

# ارزیابی برخی خواص فیزیکی و مکانیکی فندق و مغز آن

علی ماشاءاله کرمانی

استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: 90/9/5 تاریخ پذیرش: 90/12/15

## چکیده

در این تحقیق، برخی از خواص فیزیکی میوه و مغز فندق رقم گرد محلی استان قزوین به صورت تابعی از رطوبت در محدوده‌ی 5٪ تا 20٪ بر پایه‌ی تر اندازگی و ارزیابی گردید. خواص فیزیکی میوه و مغز فندق شامل ویژگی‌های ابعادی (طول، عرض و ضخامت)، وزن و خواص هندسی (قطر متوسط هندسی، حجم، مساحت سطح رویه و سطح مقطع) با افزایش رطوبت، افزایش یافت. افزایش رطوبت، موجب کاهش گرویت میوه و مغز فندق گردید. مقادیر متوسط طول، عرض (پهنا) و ضخامت (ارتفاع)، قطر متوسط هندسی، وزن، حجم، مساحت سطح رویه، مساحت سطح مقطع و گرویت میوه‌ی فندق در رطوبت 5٪ بر پایه‌ی تر به ترتیب عبارت بودند از، 16/92، 17/51، 15/33، 16/55 میلی‌متر، 1/95 گرم،  $2/40 \text{ cm}^3$ ،  $8/63 \text{ cm}^2$ ، 13/00 و 2/16، همچنین مقادیر متناظر برای مغز فندق به صورت 13/55، 13/59، 11/89، 13/00 میلی‌متر، 0/92 گرم،  $1/16 \text{ cm}^3$ ،  $5/02 \text{ cm}^2$  و  $1/26 \text{ cm}^2$  و 92/85٪ بود. درصد نسبت پوست میوه‌ی فندق به وزن کل 52/81٪ ارزیابی گردید. آزمایش‌ها برای پوست فندق در دو سطح رطوبت 5٪ و 10٪ بر پایه‌ی تر، و برای مغز در سطح رطوبت 5٪ بر پایه‌ی تر و در سه جهت بارگذاری شامل امتداد محور X (امتداد محوری میوه)، محورهای عمود بر آن Y (در امتداد کوچک‌ترین بُعد میوه) و Z (امتداد محل اتصال پوست) انجام گرفت. نتایج، نشان داد که رطوبت و جهت بارگذاری، نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا گسیختگی میوه‌ی فندق را به طور معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش رطوبت، نیروی شکست میوه، کاهش یافت در حالی که تغییر شکل ویژه شکست افزایش پیدا کرد. بیش‌ترین نیروی شکست میوه و مغز فندق به ترتیب در جهت بارگذاری در امتداد محور Xها و Zها بود. متوسط نیروی شکست میوه‌ی فندق در سه جهت بارگذاری به طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از مقدار آن برای مغز فندق بود.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، نیروی شکست، فندق، مغز فندق.

\*نویسنده مسوول: a\_m\_kermani@yahoo.com

## 1- مقدمه

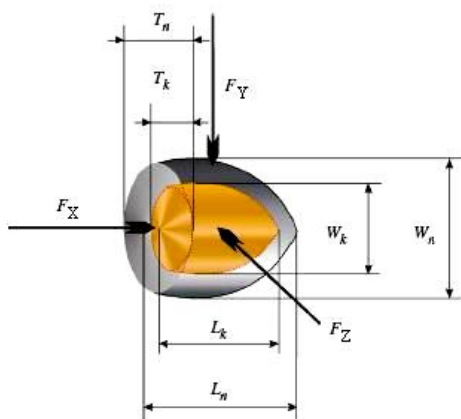
فندق یکی از محصولات خشکباری - باغبانی است که دارای ارزش غذایی بالایی بوده و از ارزش صادراتی بالایی نیز برخوردار است. کشور ایران پس از کشورهای ترکیه، ایتالیا، اسپانیا و آمریکا رتبه‌ی پنجم جهانی تولید فندق در دنیا را دارا است. از محل‌های عمده‌ی تولید فندق در ایران، منطقه‌ی الموت واقع در شمال استان قزوین و رشته کوه‌های البرز (منطقه‌ی اشکورات) استان گیلان است. با توجه به استعداد مناطق نامبرده، امکان توسعه‌ی سطح زیر کشت این محصول و نیز ایجاد صنایع غذایی وابسته، سیستم‌های فرآوری و بسته‌بندی به منظور ورود به بازارهای جهانی وجود دارد. برای توفیق در تولید و توسعه‌ی سطح زیر کشت این محصول، توجه به ایجاد دستگاه‌های فرآوری مناسب جهت عرضه‌ی محصول مرغوب و با کیفیت بالا اجتناب‌ناپذیر است (2). تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه‌بندی و فرآوری محصولات کشاورزی همیشه مورد توجه بوده است. اصولاً طراحی ماشین‌های کشاورزی بدون توجه به این پارامترها ناقص و منجر به نتایج ضعیف خواهد گردید (9 و 15). تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه‌ی تعیین خواص بیومکانیک محصولات مختلف کشاورزی از جمله این محصولات خشکباری انجام شده است. از آن جمله می‌توان به بادام و مغز آن (5)، پسته و مغز (8، 12، 13 و 14) اشاره نمود. کلیه‌ی مطالعات فوق، نشان داده‌اند که خواص فیزیکی به شدت تحت تأثیر رطوبت محصول بوده‌اند.

در رابطه با فندق، چندین تحقیق برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی آن در سطح جهان انجام شده است. در تحقیقی مقادیر خواص فیزیکی (خصوصیات ابعادی و شکلی، چگالی‌ها و تخلخل)، ضریب اصطکاک، سرعت حد و نیروی شکستن فندق و مغز فندق رقم Tombul ترکیه که از تولیدکنندگان عمده‌ی تولید فندق است در سه سطح رطوبت 3، 9 و 20٪ بر پایه‌ی تر تعیین گردید (5). رفتار مکانیکی فندق و مغز آن تحت بارگذاری فشاری بین دو صفحه‌ی تخت بررسی شد (7). آنان در این تحقیق پارامترهای نیروی شکست، تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست و انرژی شکست فندق و مغز آن را در سه جهت بارگذاری X، Y و Z مطابق شکل 1 مطالعه کردند. محور X در راستای محور میوه، محورهای Y و Z (در راستای کوچک‌ترین بُعد) عمود بر محور

میوه بودند. 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 معنی‌داری با رطوبت نشان نداد. آنان همچنین گزارش کردند که تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست و انرژی شکست پسته عموماً با افزایش رطوبت افزایش می‌یافت در حالی که نیروی شکست با افزایش رطوبت کاهش معنی‌داری نشان داد. بررسی نتایج خواص فیزیکی، نشان داد که ارقام مختلف با هم اختلاف معنی‌داری دارند و مقادیر تعیین شده با نتایج تحقیقات دیگر، مطابقت داشته است (5).

در تحقیق دیگری خواص فیزیکی و تغذیه‌ای چهار رقم فندق تجاری کشور ترکیه، تعیین و مقایسه قرار گرفت (10). نتایج این تحقیق، نشان داد که به طور کلی تمام خواص فیزیکی ارقام مورد مطالعه از نظر آماری با هم متفاوت است.

خواص فیزیکی و نیروی شکستن فندق و مغز فندق رقم محلی کشور کرواسی به صورت تابعی از رطوبت در چهار سطح رطوبت در محدوده‌ی رطوبت 6/2٪ تا 28/7٪ بر پایه‌ی تر تعیین شده و برای آن‌ها روابط رگرسیونی ارائه گردید (11). نتایج خواص ابعادی فندق رقم مورد مطالعه‌ی آنان نشان داد که این رقم بزرگ‌تر از ارقام ترکیه‌ای (5) بود. همچنین، نتایج خواص ابعادی مغز فندق نشان داد که رقم کشور کرواسی کشیده‌تر و پهن‌تر از ارقام ترکیه‌ای و البته دارای گرویت کم‌تری است.



شکل 1- ابعاد فندق، مغز فندق و جهت‌های بارگذاری.  $T_n$ ;  $W_n$   $L_n$ ; به ترتیب طول، پهنای 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 بررسی‌های انجام شده، تحقیقی پیرامون خواص فیزیکی و مکانیکی فندق ارقام داخلی انجام نشده است. از این رو، در راستای

2-1- خواص فیزیکی

برای تعیین خواص فیزیکی فندق و مغز آن بر حسب رطوبت چهار سطح 5، 10، 15 و 20 درصد بر پایه‌ی تر در نظر گرفته شد. سطوح مختلف رطوبت مورد نظر میوه از طریق خشک کردن نمونه‌های فندق تر اولیه در هوای آزاد و توزین‌های پی در پی و محاسبه‌ی کاهش وزن تا رسیدن به سطح مطلوب از رابطه‌ی 1 ایجاد شد.

$$w_2 = \frac{100 - MC_1}{100 - MC_2} \times w_1 \quad (1)$$

که در آن،  $w_2$  وزن نمونه با رطوبت مورد نظر،  $w_1$  وزن نمونه با رطوبت اولیه‌ی تر،  $MC_1$  رطوبت اولیه‌ی نمونه (23٪)،  $MC_2$  رطوبت مورد نظر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری‌های ابعادی میوه و مغز فندق (مطابق شکل 1) و جرم واحد میوه، هشتاد میوه از رقم مورد نظر در هریک از چهار سطح رطوبتی به طور تصادفی انتخاب شده به کمک کولیس دیجیتالی (با دقت 0/01 میلی‌متر) و ترازوی الکترونیکی (با دقت یا 0/01 گرم) انجام شد. حجم ( $V$ )، قطر متوسط هندسی ( $D_g$ ) و کروییت ( $\phi$ ) فندق و مغز آن در هر سطح رطوبتی به ترتیب از روابط 1 تا 3 محاسبه می‌گردد (9).

$$V = \pi LWT / 6 \quad (1)$$

$$(2)$$

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

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

که در آن‌ها،  $V =$  حجم ( $\text{mm}^3$ )؛  $D_g =$  قطر متوسط هندسی ( $\text{mm}$ )؛  $\phi =$  کروییت (درصد)؛  $L =$  طول ( $\text{mm}$ )؛  $W =$  پهنا ( $\text{mm}$ )؛  $T =$  ضخامت ( $\text{mm}$ ).

نسبت پوست ( $R_s$ ) یا درصد جرمی پوست<sup>۱</sup> از توزین وزن پوست هر میوه‌ی فندق و محاسبه‌ی نسبت وزن پوست ( $M_s$ ) به وزن میوه‌ی فندق کامل ( $M$ ) مطابق رابطه‌ی 4 تعیین گردید (13).

$$R_s = \frac{M_s}{M} \quad (4)$$

مساحت سطح رویه<sup>۱</sup> ( $S$ )، و سطح مقطع<sup>۲</sup> ( $S_p$ )، میوه و مغز فندق به ترتیب برابر مساحت سطح کُرّه و دایره‌ای با قطری معادل

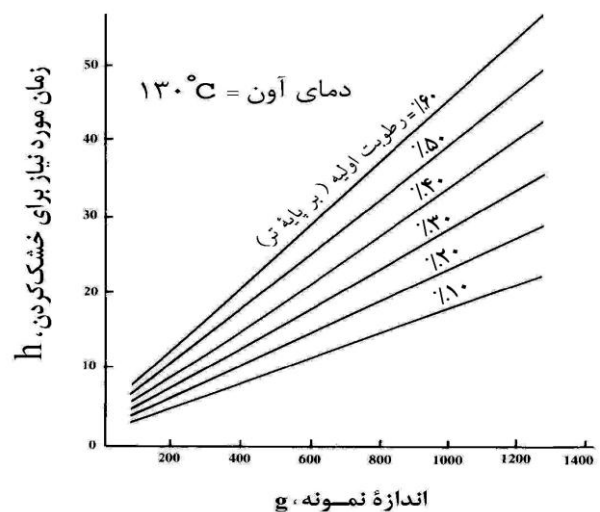
مکانیزاسیون عملیات فرآوری فندق در تحقیق حاضر، برخی پارامترهای بیوفیزیکی- مکانیکی آن تعیین می‌گردد. بر این اساس، اهداف این تحقیق به صورت زیر می‌باشد:

1- تعیین خواص فیزیکی فندق و مغز فندق رقم محلی قزوینی شامل ابعاد (طول، پهنا و ضخامت)، قطر متوسط هندسی، کروییت، جرم واحد میوه و نسبت پوست فندق در محدوده‌ی رطوبتی 5٪ تا 20٪ بر پایه‌ی تر.

2- تعیین خواص مکانیکی فندق و مغز آن شامل: نیروی شکست فندق و مغز آن و نیز تغییر شکل‌پذیری فندق در دو سطح رطوبتی 5٪ و 10٪ (بر پایه‌ی تر) و مغز آن در رطوبت 5٪ (بر پایه‌ی تر) تا نقطه‌ی شکست در بارگذاری در امتداد سه محور اصلی فندق.

2- مواد و روش‌ها

اواخر شهریور 1388 حدود 15 کیلوگرم فندق تر رقم گرد محلی (رقم غالب منطقه) از روستای زردچال منطقه‌ی الموت قزوین، تهیه شد. فندق‌های مورد نظر به صورت دستی پوست‌گیری شده، میوه‌های نارس، شکسته و مواد زائد از آن خارج گردید. برای تعیین رطوبت اولیه‌ی فندق از دستورالعمل موجود برای محصول مشابه (بادام زمینی) استفاده شد. مطابق دستورالعمل ASAE S410.1 و نمودار شکل 2، رطوبت اولیه‌ی فندق از طریق قراردادن سه نمونه‌ی 70 گرمی در دمای 130 درجه‌ی سلسیوس به مدت 6 ساعت حدود 23٪ بر پایه‌ی تر تعیین گردید (4).



شکل 2- نمودار زمان لازم برای خشک کردن نمونه در آن برای تعیین رطوبت اولیه‌ی نمونه‌های با اندازه‌های مختلف.

1. Geometric mean diameter
2. Shell mass percentage or shell ratio

فیزیکی شامل خواص ابعادی میوه و مغز فندق در پنج سطح رطوبتی فوق‌الذکر و نیز پارامترهای آزمون مکانیکی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه‌ی واریانس شدند. مقایسه‌ی میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال 5٪) انجام شد. داده‌های حاصل از تحقیق به کمک نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تحلیل قرار گرفتند. معادلات رگرسیونی برای خواص مختلف فیزیکی به کمک برنامه‌ی MS Excel 2003 به دست آمد.

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- خواص فیزیکی

در جدول 1، نتایج تجزیه‌ی واریانس خواص فیزیکی (ابعادی) میوه و مغز فندق، نشان داده شده است. داده‌های جدول نشان می‌دهد که رطوبت بر کلیه‌ی خواص ابعادی میوه و مغز فندق رقم قزوینی غیر از ضخامت (ارتفاع) مغز اثر معنی‌داری داشت.

جدول 2، نتایج مقایسه‌ی میانگین مقادیر متوسط ویژگی‌های ابعادی میوه و مغز فندق به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5٪، نشان داده شده است. در این جدول، همچنین مقادیر متوسط مقادیر جرم یک واحد، قطر متوسط هندسی، حجم و کرویته میوه‌ی فندق و مغز آن در چهار سطح رطوبتی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقایسه‌ی میانگین داده‌های خواص ابعادی نشان می‌دهد که مقادیر ابعادی میوه‌ی فندق با افزایش رطوبت فندق از 5٪ تا 20٪ به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. مقادیر مورد نظر برای سطوح 15٪ و 20٪ برای معمولاً در یک سطح قرار گرفت. همچنین، برای مغز نیز با افزایش رطوبت مقادیر متوسط ویژگی‌های ابعادی با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد.

مقادیر میانگین‌های خواص ابعادی (طول، پهنا و ارتفاع) دارای حروف مشترک بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5٪ تفاوت آماری معنی‌دار ندارند. \* اثر رطوبت بر ضخامت مغز فندق، معنی‌دار نبود.

بر اساس داده‌های جدول 2، مقادیر کلیه‌ی ویژگی‌های ابعادی شامل طول، عرض (پهنا) و ضخامت (ارتفاع) و خواص هندسی شامل حجم و قطر متوسط هندسی میوه‌ی فندق و مغزش با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابند. در محدوده‌ی رطوبت 5٪ تا 20٪ (بر پایه‌ی تر) مقادیر متوسط طول، عرض و ضخامت میوه‌ی فندق به ترتیب از 16/92 تا 17/42، 17/51 تا 18/43 و 15/33 تا

قطر متوسط هندسی آن‌ها در نظر گرفته شد و از روابط 5 و 6 محاسبه گردید (12).

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

$$S_p = \pi D_g^2 / 4 \quad (6)$$

#### 2-2- خواص مکانیکی

آزمون مکانیکی فندق برای تعیین ویژگی‌های مقاومت به شکستگی آن انجام شد. آزمایش‌ها به وسیله‌ی ماشین آزمون مواد Hounsfield مدل H5K-s ساخت انگلستان انجام شد. این ماشین به یک دستگاه رایانه متصل بود و از طریق نرم‌افزار مربوطه تنظیمات آزمایش اعمال شده و نمودار نیرو - تغییر شکل برای هر آزمایش ثبت می‌شد. آزمون مکانیکی فشاری برای دانه‌ی فندق در دو سطح رطوبت 5٪ و 10٪ بر پایه‌ی تر و برای مغز فندق، تنها در سطح رطوبت 5٪ انجام گردید. با توجه به این که رطوبت محصول برای نگه‌داری حدود 5 درصد و عملیات فندق‌شکنی در رطوبت 10٪ انجام می‌گیرد در این تحقیق، خواص مکانیکی فندق در این دو سطح تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. فندق و مغز آن بین دو صفحه‌ی موازی در سه جهت مطابق شکل 1 در امتداد محورهای اصلی X، محور طولی میوه، و محورهای Y و Z در امتداد عمود بر محور X و به ترتیب در راستای کوچک‌ترین بُعد و در امتداد محل اتصال پوست (برجستگی روی پوست) با سرعت بارگذاری  $1/24s^{-1}$  تحت فشار قرار گرفت.

برای هر آزمایش داده‌های نیروی شکست، تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست از منحنی نیرو - تغییر شکل تعیین گردید. تغییر شکل نسبی (ویژه) در هر جهت بارگذاری از تقسیم تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست بر اندازه‌ی قطر میوه در امتداد محور متناظر مطابق رابطه‌ی 7، محاسبه شد.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \quad (7)$$

که در آن،  $\varepsilon$  = تغییر شکل نسبی (درصد، بدون بُعد)؛  $L$  = اندازه‌ی اولیه‌ی بعد میوه تحت بارگذاری (mm)؛  $\Delta L$  = اندازه‌ی تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست (mm).

آزمون‌های مکانیکی مورد نظر برای هر تیمار در هشت تکرار انجام شدند. از این رو، تعداد آزمایش‌های مکانیکی برای دانه‌ی فندق، 48 و برای مغز فندق 24، آزمایش بوده است. نتایج خواص

1. Surface area
2. Projected area

16/09 میلی متر و برای مغز فندق به ترتیب از 13/55 تا 13/98،  
13/59 تا 14/00 و 11/89 تا 12/09 میلی متر افزایش می یابند.

جدول 1- مقادیر مجموع مربعات حاصل از تجزیه ی واریانس مقادیر خواص ابعادی

منبع تغییرات	درجه آزادی	ابعاد میوه ی فندق			ابعاد مغز فندق		
		طول	عرض	ضخامت	طول	عرض	ضخامت
تکرار (بلوک)	79	1,002 <sup>ns</sup>	1,048 <sup>ns</sup>	0,827 <sup>ns</sup>	0,671 <sup>ns</sup>	1,220 <sup>ns</sup>	0,721 <sup>ns</sup>
رطوبت	4	3,933 <sup>*</sup>	10,994 <sup>**</sup>	8,974 <sup>**</sup>	3,523 <sup>**</sup>	3,882 <sup>*</sup>	0,757 <sup>ns</sup>
خطا	316	1,079	1,206	0,942	0,709	1,001	0,668
ضریب تغییرات (C. V.)	-	٪6,05	٪6,07	٪6,13	٪6,33	٪7,27	٪6,82

\*\* معنادار در سطح احتمال 1٪؛ \* معنی دار در سطح احتمال 5٪؛ ns در سطح احتمال 5٪ معنی دار نیست.

جدول 2- مقایسه ی میانگین مقادیر خواص ابعادی (طول، عرض و ضخامت) و مقادیر متوسط خواص هندسی میوه و مغز فندق در چهار

سطح رطوبت

مشخصه ی فیزیکی

کُرویت %	قطر متوسط هندسی (mm)	حجم (mm <sup>3</sup> )	ضخامت ارتفاع (mm)	عرض (پهنا) (mm)	طول (mm)	وزن (g)	رطوبت، درصد (بر پایه ی تر)
93/52±1/70	16/55±0/90	2395/10±373/50	15/33±1/03 c	17/51±1/11c	16/92±1/00c	1/95±0/34	5
93/34±2/20	16/89±0/84	2540/55±368/26	15/69±0/93 b	18/00±1/05b	17/08±1/00 bc	2/07±0/32	10
93/26±2/04	17/23±0/90	2700/80±402/38	16/05±0/98 a	18/36±1/08a	17/38±1/07 ab	2/18±0/35	15
93/19±2/18	17/25±0/79	2705/43±363/19	16/09±0/90 a	18/43±1/10a	17/42±0/96 a	2/32±0/33	20
92/85±3/11	13/00±0/74	1162/46±187/73	11/89±0/91*	13/59±1/02b	13/55±0/96 b	0/92±0/15	5
91/99±3/35	13/00±0/61	1174/44±160/51	11/93±0/81	13/67±0/94b	13/62±0/96 b	0/95±0/12	10
91/98±3/50	13/09±0/74	1184/30±195/37	12/04±0/91	13/68±1/20b	13/72±0/97 b	0/99±0/16	15
91/63±3/10	13/26±0/74	1231/27±197/99	11/94±0/92	14/00±1/02a	13/98±0/90a	1/14±0/17	20

جدول 2- معادلات رگرسیون خطی برای وزن، طول، پهنا، ضخامت، حجم، کُرویت، مساحت های سطح رویه و مقطع میوه و مغز فندق به

صورت تابعی از رطوبت در محدوده ی رطوبت 5٪ تا 20٪ بر پایه ی تر

R <sup>2</sup>	معادله برای مغز فندق	R <sup>2</sup>	معادله برای میوه ی فندق
0/83	$m = 0.07 MC + 0.83$	0/99	$M = 0.12 MC + 1.82$
0/91	$l = 0.14 MC + 13.67$	0/93	$L = 0.18 MC + 16.75$
0/79	$w = 0.12 MC + 13.43$	0/91	$W = 0.31 MC + 17.30$
0/97	$t = 0.07 MC + 11.81$	0/92	$T = 0.27 MC + 15.13$

0/86	$v = 21.63 MC + 1134$	0/90	$V = 109.12 MC + 2312.7$
0/80	$s = 7.07 MC + 521.89$	0/91	$S = 25.85 MC + 843.88$
0/80	$s_p = 1.77 MC + 130.47$	0/91	$S_p = 6.46 MC + 210.97$
0/96	$\phi = - 0.39 MC + 93.15$	0/94	$\phi = - 0.11 MC + 93.60$

جدول 3- نتایج تجزیه‌ی واریانس مقادیر خواص مکانیکی پوست فندق در بارگذاری فشاری

مجموع مربعات (MS)		درجه‌ی آزادی	منبع تغییرات
تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست	نیروی شکست		
0/120*	0/315**	1	رطوبت
0/243**	0/399**	2	جهت بارگذاری
0/063 <sup>ns</sup>	0/022 <sup>ns</sup>	2	رطوبت × جهت بارگذاری
0/056	0/019	42	خطا
9/16	2/40	-	ضریب تغییرات (C. V.)

\* معنی‌دار در سطح احتمال 5٪، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال 1٪، ns در سطح احتمال 5٪ معنی‌دار نیست.

جدول 4- مقایسه‌ی میانگین‌های نیروی شکست و تغییر شکل ویژه (نسبی) فندق در سه جهت بارگذاری

جهت بارگذاری	نیروی شکست، (N)	تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست، (-)
محور Xها	372/77 a*	2/46 a
محور Yها	291/22 b	2/55 a
محور Zها	279/04 b	1/96 b

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح 5٪ تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

جدول 5- مقادیر متوسط نیروی شکست پوست فندق در سه جهت بارگذاری فشاری

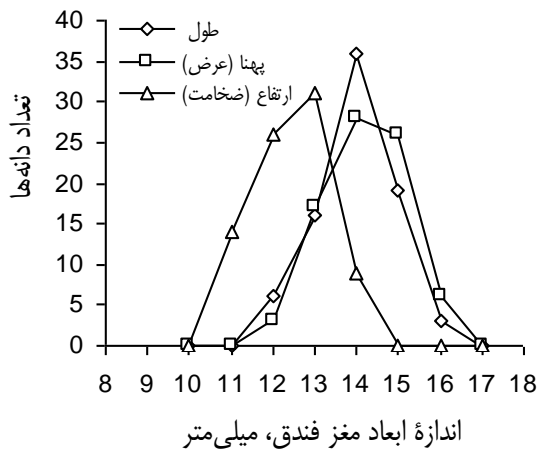
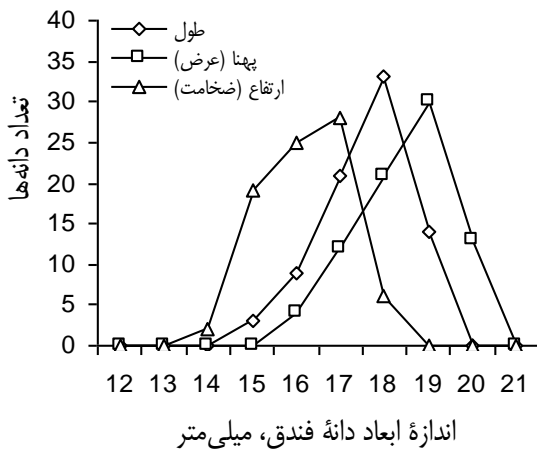
رطوبت 5٪ (بر پایه‌ی تتر)		رطوبت 10٪ (بر پایه‌ی تتر)		خواص مکانیکی
میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
338/42	51/01	290/26	52/60	نیروی شکست، (N)
0/022	0/005	0/025	0/004	تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست، (-)

جدول 6- تجزیه‌ی واریانس مقادیر خواص مکانیکی مغز فندق

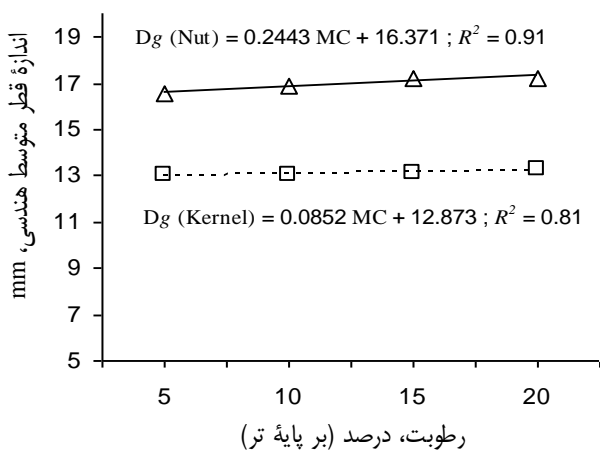
مجموع مربعات (MS)		درجه‌ی آزادی	منبع تغییرات
تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست	نیروی شکست		
0/594**	0/295**	2	جهت بارگذاری
0/048	0/044	21	خطا
5/14	5/12	-	ضریب تغییرات (C. V.)

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال 1٪.

ترتیب از روابط 5 و 6 محاسبه شدند با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش تقریباً خطی قطر متوسط هندسی چنین نتیجه‌ای قابل توصیف است.



شکل 3- منحنی‌های توزیع فراوانی اندازه‌ی ابعاد میوه و مغز فندق (سه قطر اصلی) در رطوبت 10٪ بر پایه‌ی تر.



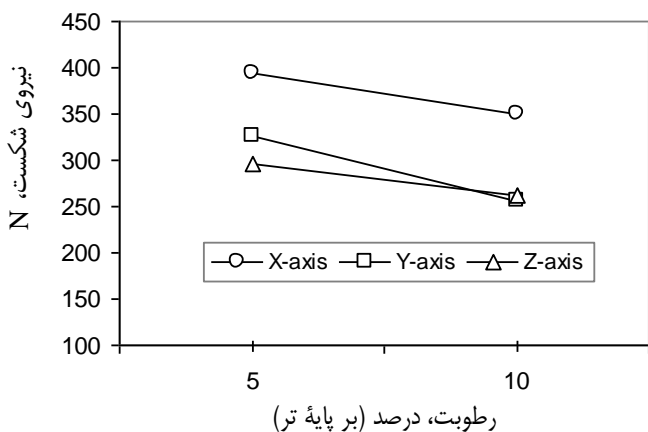
شکل 4- اثر رطوبت بر اندازه‌ی قطر-متوسط هندسی میوه (Δ) و مغز فندق (□).

با افزایش رطوبت با توجه به افزایش ابعاد میوه، حجم آن (محاسبه شده از رابطه‌ی 1) نیز افزایش می‌یابد. با افزایش رطوبت، گرویت میوه و مغز فندق به ترتیب از 93/52 به 93/19 درصد و 92/85 به 91/63 درصد کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی خواص فیزیکی فندق محلی قزوینی با ارقام کشورهای ترکیه (10 و 11) نشان می‌دهد که از نظر وزن، یک واحد فندق قزوینی (در رطوبت 5٪) با متوسط وزن 1/95 گرم از متوسط چهار رقم تجاری ترکیه (1/91 گرم در رطوبت 6٪) سنگین‌تر است، در حالی که نصف یک واحد فندق کرواسی (3/88 گرم در رطوبت 6٪) است. از نظر حجمی رقم کشور کرواسی حدوداً دو برابر (4/88 cm<sup>3</sup>) فندق قزوینی (2/40 cm<sup>3</sup>) است. گرویت فندق‌های قزوینی (93/52٪) خیلی بیش‌تر از ارقام ترکیه‌ای (89/35٪) و کرواسی (82/86٪) است. ارقام کشور کرواسی کشیده و دارای قطر اصلی خیلی بزرگ‌تری (mm) 19/31 در رطوبت 6٪ نسبت به ارقام ترکیه‌ای (mm) 25/32 در رطوبت 6٪ و رقم قزوینی (mm) 16/92 در رطوبت 5٪ هستند.

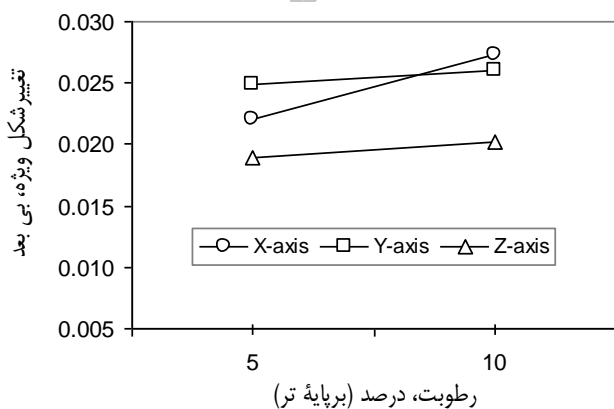
نمودارهای شکل 3 منحنی‌های توزیع فراوانی اندازه‌ی اقطار اصلی میوه و مغز فندق را در رطوبت 10٪ نشان می‌دهد. از منحنی‌ها پیدا است که توزیع فراوانی ابعاد میوه و مغز فندق روندی متمایل به توزیع نرمال نشان می‌دهد. در نمونه‌ی اندازه‌گیری شده حدود 68٪ میوه‌های فندق دارای طولی در محدوده‌ی 18-16 mm، حدود 64٪ دارای پهنایی در محدوده‌ی 19-17 mm و حدود 66٪ دارای ضخامت در محدوده‌ی 17-15 mm بودند. برای مغز فندق حدود 69٪ و 68٪ به ترتیب دارای اندازه‌ی طول و پهنای در محدوده‌ی 15-13 mm و حدود 71٪ آن‌ها از نظر اندازه‌ی ضخامت مغز در محدوده‌ی 13-11 mm قرار داشتند.

در شکل 5، تغییرات قطر متوسط هندسی میوه و مغز فندق (محاسبه شده از رابطه‌ی 2) با رطوبت نشان می‌دهد که افزایش رطوبت موجب افزایش قطر متوسط هندسی فندق می‌گردد. افزایش رطوبت موجب متورم شدن سلول‌های آن می‌گردد و از این‌رو اندازه‌ی قطر آن‌ها و در نتیجه قطر میوه، افزایش می‌یابد. معادلات رگرسیون بر روی شکل 7، نشان می‌دهد که شیب افزایش قطر متوسط هندسی پوست فندق بیش‌تر از مقدار آن برای مغز فندق بوده است. همچنین، داده‌های جدول 1 نشان می‌دهد مساحت سطح (S) و سطح مقطع (S<sub>p</sub>) میوه و مغز فندق که به

بارگذاری مختلف، نشان می‌دهد. نمودار شکل 7، نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت، نیروی شکست پوست فندق در هر سه جهت بارگذاری به طوری معنی‌داری (جدول 4) کاهش می‌یابد. نیروی شکست پوست فندق در جهت محور Xها خیلی بیش‌تر از سایر جهت‌های بارگذاری است و در جهت محور Zها کم‌ترین مقدار (جدول 4) را دارد. نمودار شکل 8، نشان می‌دهد که تغییر شکل ویژه (نسبی) تا نقطه‌ی شکست پوست فندق با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابد. با افزایش رطوبت به علت نرم شدن پوست مقدار تغییر شکل بیش‌تری باید اعمال گردد. جهت بارگذاری اثر معنی‌داری (در سطح احتمال 5٪) بر میزان تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست میوه دارد. تحقیقات محققان دیگر نشان داده است که با افزایش رطوبت مقدار نیروی شکست میوه، کاهش می‌یابد (7، 10 و 11). همچنین، جهت بارگذاری بر نیروی شکست پوست تأثیر دارد و در جهت بارگذاری محور Xها بزرگ‌ترین مقدار را دارد (11).



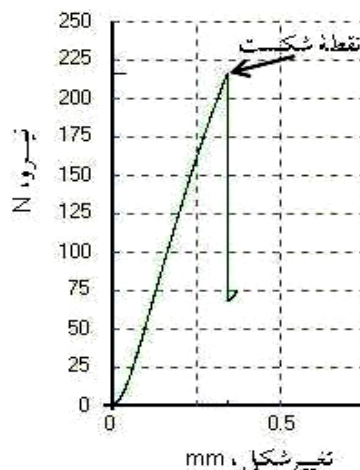
شکل 6- اثر رطوبت و جهت بارگذاری بر نیروی شکست پوسته‌ی فندق.



با استفاده از رابطه‌ی 4 متوسط نسبت پوست فندق رقم محلی مورد مطالعه 52/81٪ با انحراف معیار 4/18 تعیین شد. روابط رگرسیونی خطی برای خواص فیزیکی مورد بررسی در جدول 2، نشان داده است. در اکثر موارد، همبستگی بسیار بالایی بین خواص فیزیکی با رطوبت مشاهده می‌شود.

### 3-2- خواص مکانیکی میوه‌ی فندق

شکل 5، نمونه‌ای از نمودارهای نیرو- تغییر شکل فندق در بارگذاری فشاری نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد پس از بروز شکستگی، منحنی نیرو- تغییر شکل به طور ناگهانی افت می‌کند. این حالت در اکثر آزمایش‌ها ملاحظه گردید. در تعداد محدودی پس از بروز شکست اولیه نمودار حالت صعودی را مجدداً ادامه می‌داد. به هر حال، نخستین نقطه‌ی شکست به عنوان نیروی شکست میوه، ثبت گردید و مورد استفاده قرار گرفت.



شکل 5- نمودار نیرو- تغییر شکل فندق در بارگذاری فشاری.

جدول 3، نتایج تجزیه‌ی واریانس خواص مکانیکی فندق در بارگذاری فشاری را نشان می‌دهد. به منظور برآورده نمودن دو شرط نرمال بودن توزیع پارامتر و یکسان بودن واریانس خطای تیمارها تبدیل مطلوب (Ln) بر روی داده‌های هر پارامتر انجام گرفته شد (3). جدول 3 نشان می‌دهد که رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال 1٪ نیروی شکست پوست فندق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر جهت بارگذاری و رطوبت میوه بر تغییر شکل ویژه تا نقطه‌ی شکست پوست فندق نیز معنی‌دار است. جدول 4، نتایج مقایسه‌ی میانگین داده‌های نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا نقطه‌ی شکست پوست فندق را در جهت‌های



از آن جا که با افزایش رطوبت، تغییر شکل ویژه نیز افزایش می‌یابد دلیل این که عملیات فندق شکنی در رطوبت بالا (حدود 10٪) انجام می‌گیرد، می‌تواند تنها به خاطر کاهش نیروی شکست میوه با افزایش رطوبت باشد. این موضوع در کاهش نیروی اعمال شده بر میوه به منظور شکستن پوست و در نتیجه، کاهش صدمات بر مغز و نیز انرژی مصرفی مؤثر است.

### 3-3- خواص مکانیکی مغز فندق

جدول 6، تجزیه‌ی واریانس خواص مکانیکی مغز فندق با رطوبت 5 درصد بر پایه‌ی تر را در سه جهت بارگذاری نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد جهت بارگذاری اثر معنی‌داری (در سطح 1٪) بر نیروی شکست میوه و تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست مغز فندق دارد.

نمودارهای شکل 8، تغییرات مقادیر نیروی شکست و تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست مغز فندق را در سه جهت بارگذاری انجام شده نشان می‌دهد. بزرگ‌ترین و کم‌ترین مقدار نیروی شکست مغز به ترتیب در جهت بارگذاری محورهای Z (جهت عمود بر سطح تماس دو لپه‌ی مغز) و Xها (در راستای سطح تماس دو لپه‌ی مغز) بود. تغییر شکل تا نقطه‌ی شکست در امتداد محور Xها بیش‌ترین مقدار را داشت. تفاوت متوسط نیروی شکست مغز در هر سه جهت بارگذاری (61/13 N) در رطوبت 5٪ نسبت به متوسط نیروی شکست پوست میوه‌ی فندق (N) 338/42 در همین رطوبت خیلی کم‌تر است. عملیات فندق شکنی در این رطوبت به نیروی بیش‌تری نیازمند خواهد بود و به نظر می‌رسید موجب اعمال نیروی بیش‌تری به مغز شده و سبب افزایش ضایعات گردد.

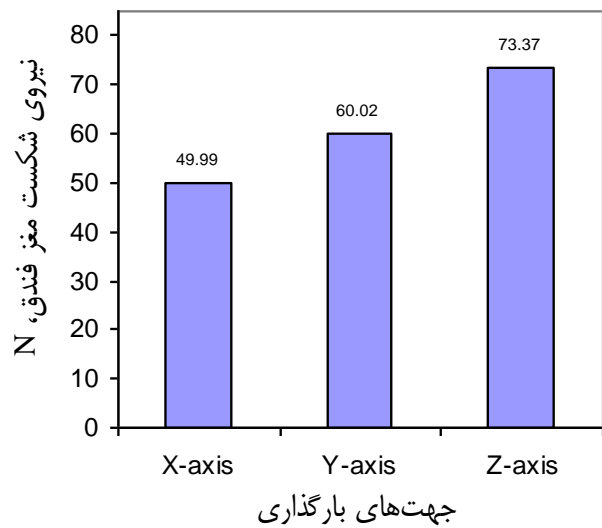
### 4- نتیجه‌گیری

خواص فیزیکی میوه و مغز فندق شامل ویژگی‌های ابعادی (طول، عرض و ضخامت)، وزن و خواص هندسی (قطر متوسط هندسی، حجم، مساحت سطح رویه و سطح مقطع) با افزایش رطوبت، افزایش می‌یابد.

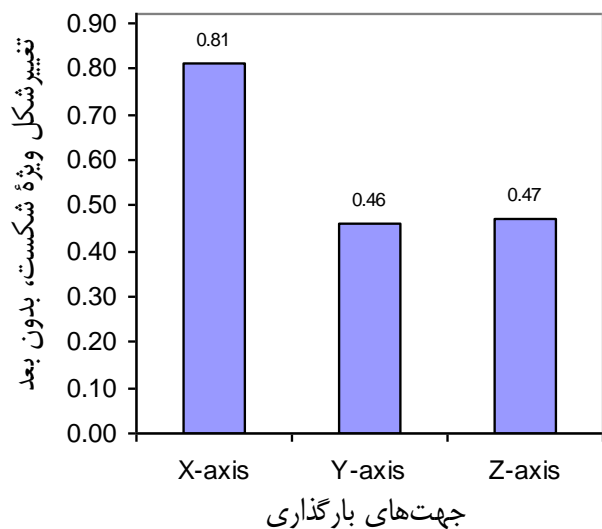
گرویت میوه و مغز فندق با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد.

مقادیر متوسط طول، عرض (پهنا) و ضخامت (ارتفاع)، قطر متوسط هندسی، وزن، حجم، مساحت سطح رویه، سطح مقطع و گرویت میوه‌ی فندق در رطوبت 5٪ بر پایه‌ی تر به ترتیب عبارت بودند از: 16/92، 17/51، 15/33، 16/55 میلی‌متر، 1/95

شکل 7- اثر رطوبت و جهت بارگذاری بر تغییر شکل ویژه تا نقطه‌ی شکست پوسته‌ی فندق.



(الف)



(ب)

شکل 8- الف) تغییرات نیروی شکست مغز فندق، ب) تغییرات تغییر شکل ویژه‌ی شکست میوه‌ی فندق برای جهت‌های بارگذاری مختلف در امتداد محورهای اصلی میوه در رطوبت 5٪ بر پایه‌ی تر.

جدول 5، نشان می‌دهد که متوسط نیروی شکست در کلیه‌ی جهت‌های با افزایش رطوبت از 5٪ به 10٪ بر پایه‌ی تر بیش از 14٪ کاهش یافته است. با توجه به نتایج بخش بررسی خواص فیزیکی و نمودار شکل 5، تفاضل قطر متوسط هندسی میوه و مغز فندق با افزایش رطوبت از 5٪ به 10٪ بر پایه‌ی تر حدود 9٪ بود.

5-Aydin, C. 2002. Physical properties of hazelnuts. *Biosystems Engineering*, 82(3), 297-303.

6-Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60, 315-320.

7-Guner, M.; Dursun, E., and II.G. Dursun. 2003. Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading. *Biosystems Engineering*, 85(4), 485-491.

8-Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., and Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30-38.

9-Mohsenin N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. (2nd Ed.), New York: Gordon & Breach Science Publishers.

10-Ozdemir, F., and Akinci, I. 2004. Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63 (3), 341-347.

11-Pliestic, S., Dobricevic, N., Filipovic, D., and Gospodaric, Z. 2006. Physical properties of filbert nut and kernel. *Biosystems Engineering*, 93(2), 173-178.

12-Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., and 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

13-Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., and 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.

14-Razavi, Seyed M. A., Emadzadeh, B., Rafe, A., and 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.

15-Stroshine, R. and Hamann, D. 1994. Physical properties of agricultural materials and food products. Course Manual, Purdue Univ. Press, West Lafayette, Indiana.

گرم،  $2/40 \text{ cm}^3$ ،  $8/63 \text{ cm}^2$ ،  $2/16 \text{ cm}^2$  و  $93/52$ ؛  
همچنین، مقادیر متناظر برای مغز فندق عبارت بودند از:  $13/55$ ،  $13/59$ ،  $11/89$ ،  $13/00$  میلی‌متر،  $0/92$  گرم،  $1/16 \text{ cm}^3$ ،  $5/02 \text{ cm}^2$  و  $1/26 \text{ cm}^2$  و  $92/85$ ؛

نسبت وزنی پوست میوه‌ی فندق به وزن کل رقم محلی قزوینی  $52/81$ ٪ بود.

رطوبت و جهت بارگذاری نیروی شکست و تغییر شکل ویژه تا گسیختگی میوه‌ی فندق را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش رطوبت، نیروی شکست میوه کاهش می‌یابد در حالی که تغییر شکل ویژه‌ی شکست افزایش می‌یابد.

بیش‌ترین نیروی شکست پوست میوه‌ی فندق در جهت بارگذاری در امتداد محور میوه (در جهت محور Xها) بود. کم‌ترین نیروی شکست مغز فندق در امتداد عمود بر محور میوه و در راستای کوچک‌ترین بُعد (محور Zها) بود.

متوسط نیروی شکست پوست میوه‌ی فندق در سه جهت بارگذاری در رطوبت  $5$ ٪ (بر پایه‌ی تر) به طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از مقدار آن برای مغز فندق بود.

با در نظر گرفتن خنثی شدن تفاضل قطر متوسط هندسی میوه و مغز فندق با افزایش تغییر شکل نسبی تا نقطه‌ی شکست با افزایش رطوبت، کاهش نیروی شکست پوست فندق در رطوبت  $10$ ٪ می‌تواند عامل مؤثری در انرژی مصرفی و کاهش نیروهای اعمال شده به مغز و ضایعات فرآیند فندق‌شکنی باشد.

## 5- منابع

1- ایمان‌مهر، ع.، قبادیان، ب.، مینایی، س. و فردمال، ج. 1385. تعیین برخی خواص فیزیکی دانه‌ی کلزا (وارته‌ی لیکورد). *مجله‌ی تحقیقات مهندسی کشاورزی*، جلد 7، شماره‌ی 29، 119-128.

2- درویشیان، م. (مترجم). 1377. *فندق، کشت و تولید*. تألیف: بر گونیو، اف.، ای. ژرمن و ژ. پ. ساراکوین. انتشارات فنی ایران. تهران. 176 ص.

3- بهمن‌یزدی، ب.، عبدالمجیدی، ر.، و ولی‌زاده، م. 1376. *طرح‌های آماری در پژوهش‌های کشاورزی*. مؤسسه‌ی انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

4- Anon. 1998. ASAE Standard: ASAE S401.1. *Compression tests of food materials of convex shape*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan 49085.