست پوست فندق عامل مؤثر در کاهش نیروهای اعمال شده و ضایعات مغز در فرآیند فندشکنی است.

## سپاسگزاری

از زحمات سرکار خانم مهندس هما بهمدی، عضو هیأت علمی محترم مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی جهت آماده سازی دستگاه آزمون مواد برای انجام آزمایش های مکانیکی تشکر می گردد.

## منابع

1. ایمان مهر، ع، قبادیان، ب، مینایی، س. و فردمال، ج. ۱۳۸۵. تعیین برخی خواص فیزیکی دانه کلزا (واریته لیکورد). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲۹، ۱۱۹-۱۲۸.
2. برگونیو، اف، ای، ژرمن و ژ. پ. سارا کوپین. ۱۳۷۷. فندق، کشت و تولید. مترجم محمود درویشیان. انتشارات فنی ایران. تهران. ۱۷۶ ص.
3. مدیریت ترویج و مشارکت مردمی و مدیریت رزاعت و باغبانی استان قزوین. ۱۳۸۰. فندق. تهران: نشر و تصویر.
4. یزدی صمدی، ب، عبدالمجیدی، ر، و ولی زاده، م. ۱۳۷۶. طرح های آماری در پژوهش های کشاورزی. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
5. ASAE. 1998. ASAE Standard: ASAE S401.1. Compression tests of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan 49085.
6. Amin, M. N., Hossain, M. A., & Roy, K. C. (2004). Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. Journal of Food Engineering, 65, 83-87.
7. Aydin, C. (2002). Physical properties of hazelnuts. Biosystems Engineering, 82(3), 297-303.
8. Aydin, C. (2003). Physical properties of almond nut and kernel. Journal of Food Engineering, 60, 315-320.
9. Balasubramanian, D. (2001). Physical properties of raw cashew nut. J. Agric. Engng Res., 78 (3), 291-297.
10. Guner, M.; Dursun, E. & Il.G. Dursun. (2003). Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading. Biosystems Engineering, 85(4), 485-491.



11. Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L. G. (2006). Some physical properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30–38.
12. Kingsly, A. R. P., Singh, D. B., Manikantan, M. R., & Jain, R. K. (2006). Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (*Anardana*). *Journal of Food Engineering*, 75, 492–496.
13. Konak, M., Carman, K., & Aydin, C. (2002). Physical properties of chick pea seeds. *Biosystems Engineering*, 82(1), 73–78.
14. Mohsenin N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. (2nd Ed.), New York: Gordon & Breach Science Publishers.
15. Mwithiga, G. & Sifuna, M. M. (2006). Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. *Journal of Food Engineering*, 75, 480–486.
16. Nimkar, P. M. & Chattopadhyay, P. K. (2001). Some physical properties of green gram. *J. Agric. Engng. Res.*, 80 (2), 183-189.
17. Ozdemir, F. & Akinci, I. (2004). Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63 (3), 341–347.
18. Pliestic, S., Dobricevic, N., Filipovic, D., & Gospodaric, Z. (2006). Physical properties of filbert nut and kernel. *Biosystems Engineering*, 93(2), 173–178.
19. Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., & Mohammad Amini, A. (2007a). The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: Part I. Geometrical properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 209–217.
20. Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., & Mohammad Amini, A. (2007b). The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: Part II. Gravimetric properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 218–225.
21. Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., & Mohammad Amini, A. (2007c). The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety: Part III. Frictional properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 226–235.
22. Sahoo, P. K. & Srivastava, A. P. (2002). Physical properties of okra seed. *Biosystems Engineering*, 83 (4), 441–448.

## Some Physical and Mechanical Properties of Hazelnut

A. M. Kermani

### Abstract

In this study, several physical and mechanical properties of hazelnut and its kernels were evaluated as a function of moisture content in range of moisture content of 5-20% (w.b.). The physical properties of nuts and kernel such as dimensional characteristics (length, width and thickness), unit mass and geometrical properties (the geometric mean diameter, volume, surface area and projected area) increased with increasing moisture content. The sphericity of nuts and kernels decreased with increasing moisture content. The average of length, width, thickness, unit mass, the geometric mean diameter, volume, surface area and projected area and sphericity of nuts were 16.92, 17.51, 15.33, 16.55 mm, 1.95 g, 2.40 cm<sup>3</sup>, 8.63 cm<sup>2</sup>, 2.16 cm<sup>2</sup>, 93.52%, the respected value for kernels were 13.55, 13.59, 11.89, 13.00 mm, 0.92 g, 1.16 cm<sup>3</sup>, 5.02 cm<sup>2</sup>, 1.26 cm<sup>2</sup>, 92.85%. The shell ratio percent obtained 52.81%. In the mechanical test, hazelnut and its kernel were loaded between two parallel plates to determine the rupture force and specific deformation required to initiate shell and kernel rupture. These tests were carried out at two moisture contents of 5% and 10 % (w.b.) for nuts and 5% (w.b.) for kernel, and three axes (X, Y, Z) directions. The results show that moisture content and loading direction have significant effects ( $P < 0.01$ ) on the rupture force and specific deformation. By increasing of the moisture content, rupture force decreased, while the specific deformation increased in magnitude. The maximum force for nut cracking occurred in the x-axis, while rupture force for kernel were in the z-axis loading directions. The average of rupture force at all loading directions for nuts was very higher than for kernels.

**Key words:** Physical properties, mechanical properties, rupture force, hazelnut, kernel.