

خواص فیزیکی و مکانیکی و غذایی فندق (مطالعه موردی ارقام شمال ایران)

سعید فیروزی

استادیار گروه زراعت و اصلاح و نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۳/۱۴	داده‌های خواص فیزیکی و مکانیکی ارقام مختلف فندق می‌توانند به منظور بهینه‌سازی و طراحی تجهیزات برداشت و فرآوری این محصول مورد استفاده قرار گیرند. در عین حال، بررسی خواص غذایی میوه فندق در صنایع غذایی حائز اهمیت است. از این رو برخی خواص فیزیکی، مکانیکی و غذایی سه رقم فندق متداول در منطقه اشکورات گیلان واقع در شمال ایران با نام‌های گرد، بادامی و کشاورزی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. خواص فیزیکی شامل ابعاد، جرم، کرویت، مساحت رویه، جرم مخصوص حقیقی و ظاهری، تخلخل، زاویه انباشتگی، نسبت وزن میوه به فندق، سرعت حد، ضریب اصطکاک فندق و میوه آن بر روی صفحات گالوانیزه و تخته سه‌لا بودند. چهار خاصیت مکانیکی شامل نیروی گسیختگی، تغییر شکل و انرژی جذب‌شده تا نقطه گسیختگی و سختی ارقام مختلف فندق تعیین شدند. همچنین عناصر غذایی پروتئین خام، روغن، فیبر خام، ماده خشک، کربوهیدرات و برخی مواد معدنی مهم میوه‌های فندق شامل فسفر، پتاسیم، ازت، آهن، روی و منگنز نیز مورد اندازه‌گیری و مقایسه قرار گرفتند. نتایج بیانگر وجود اختلافات معنی‌دار آماری بین صفات فیزیکی و مکانیکی ارقام مختلف فندق متداول در شمال ایران بود. همچنین جدولی از عناصر غذایی مهم میوه فندق برای ارقام مورد مطالعه، ارائه گردید. بر این اساس، بین داده‌های خواص غذایی ارقام مختلف فندق نیز اختلافات آماری معنی‌داری وجود داشت. این خواص می‌تواند به ویژگی‌های رقمی و شرایط رشد ارقام مختلف فندق مربوط باشد.
کلمات کلیدی: فندق، خواص فیزیکی، مکانیکی، غذایی	
* عهده دار مکاتبات Email: firoozi@iaurasht.ac.ir	

مقدمه

فندق (*Corylus avellana* L.) از مهم‌ترین محصولات آجیلی پرمصرف جهان است که نه تنها به عنوان میوه استفاده می‌شود؛ بلکه در ترکیبات متنوع غذایی، کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی دارد (۴). میوه فندق، منبع مهم ویتامین B6 بوده و از ۱۷ تا ۵۹ درصد پروتئین و ۵۵ تا ۶۵ درصد روغن مفید تشکیل شده است. روغن فندق با حدود ۸۳٪ اسید اولئیک از منابع مهم این ماده غذایی می‌باشد (۲۵). ایران بعد از ترکیه، ایتالیا، آمریکا، آذربایجان، گرجستان و چین، هفتمین تولیدکننده بزرگ فندق جهان است (۱۰). در ایران، درختچه‌های دائمی فندق عمدتاً در منطقه اشکورات واقع در شمال کشور، ارتفاعات قزوین، استان اردبیل و آذربایجان پرورش داده می‌شوند.

استان گیلان بزرگ‌ترین تولیدکننده فندق ایران است. سطح زیر کشت فندق در این استان، در حدود ۷۲۰۰ هکتار و تولید سالانه آن حدود ۶۶۵۰ تن می‌باشد که تقریباً ۷۰ درصد از فندق تولیدی ایران را تشکیل می‌دهد (۵). زندگی بسیاری از خانواده‌های گیلانی در مناطق تحت کشت فندق، به شکل مستقیم و غیرمستقیم به کشت و تولید این محصول وابسته است؛ اما برداشت دستی و کمبود و ضعف صنایع تبدیلی فندق در این مناطق، درآمد حاصل از آن را به حداقل ممکن رسانده است؛ بنابراین به منظور افزایش سطح درآمد فندق‌کاران و کمک به اشتغال‌زایی در مناطق تحت کشت این محصول، مطالعات مربوط به صنایع تبدیلی فندق در استان گیلان، بسیار حائز اهمیت است.

در استان گیلان، میوه فندق با دست برداشت شده و برخی اوقات این کار با ضربات چوب‌دستی‌های بلند انجام می‌گیرد. پس از برداشت نیز عملیات زیر به ترتیب انجام می‌شود:

الف- کندن و جداکردن پوسته^۱ سبز از فندق

ب- شکستن فندق، جداکردن پوست^۲ از میوه فندق

ج- خشک کردن میوه فندق

این در حالی است که بیش از ۹۰ درصد فندق استان گیلان، پس از کندن پوسته سبز اولیه، به شکل پوست نکنده و فرآوری نشده و با قیمت‌های نازل عرضه می‌شود. از این رو طراحی و بهینه‌سازی ماشین‌های برداشت و تجهیزات فرآوری این محصول در استان گیلان بسیار ضروری است.

طراحی ماشین‌ها و تجهیزات فرآوری محصولات کشاورزی از طریق روابط ریاضی مکانیکی خاصی انجام می‌گیرد و خصوصیات فیزیکی- مکانیکی محصولات زراعی را با ویژگی‌های ماشین‌ها و تجهیزات مربوطه مرتبط می‌سازند. خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی نه تنها داده‌های مهندسی لازم برای طراحی ماشین‌ها و تجهیزات فرآوری کشاورزی را تامین می‌کنند؛ بلکه به انتخاب روش‌های مناسب جهت به دست آوردن آن داده‌ها نیز کمک می‌کنند (۲، ۲۲).

خواص فیزیکی مهم فندق و میوه آن شامل ویژگی‌های ابعادی، تخلخل، حجم، جرم مخصوص، سرعت حد و ضریب اصطکاک روی سطوح مختلف مهندسی در ماشین‌های برداشت و تجهیزات فرآوری مربوطه است. جرم مخصوص در درجه اول تابعی از شکل هندسی و ابعاد مرتبط با آن است. دانستن جرم مخصوص به چند دلیل ضروری است. نخست، جرم مخصوص پارامتری مهم در انبارداری، انتقال و فرآوری محصولات کشاورزی است؛ به عنوان مثال، روش‌های فرآوری نظیر غربال‌کردن، تمیزکردن و جداسازی، ممکن است بر اساس اختلاف در جرم مخصوص مواد انجام گیرد. این پارامتر فیزیکی همچنین به منظور تعیین ابعاد انبارها، واحدهای تغذیه نیز کاربردهای فراوانی دارد. نحوه عمل بسیاری از انواع ماشین‌های فرآوری، تحت تاثیر شکل و اندازه میوه‌های مورد فرآوری است.

2- Shell

1- hull

از این تحقیق، اندازه‌گیری و مطالعه برخی خواص فیزیکی، مکانیکی و غذایی سه رقم فندق رایج در منطقه اشکورات گیلان واقع در شمال ایران با نام‌های گرد، کشاورزی و بادامی بود. از آنجایی که عملیات برداشت، پوست‌کنی، تمیزکنی و انتقال این محصول غذایی ارزشمند به شکل دستی انجام می‌شود از این‌رو، اطلاعات مذکور می‌توانند در طراحی تجهیزات برداشت و فرآوری فندق بسیار مفید باشند. علاوه بر آن، جدولی از اطلاعات عناصر غذایی مهم میوه ارقام مختلف فندق مورد مطالعه نیز ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

دو رقم فندق متداول در شمال ایران با نام‌های گرد و بادامی و یک رقم فندق اصلاح‌شده با نام فندق کشاورزی که به ویژه در دهه گذشته مورد توجه فندق‌کاران منطقه قرار گرفته‌است، برای تحقیق در نظر گرفته شدند. نمونه‌های آزمایشی از منطقه اشکورات رودسر واقع در استان گیلان تهیه شدند. قبل از انتقال نمونه‌های آزمایشی به آزمایشگاه‌های مربوطه، فندق‌های برداشت شده، به منظور رسیدن به سطح رطوبت انبارداری، به شکل تک‌لایه بر روی زمین قرار داده شدند (۱۶). رطوبت نمونه‌های فندق در محدوده ۲/۳٪ تا ۳/۳٪ بر پایه خشک‌کن قرار داشت. برای تعیین سطح رطوبتی فندق‌ها از روش استاندارد اجاق هوای داغ (۶) استفاده شد. کلیه آزمون‌های مربوط به میوه ارقام مختلف فندق مورد مطالعه، با پوسته الیافی رویه میوه انجام گرفت. آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه ماشین‌های کشاورزی موسسه تحقیقات برنج ایران، آزمایشگاه صنایع غذایی پارک علم و فناوری استان گیلان و آزمایشگاه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت.

خواص غذایی میوه فندق

ترکیبات غذایی میوه فندق با استفاده از روش‌های زیر تعیین گردیدند:

به عنوان مثال، کرویت از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی است که بر آسانی عملیات فرآوری میوه تاثیر می‌گذارد. به همین دلیل بهتر است که سطح زیر کشت ارقام میوه کروی‌شکل بیشتر از سایر ارقام باشد. سرعت حد نیز نقش اساسی در انتقال پنوماتیک مواد و تمیز کردن مواد خارجی بر عهده دارد. در فرآیندهای مکانیکی، اغلب صدمات وارده در مرحله برداشت، کوبیدن محصول و انتقال مکانیکی و سایر تجهیزات اتفاق می‌افتد. نیروی زیاد موجب صدمه دیدن میوه شده و آسیب وارده بر میوه به معنای شکست در کیفیت نهایی میوه فرآوری شده محسوب می‌شود (۱۵، ۱۶، ۲۴).

خواص مکانیکی همچون سختی، نیرو و انرژی گسیختگی فندق، اطلاعات مفیدی در طراحی ماشین‌های پوست‌کنی و دانه‌کنی فندق محسوب می‌شود. نیروی گسیختگی بیانگر حداقل نیروی مورد نیاز جهت پوست‌کنی میوه فندق و یا شکستن و دانه‌کنی آن است. تغییر شکل در نقطه گسیختگی برای تعیین حداقل فاصله بین سطوحی استفاده می‌شوند که برای فشردن فندق در عملیات پوست‌کنی و یا شکستن پوسته آن مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳).

مرور منابع نشان می‌دهد که برخی مطالعات جهت تعیین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و غذایی برخی ارقام فندق به ویژه در ترکیه انجام گرفته است (۳، ۱۱، ۱۳، ۱۶). همچنین در ایران، کرمانی (۱۲)، خواص فیزیکی و مکانیکی فندق رقم گرد محلی قزوین را به عنوان تابعی از رطوبت محصول، مورد بررسی و مطالعه قرار داده است. مالکی و همکاران (۱۴) نیز چهار صفت فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل و ضریب اصطکاک روی سطوح مختلف ساختمانی را برای فندق و میوه فندق رقم آذربایجانی به عنوان تابعی از رطوبت محصول، مطالعه کرده اند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقی در خصوص تعیین ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و غذایی ارقام فندق در شمال ایران انجام نگرفته است؛ لذا هدف

آن، جرم ۱۰۰ دانه فندق و میوه آن به طور تصادفی در ۵ تکرار اندازه‌گیری شد و در هر تکرار، جرم ۱۰۰ دانه در عدد ۱۰ ضرب شد تا جرم هزاردانه تعیین گردد.

الف) قطر میانگین هندسی، کرویت و مساحت رویه فندق و میوه فندق

برای تعیین قطر میانگین هندسی (D_g)، کرویت (ϕ) و مساحت رویه فندق و میوه آن (S) از روابط زیر استفاده شد:

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

$$\phi = \frac{D_g}{L} \quad (2)$$

$$S = \pi D_g^2 \quad (3)$$

ب) نسبت وزن مغز فندق

نسبت وزنی میوه فندق با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (۱۶):

$$K_r = \frac{m_k}{m_n} \times 100 \quad (4)$$

که در این رابطه، K_r - نسبت وزن میوه به فندق؛ m_k - وزن میوه فندق (g)؛ m_n - جرم فندق (g).

ج) جرم مخصوص ظاهری

جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) فندق و میوه آن با استفاده از اندازه‌گیری جرم مواد درون یک ظرف ۱۰۰۰ CC لبریز از فندق و یا میوه آن تعیین گردید. برای این کار، فندق و یا میوه آن از ارتفاع ۱۵ cm به کمک یک قیف، به درون ظرفی به حجم ۱۰۰۰ CC ریخته شد. بعد از سرصاف کردن مواد درون ظرف، جرم فندق یا میوه فندق درون ظرف به کمک ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید و از تقسیم جرم بر حجم مواد، جرم مخصوص ظاهری برای هر نمونه تعیین شد (۷).

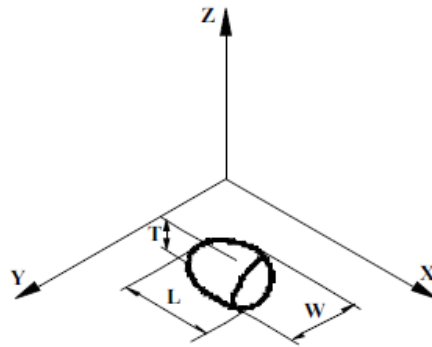
درصد روغن کل میوه‌های ارقام مختلف فندق با استفاده از روش سوکسله^۱ و پروتئین آن به کمک روش کج‌دال^۲ اندازه‌گیری شد. همچنین کربوهیدرات میوه-های فندق از روش فهلینگ^۳ و فیبر خام آن با روش وینده^۴ تعیین گردید (۶). برای تعیین خاکستر کل، نمونه-ها در آون 525°C قرار داده شدند. خاکستر به جامانده از هر نمونه توزین گردید (۶). به منظور تعیین محتوای مواد معدنی میوه‌های فندق، نمونه‌ها با محلول اسید نیتریک و اسید پرکلریک در بوته داغ تحت دمای $^\circ\text{C}$ ۲۰۰ سوزانده شدند. سپس قابلیت جذب طیف نور از ماده استخراج شده به کمک اسپکترومتر تعیین گردید (۱۶). مقادیر مواد معدنی به وسیله منحنی استاندارد محاسبه شدند. محتوای ازت میوه فندق با استفاده از روش میکروکج‌دال^۵، فسفر به کمک روش اسپکترومتریکی^۶ و پتاس به وسیله فتومتر نشر شعله‌ای^۷ تعیین گردیدند (۸). طرح آزمایشی مورد استفاده برای صفات غذایی فندق، طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار (فندق رقم گرد، فندق رقم بادامی و فندق رقم کشاورزی) و سه تکرار بود.

خواص فیزیکی فندق و میوه فندق

ابعاد فندق و میوه آن شامل طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) به کمک کولیس ورنیه دیجیتال با دقت 0.01 میلی‌متر اندازه‌گیری شدند (شکل ۱). برای این کار، ابعاد ۱۰۰ دانه فندق و میوه که به شکل تصادفی انتخاب شده بودند، تعیین گردید.

جرم دانه فندق و میوه آن و جرم هزاردانه آنها با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق با دقت 0.001 گرم اندازه‌گیری شدند. برای تعیین جرم هزاردانه فندق و میوه

- 1- Soxhlet extraction
- 2- Kjeldahl
- 3- Fehling
- 4- Weende
- 5- Micro-kjeldahl
- 3- Spectrophotometric
- 7- Flame photometer



شکل (۱) محورها و ابعاد فندق و میوه آن (۹)

Figure (1) axes and dimensions of hazelnut and its fruit (9)

(h) و شعاع سطح قرارگیری نمونه‌ها (r)، می‌توان به کمک رابطه زیر زاویه انباشتگی دینامیک را تعیین کرد (۱۶).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{r} \quad (۶)$$

ز) سرعت حد

برای اندازه‌گیری سرعت حد فندق و میوه آن، در ۵ تکرار، تعداد ۱۰ دانه فندق و ۱۰ دانه از میوه فندق ارقام مختلف، به طوری تصادفی انتخاب شدند. در هر بار، یک دانه فندق یا میوه آن به درون استوانه شیشه‌ای به قطر ۱۰۰ mm انداخته می‌شد. سپس فشار جریان هوا تا لحظه شناوری دانه‌ها افزایش داده می‌شد. در این زمان، سرعت جریان هوا که به کمک سرعت‌سنج با دقت 0.1 m s^{-1} اندازه‌گیری می‌شد، به عنوان سرعت حد نمونه‌ها ثبت گردید.

طرح آزمایشی مورد استفاده برای کلیه صفات فیزیکی، طرحی کاملاً تصادفی با سه تیمار (فندق رقم گرد، فندق رقم بادامی و فندق رقم کشاورزی) و پنج تکرار بود. در مورد خواص ابعادی فندق و میوه آن (طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین هندسی، کرویت و مساحت رویه)، ابتدا داده‌های ۱۰۰ تایی به شکل ۵ دسته ۲۰ تایی، تقسیم‌بندی شدند؛ سپس میانگین هر دسته به عنوان یکی از داده‌های آزمایشی در تجزیه واریانس داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

د) جرم مخصوص حقیقی

جرم مخصوص حقیقی (ρ_k) با روش جابه‌جایی مایع تعیین گردید. برای این کار به جای آب از تولوئن (C_7H_8) به دلیل عدم جذب آن توسط میوه‌ها و قابلیت انحلال کم استفاده شد. جرم مخصوص حقیقی دانه فندق و میوه آن برابر با نسبت جرم هر یک از آنها به حجم واقعی آنهاست (۱۶، ۱۵، ۲۴).

ه) تخلخل فندق و میوه فندق

به منظور تعیین تخلخل (ε) فندق و میوه آن، از رابطه زیر استفاده شد:

$$\varepsilon = \frac{\rho_k - \rho_b}{\rho_k} \times 100 \quad (۵)$$

که در اینجا، ρ_b و ρ_k به ترتیب جرم‌های مخصوص حقیقی و ظاهری هستند (۱۵).

و) زاویه انباشتگی دینامیک

زاویه انباشتگی دینامیک^۱ (θ) با استفاده از یک جعبه از جنس تخته سه‌لا به ابعاد $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ تعیین گردید. برای این کار، ابتدا جعبه مذکور از فندق و یا میوه آن پر شده و سپس دیواره متحرک جعبه به شکل ناگهانی بالا آورده می‌شد. بدین ترتیب به مواد درون جعبه اجازه داده می‌شد که جریان یافته و تحت زاویه‌ای طبیعی استقرار پیدا کنند. با اندازه‌گیری ارتفاع موادی که به شکل مخروطی تخلیه شده‌اند

1- Dynamic angle of repose

خواص مکانیکی فندق

کشاورزی با جهت بارگذاری (Z) بود تا بدین ترتیب، امکان مقایسه کلیه میانگین‌ها در هر صفت مکانیکی فراهم می‌گردد. مقایسه میانگین‌های کلیه صفات با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD انجام گرفت. اجرای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد (۲۱).

نتایج و بحث

خواص غذایی میوه فندق

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مواد و عناصر غذایی ارقام مختلف فندق، در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. بر این اساس، بجز در مقدار روغن خام، فسفر، پتاسیم و روی، در سایر موارد، بین ارقام مختلف فندق، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. خواص غذایی سه رقم فندق ایرانی رایج در منطقه اشکورات ایران در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. بین محتوای پروتئین خام، فیبر خام، خاکستر و کربوهیدرات موجود در ارقام مختلف فندق مورد مطالعه در این تحقیق، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بر اساس اطلاعات این جدول، فندق منبع مناسبی برای پروتئین گیاهی است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که محتوای پروتئین فندق رقم کشاورزی (۱۶/۸۶٪) به شکل معنی‌داری بیشتر از محتوای پروتئین ارقام بادامی (۱۵/۵۰٪) و گرد (۱۵/۷۰٪) است. با این حال، محتوای پروتئین خام سه رقم فندق مورد بررسی از حداقل مقادیر گزارش شده برای چهار رقم فندق تجاری ترکیه (۱۸/۲۵٪) کمتر است (۱۶)؛ بنابراین با توجه به علاقمندی برخی فندق‌کاران به نوسازی باغات قدیمی و جایگزینی درختان کم‌بازده با ارقام کاراتر، ضروری است که کارشناسان کشاورزی در انتخاب و توصیه نهال‌های اصلاح شده و خارجی، محتوای پروتئین و روغن خام ارقام جایگزین را مدنظر قرار دهند. همچنین، بررسی محتوای روغن ارقام فندق مورد مطالعه نشان می‌دهد که بین محتوای روغن خام تیمارها، اختلاف معنی‌داری

آزمون مقاومت فشاری فندق توسط دستگاه تست کشش- فشار STM-20 ساخت شرکت طراحی مهندسی سنتام^۱ انجام شد. آزمون‌های فشاری تحت سرعت بارگذاری 30 mm min^{-1} (0.5 mm s^{-1}) انجام گرفت (۱۱). با توجه به عدم تقارن فندق و میوه آن، آزمون مقاومت فشاری برای ۲۰ نمونه تصادفی از ارقام فندق مورد نظر در سه جهت بارگذاری (محور طولی، X؛ محور عرضی، Y؛ محور ضخامت، Z) انجام شد (شکل ۱). بارگذاری تا لحظه نقطه گسیختگی ادامه یافت. صفات مورد مطالعه در این آزمایش، شامل بیشینه نیروی گسیختگی (N)، تغییر شکل در نقطه گسیختگی (mm)، انرژی گسیختگی (N-m) و سختی (N mm^{-1}) بودند. نیروی گسیختگی و تغییر شکل در نقطه گسیختگی از داده‌های محورهای عمودی و افقی نمودار نیرو- تغییر شکل نمونه‌های تحت بارگذاری تعیین شدند. به منظور محاسبه انرژی گسیختگی فندق و میوه آن، مساحت سطح زیرین نمودار نیرو- تغییر شکل تعیین گردید. سختی نمونه‌ها نیز به صورت نسبت نیرو گسیختگی فندق بر تغییر شکل در نقطه گسیختگی تعیین گردید (۹، ۲۰).

داده‌های مربوط به هر صفت مکانیکی در قالب ۵ دسته چهارتایی دسته‌بندی شدند و میانگین‌های ۵ دسته، به صورت پنج داده برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شدند.

طرح آزمایشی مورد استفاده برای تجزیه واریانس کلیه صفات مکانیکی، طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار (رقم گرد با جهت بارگذاری X، رقم گرد با جهت بارگذاری Y، رقم گرد با جهت بارگذاری Z، رقم بادامی با جهت بارگذاری X، رقم بادامی با جهت بارگذاری Y، رقم بادامی با جهت بارگذاری Z، رقم کشاورزی با جهت بارگذاری X، رقم کشاورزی با جهت بارگذاری Y، رقم

جدول (۱) میانگین مربعات (MS) داده‌های مواد غذایی برای سه رقم فندق
Table (1) Mean squares (MS) of nutritional for three hazelnut cultivars

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (df)	پروتئین خام (Crude protein)	روغن خام (Crude oil)	فیبر خام (Crude fiber)	خاکستر (Ash)	کربوهیدرات (Carbohydrate)
رقم (Cultivar)	2	1.5480*	5.6454 ^{ns}	3.8656**	0.0201*	2.1684*
خطای آزمایشی (Error)	6	0.2887	1.2462	0.0426	0.0026	0.3922
ضریب تغییرات (C.V.)		3.36%	1.81%	5.91%	2.72%	10.87%

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار * : معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد **: معنی دار در سطح

احتمال ۱ درصد

ns: nonsignificant * : significant at P<0.05 **: significant at P<0.01

جدول (۲) میانگین مربعات (MS) داده‌های عناصر معدنی برای سه رقم فندق

Table (2) Mean squares (MS) of minerals for three hazelnut cultivars

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (df)	ازت (Nitrogen)	فسفر (Phosphorus)	پتاسیم (Potassium)	آهن (Iron)	منگنز (Manganese)	روی (Zinc)
رقم (Cultivar)	2	0.0911*	0.0278 ^{ns}	0.0361 ^{ns}	64.3277*	32.6347*	27.9508 ^{ns}
خطای آزمایشی (Error)	6	0.0119	0.0064	0.0097	6.4199	4.1724	5.5164
ضریب تغییرات (C.V.)		3.99%	9.95%	14.11%	6.44%	9.06%	7.94%

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار * : معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد **: معنی دار در سطح

احتمال ۱ درصد

ns: nonsignificant * : significant at P<0.05 **: significant at P<0.01

بررسی عناصر غذایی ارقام فندق استان گیلان نشان می‌دهد که تنها بین محتوای آهن و منگنز در ارقام فندق مورد مطالعه، اختلافات معنی‌داری وجود داشت. بر این اساس، محتوای آهن فندق رقم گرد (۴۴/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، به شکل معنی‌داری بیشتر از رقم بومی بادامی (۳۷/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و رقم اصلاح‌شده کشاورزی (۳۵/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (سطح احتمال ۵ درصد). در ضمن، محتوای منگنز رقم اصلاح‌شده کشاورزی (۱۹/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز به

وجود نداشت. محتوای روغن خام ارقام فندق استان گیلان (از ۶۰/۲۵ تا ۶۲/۹۸ درصد)، در مقایسه با ارقام فندق صادراتی ترکیه (۵۷/۳۹، ۵۸/۲۱، ۶۰/۷۶ و ۶۲/۹۰ درصد، به ترتیب برای ارقام فندق کاکیلداک^۱، پالاز^۲، تامبول^۳ و کارا^۴)، در مجموع از وضعیت نسبتاً مناسبی برخوردارند.

- 1- Cakildak
- 2- Palaz
- 3- Tombul
- 4- Kara

جدول (۳) خواص غذایی و معدنی سه رقم فندق متداول در شمال ایران
 Table (3) Nutritional and minerals for three common hazelnut cultivars of north of Iran

ارقام فندق (Hazelnut cultivars)			ترکیبات غذایی (Nutritional items)
کشاورزی (Keshavarzi)	گرد (Gerd)	بادامی (Badami)	
16.86 a	15.70 b	15.50 b	پروتئین خام (%) (Crude protein, %)
61.35 a	60.25 a	62.98 a	روغن خام (%) (Crude oil, %)
3.28 b	4.72 a	2.48 c	فیبر خام (%) (Crude fiber, %)
1.95 a	1.79 b	1.88 ab	خاکستر (%) (Ash, %)
5.98 ab	6.48 a	4.82 b	کربوهیدرات (%) (Carbohydrate, %)
2.93 a	2.59 b	2.69 b	ازت (%) (N, %)
0.86 a	0.86 a	0.69 b	فسفر (%) (P, %)
0.82 a	0.61 b	0.66 ab	پتاسیم (%) (K, %)
35.90 b	44.60 a	37.50 b	آهن (mg kg ⁻¹) (Fe, mg kg ⁻¹)
19.80 b	21.60 b	26.20 a	منگنز (mg kg ⁻¹) (Manganese, mg kg ⁻¹)
29.40 ab	32.70 a	26.60 b	روی (mg kg ⁻¹) (Zinc, mg kg ⁻¹)

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف، اختلاف معنی دار (LSD, P<0.05) ندارند

In each row, numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD, P<0.05)

خواص فیزیکی فندق و میوه آن

تجزیه واریانس داده‌های خواص فیزیکی ارقام فندق و میوه آن‌ها به ترتیب در جداول ۴ و ۵ و جداول ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند. بر اساس نتایج جداول تجزیه واریانس ۴ و ۵، بین طول، عرض، ضخامت، کرویت و قطر میانگین هندسی ارقام مختلف فندق مورد مطالعه در این تحقیق، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (سطح احتمال ۱ درصد). میانگین‌های خواص ابعادی در جداول ۶ و ۹ نشان داده شده‌اند. بر طبق نتایج جدول ۶، قطر

شکل معنی‌داری از ارقام بومی استان گیلان (۲۶/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای رقم بادامی و ۲۱/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای رقم گرد) کمتر بود. بنابراین با توجه به اهمیت عناصر میکروبی آهن و منگنز در جیره غذایی انسان، ضروری است که در انتخاب رقم جایگزین ارقام فندق بومی، محتوای این عناصر نیز در نظر گرفته شوند. البته باید توجه داشت که پروتئین، فیبر خام، روغن و مواد معدنی تحت تاثیر شرایط اقلیمی، رقم فندق، مبدأ جغرافیایی، سال برداشت و روش کشت نیز قرار می‌گیرند (۱، ۱۷، ۱۸، ۱۹).

جدول (۴) میانگین مربعات (MS) داده‌های خواص فیزیکی برای سه رقم فندق (ویژگی‌های ابعادی)
 Table (4) Mean squares (MS) for physical properties of three hazelnut cultivars (dimensional characteristics)

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (df)	طول (Length)	عرض (Width)	ضخامت (Thickness)	جرم (Mass)	کروییت (Sphericity)	هندسی قطر میانگین (Geometric mean diameter)	مساحت رویه (Surface area)
رقم (Cultivar)	2	26.4996	27.4079	30.4264**	3.3838	0.0034**	19.7349**	28.9320**
خطای آزمایشی (Error)	12	0.0999	0.1978	0.0684	0.0189	0.0001	0.980	0.1379
ضریب تغییرات (C.V.)		1.53%	2.33%	1.63%	4.96%	0.72%	1.68%	3.35%

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
 ns: nonsignificant * : significant at P<0.05 ** : significant at P<0.01

جدول (۵) میانگین مربعات (MS) داده‌های خواص فیزیکی برای سه رقم فندق (جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل، زاویه انباشتگی، سرعت حد و ضرائب اصطکاک بر روی تخته سه‌لا و ورق گالوانیزه)

Table (5) Mean squares (MS) for physical properties of three hazelnut cultivars (bulk and true densities, porosity, angle of repose, limit velocity, coefficient of friction on plywood and galvanized iron sheet)

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (df)	جرم مخصوص ظاهری (Bulk density)	جرم مخصوص حقیقی (True density)	تخلخل (Porosity)	زاویه انباشتگی (Angle of repose)	سرعت حد (Terminal velocity)	ضریب اصطکاک روی تخته سه‌لا (Coefficient of friction on plywood)	ضریب اصطکاک روی ورق گالوانیزه (Coefficient of friction on galvanized iron sheet)
رقم (Cultivar)	2	5230.76**	415.5814 ^{ns}	47.9047**	6.9991°	3.6850**	0.0009**	0.0014**
خطای آزمایشی (Error)	12	34.9715	9339.2287	5.2449	1.4933	0.3809	0.0001	0.0002
ضریب تغییرات (C.V.)		1.36%	13.01%	3.91%	4.52%	4.77%	3.28%	4.29%

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
 ns: nonsignificant * : significant at P<0.05 ** : significant at P<0.01

فیروزی: خواص فیزیکی، مکانیکی و غذایی...

جدول (۶) برخی خواص فیزیکی فندق
Table (6) Some physical properties of hazelnut

ارقام فندق (Hazelnut cultivars)			خواص فیزیکی (Physical properties)
کشاورزی (Keshavarzi)	بادامی (Badami)	گرد (Gerd)	
23.10 a	20.38 b	18.52 c	طول (mm) (Length, mm)
21.36 a	19.32 b	16.69 c	عرض (mm) (Width, mm)
18.76 a	13.91 c	15.55 b	ضخامت (mm) (Thickness, mm)
3.67 a	2.58 b	2.06 c	جرم (g) (Mass, g)
20.98 a	17.62 b	17.47 b	قطر میانگین هندسی (mm) (Geometric mean diameter, mm)
90.88 a	86.50 b	91.17 a	کروییت (%) (Sphericity, %)
13.58 a	9.77 b	9.61 b	مساحت رویه (cm ²) (Surface area, cm ²)
471.26 a	411.58 c	419.82 b	جرم مخصوص ظاهری (kg m ⁻³) (Bulk density, kg m ⁻³)
752.23 a	741.74 a	734.07 a	جرم مخصوص حقیقی (kg m ⁻³) (True density, kg m ⁻³)
61.93 a	55.91 b	57.67 b	تخلخل (%) (Porosity, %)
26.04 b	28.35 a	26.74 ab	زاویه انباشتگی (°) (Angle of repose, °)
13.63 a	11.98 b	13.21 a	سرعت حد (m s ⁻¹) (Terminal velocity, m s ⁻¹)
			ضریب اصطکاک (Coefficient of friction)
0.34 a	0.35 a	0.32 b	- تخته سه‌لا (Plywood)
0.30 a	0.29 a	0.27 b	- ورق گالوانیزه (Galvanized iron sheet)

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف، اختلاف معنی‌دار (LSD, P<0.05) ندارند

In each row, numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD, P<0.05)

و کارا از ۱۶/۳۰ تا ۱۸/۶۵ میلی‌متر گزارش گردید (۱۶). اگرچه بازارپسندی فندق‌های درشت‌تر، بیشتر از ارقام ریز است؛ اما باید توجه داشت که میانگین این صفت برای میوه فندق، از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین، مساحت سطح رویه فندق رقم کشاورزی (۱۳/۵۸ سانتی‌متر) به شکل معنی‌داری

میانگین هندسی فندق رقم کشاورزی (۲۰/۹۸ میلی‌متر) به شکل معنی‌داری بیشتر از دو رقم فندق دیگر (۱۷/۴۷ و ۱۷/۶۲ میلی‌متر) به ترتیب برای ارقام گرد و بادامی) بود. این صفت برای رقم گرد قزوینی در تحقیقات کرمانی (۱۲) برابر با ۱۶/۵۵ میلی‌متر و برای ارقام صادراتی ترکیه شامل ارقام کاکیلداک، پالاز، تامبول

همچنین کرویت میوه فندق ارقام بادامی و کشاورزی (به ترتیب با میانگین‌های ۸۰/۶۰ و ۸۷/۷۶ درصد) به شکل معنی-داری کمتر از کرویت میوه فندق گرد (۹۰/۳۸ درصد) بود. این مقادیر از کرویت مغز فندق رقم گرد قزوینی (۹۲/۸۵) کمتر است (۱۲).

کرویت و گردی مغز فندق، موجب می‌شود که کندن پوسته الیافی نازک میوه فندق که ارزش محصول نهایی را افزایش می‌دهد، به مراتب آسان‌تر شود. داده‌های خواص ابعادی ارقام مختلف فندق، به ویژه در طراحی و بهینه-سازی ماشین‌های برداشت و تجهیزات خرمکوبی و جداکننده، کاربردهای مفیدی دارند.

بین جرم تک‌دانه فندق در ارقام مورد مطالعه، اختلاف معنی-داری وجود داشت. بر این اساس، فندق‌های گرد و کشاورزی به ترتیب با ۲/۰۶ و ۳/۶۷ گرم، سبک‌ترین و سنگین‌ترین ارقام بودند (جدول ۸).

بیشتر از ارقام گرد و بادامی (به ترتیب ۹/۶۱ و ۹/۷۷ سانتی‌متر مربع) بود. مساحت سطح رویه فندق از شاخص‌های ابعادی تعیین‌کننده در سرعت حد است. ادامه بررسی‌های جدول ۸ بیانگر آن است که درصد کرویت فندق ارقام گرد و کشاورزی به ترتیب با میانگین‌های ۹۱/۱۷ و ۹۰/۸۸ درصد، به شکل معنی‌داری بیشتر از درصد کرویت رقم بادامی (۸۶/۵۰ درصد) بود. کرویت ارقام فندق مورد بررسی، از کرویت رقم گرد قزوینی (۹۳/۵۲ درصد) کمتر است. همچنین، کرویت ارقام فندق صادراتی پالاز، تامبول و کارا در کشور ترکیه (به ترتیب ۱۰۶/۴، ۹۸/۲ و ۹۴/۲ درصد) بیشتر از ارقام استان گیلان است، به طوری که برخی ارقام صادراتی ترک بسیار نزدیک به حالت گرد هستند. کرویت بیشتر، یکنواختی عملکرد دستگاه‌های پوست‌کن را بهبود می‌بخشد؛ بنابراین، ضروری است در انتخاب ارقام فندق جایگزین برای اصلاح باغات قدیمی، این صفت نیز مورد توجه ویژه قرار گیرد.

بررسی نتایج جدول ۹ نیز نشان می‌دهد که قطر میانگین هندسی میوه فندق رقم کشاورزی (۱۴/۵۷ میلی‌متر) به شکل معنی‌داری بیشتر از قطر میانگین هندسی ارقام گرد و بادامی (۱۲/۵۷ و ۱۳/۴۴ میلی‌متر) بود. قطر میانگین هندسی مغز رقم گرد قزوینی در مطالعه کرمانی (۱۲)، ۱۳/۰۰ میلی‌متر گزارش شد.

جدول (۷) میانگین مربعات (MS) داده‌های خواص فیزیکی میوه سه رقم فندق (ویژگی‌های ابعادی)
Table (7) Mean squares (MS) for physical properties of three hazelnut cultivars (dimensional characteristics)

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (df)	طول (Length)	عرض (Width)	ضخامت (Thickness)	جرم (Mass)	کرویت (Sphericity)	قطر میانگین هندسی (Geometric mean diameter)	مساحت رویه (Surface area)
رقم (Cultivar)	2	12.5446**	6.8196**	9.0827**	0.2855**	0.0128**	5.0427**	3.7180**
خطای آزمایشی (Error)	12	0.1035	0.1817	0.1031	0.0023	0.0001	0.0845	0.0591
ضریب تغییرات (C.V.)		2.04%	3.06%	2.82%	4.02%	1.20%	2.15%	4.19%

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
ns: nonsignificant * : significant at P<0.05 ** : significant at P<0.01

جدول (۸) میانگین مربعات (MS) داده‌های خواص فیزیکی میوه سه رقم فندق (جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل، زاویه انباشگی، سرعت حد و ضرائب اصطکاک بر روی تخته سه‌لا و ورق گالوانیزه)

Table (8) Mean squares (MS) for physical properties of three hazelnut cultivars (bulk and true densities, porosity, angle of repose, limit velocity, coefficient of friction on plywood and galvanized iron)

ضریب اصطکاک روی ورق گالوانیزه (Coefficient of friction on galvanized iron sheet)	ضریب اصطکاک روی تخته سه‌لا (Coefficient of friction on plywood)	سرعت حد (Terminal velocity)	زاویه انباشگی (Angle of repose)	تخلخل (Porosity)	جرم مخصوص حقیقی (True density)	جرم مخصوص ظاهری (Bulk density)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (Sources of variation)
0.0002 ^{ns}	0.0014*	4.3816**	85.6687**	9.4582 ^{ns}	577.9499 ^{ns}	1621.57**	2	رقم (Cultivar)
0.0002	0.0003	0.4744	0.6384	12.2274	216.4598	58.7664	12	خطای آزمایشی (Error)
3.89%	4.62%	5.42%	2.40%	7.00%	1.49%	1.56%		ضریب تغییرات (C.V.)

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار * : معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
ns: nonsignificant * : significant at P<0.05 ** : significant at P<0.01

در رقم گرد متغیر بود. زاویه انباشگی اندک فندق و میوه آن به کرویت نسبتاً زیاد آنها و در نتیجه سهولت بیشتر در لغزش و غلتش آنها بر روی یکدیگر مربوط می‌شود (۱۶). بررسی این شاخص در جدول ۸ نشان می‌دهد که رقم بادامی که از کرویت کمتری برخوردار است، در مقایسه با رقم کشاورزی، زاویه انباشگی بیشتری دارد. زاویه انباشگی ارقام فندق و میوه فندق صادراتی ترکیه به ترتیب از ۲۲/۸۶ تا ۲۴/۲۰ و ۲۵/۹۲ تا ۲۸/۲۶ درجه گزارش گردید که مقادیر این شاخص در ارقام ترکیه از میوه فندق رقم کشاورزی کمتر است. سرعت حد میوه فندق از ۱۱/۹۸ تا ۱۳/۶۳ و برای میوه فندق از ۱۱/۶۲ تا ۱۳/۲۶ متر بر ثانیه متغیر بود. سرعت‌های حد فندق و میوه فندق رقم بادامی به شکل معنی‌داری از مقادیر متناظرشان در ارقام گرد و کشاورزی کمتر بود؛ با این حال، مقایسه مقادیر نظیر به نظیر سرعت حد ارقام مختلف فندق با میوه آنها نشان می‌دهد که اساساً سرعت حد هر یک از فندق‌های مورد مطالعه به سرعت حد میوه آنها نزدیک است، بنابراین نمی‌توان پس از فرآیند پوست‌کنی فندق، از این عامل برای جداسازی فندق‌های پوست‌کننده شده از فندق‌های پوست‌کننده نشده استفاده کرد. این نتیجه بر خلاف نتیجه تحقیق

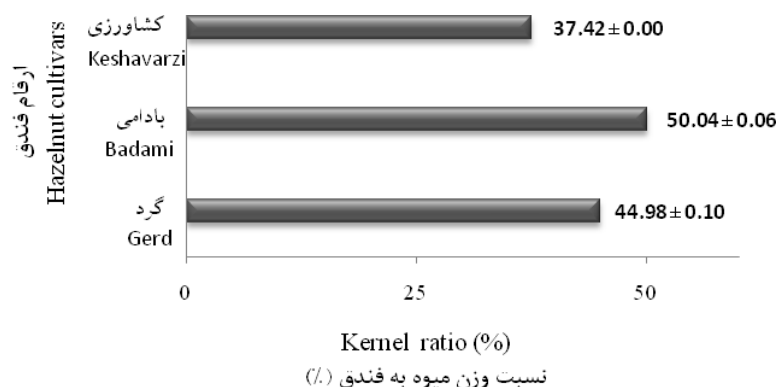
همچنین، میوه فندق گرد، سبک‌ترین میوه در بین ارقام مورد بررسی بود و بین جرم میوه فندق ارقام بادامی و کشاورزی (به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۳۷ گرم)، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۹). نسبت وزن میوه به فندق رقم کشاورزی (۳۷/۴۲٪) در مقایسه با ارقام بادامی و گرد (به ترتیب ۵۰/۰۴ و ۴۴/۹۸ درصد) کمتر بود (شکل ۲). در مطالعه کرمانی (۱۲)، نسبت پوست به فندق، ۵۲/۸۱ درصد گزارش شد که معادل نسبت میوه به فندق ۴۷/۱۹ درصد است. بنابراین، رقم بومی بادامی در استان گیلان، در مقایسه با رقم گرد قزوینی، نسبت مغز یا میوه به فندق بالاتری دارد. نسبت وزن پوست به فندق برای ارقام صادراتی ترکیه نیز از ۴۵/۸۸ تا ۴۷/۵۰ درصد گزارش شده است که به ترتیب معادل وزن میوه به فندق ۵۴/۱۲ و ۵۲/۵۰ درصد است؛ بنابراین شاخص مذکور در ارقام فندق استان گیلان نسبت به کلیه ارقام صادراتی ترکیه کمتر است (۱۶).

بین زاویه انباشگی فندق و میوه آن در ارقام مختلف، اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت (جداول ۶ و ۹). بر این اساس، زاویه انباشگی از ۲۶/۰۴ درجه در فندق رقم کشاورزی تا ۲۸/۳۵ درجه در رقم بادامی، و برای میوه فندق از ۲۸/۴۹ درجه در رقم کشاورزی تا ۳۵/۶۹ درجه

جدول (۹) برخی خواص فیزیکی میوه فندق
 Table (9) Some physical properties of hazelnut fruit

ارقام فندق (Hazelnut cultivars)			خواص فیزیکی (Physical properties)
کشاوری (Keshavarzi)	بادامی (Badami)	گرد (Gerd)	
16.63 <i>a</i>	16.70 <i>a</i>	13.92 <i>b</i>	طول (mm) (Length, mm)
14.68 <i>a</i>	14.54 <i>a</i>	12.59 <i>b</i>	عرض (mm) (Width, mm)
12.74 <i>a</i>	10.04 <i>c</i>	11.36 <i>b</i>	ضخامت (mm) (Thickness, mm)
1.37 <i>a</i>	1.29 <i>b</i>	0.92 <i>c</i>	جرم (g) (Mass, g)
14.57 <i>a</i>	13.44 <i>b</i>	12.57 <i>c</i>	قطر میانگین هندسی (mm) (Geometric mean diameter, mm)
87.76 <i>b</i>	80.60 <i>c</i>	90.38 <i>a</i>	کرویّت (%) (Sphericity, %)
6.70 <i>a</i>	5.69 <i>b</i>	4.97 <i>c</i>	مساحت رویه (cm ²) (Surface area, cm ²)
504.24 <i>a</i>	498.11 <i>a</i>	470.44 <i>b</i>	جرم مخصوص ظاهری (kg m ⁻³) (Bulk density, kg m ⁻³)
978.86 <i>a</i>	998.38 <i>a</i>	980.82 <i>a</i>	جرم مخصوص حقیقی (kg m ⁻³) (True density, kg m ⁻³)
51.29 <i>a</i>	49.97 <i>a</i>	48.54 <i>a</i>	تخلخل (%) (Porosity, %)
28.49 <i>b</i>	35.63 <i>a</i>	35.69 <i>a</i>	زاویه انباشتگی (°) (Angle of repose, °)
13.22 <i>a</i>	11.62 <i>b</i>	13.26 <i>a</i>	سرعت حد (m s ⁻¹) (Terminal velocity, m s ⁻¹)
			ضریب اصطکاک (Coefficient of friction)
0.36 <i>b</i>	0.39 <i>a</i>	0.38 <i>a</i>	- تخته سه لا (Plywood)
0.31 <i>b</i>	0.32 <i>b</i>	0.32 <i>b</i>	- ورق گالوانیزه (Galvanized iron sheet)

اعداد با حروف مشترک در هر ردیف، اختلاف معنی‌دار (LSD, P<0.05) ندارند
 In each row, numbers followed by the same letter are not significantly different (LSD, P<0.05)



شکل (۲) نسبت وزن میوه به فندق برای ارقام متداول استان گیلان
Figure (2) kernel ratio of common hazelnut cultivars of Guilan province

ضرب اصطکاک استاتیکی فندق و میوه فندق بر روی سطوح تخته سه‌لا و ورق گالوانیزه در جداول ۶ و ۹ نشان داده شدند. مقدار این صفت برای ارقام فندق بادامی و کشاورزی (به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۳۴ بر روی تخته سه‌لا و ۰/۲۹ و ۰/۳۰ بر روی ورق گالوانیزه) به شکل معنی‌داری از رقم گرد (۰/۳۲ و ۰/۲۷) به ترتیب بر روی تخته سه‌لا و ورق گالوانیزه بیشتر بود. مقایسه ضرایب اصطکاک روی سطوح عملیاتی مورد مطالعه، بیانگر مقادیر کمتر این صفت برای فندق در مقایسه با میوه فندق بود که این موضوع به صاف‌تر بودن پوسته فندق در مقایسه با سطح رویه میوه آن مربوط می‌شود.

خواص مکانیکی فندق

تجزیه واریانس داده‌های خواص مکانیکی ارقام فندق استان گیلان در جدول ۱۰ نشان داده شده است. بر این اساس بین مقادیر صفات نیروی گسیختگی، انرژی جذب‌شده و تغییر شکل تا نقطه گسیختگی ارقام فندق مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (سطح احتمال ۱ درصد). مقادیر صفات مکانیکی نیروی گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی، انرژی جذب‌شده تا نقطه گسیختگی در سه جهت بارگذاری (X، Y و Z)، به ترتیب در جداول ۱۱ تا ۱۳ نشان داده شده‌اند.

اوزدمیر و اکیسی (۱۶) است. مقدار سرعت حد در آزمون مربوطه، به تاثیر توام دو عامل جرم مخصوص دانه فندق و سطح رویارویی آن با هوای در حال جریان بستگی دارد. بنابراین، نتیجه متفاوت این تحقیق با نتیجه آزمایش اوزدمیر و اکیسی (۱۶)، احتمالاً به این تفاوت‌ها در ارقام مورد آزمایش در دو تحقیق مربوط می‌شود.

بین جرم مخصوص ظاهری و تخلخل فندق در ارقام مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). بر این اساس، جرم مخصوص ظاهری ارقام مورد بررسی در این مطالعه از ۴۱۱/۵۸ تا ۴۷۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. جرم مخصوص ظاهری فندق رقم آذربایجانی در رطوبت ۴/۲۷ درصد بر پایه تر، ۴۰۹/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش گردید که این مقدار بسیار نزدیک به جرم مخصوص رقم بادامی (۴۱۱/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در استان گیلان است (۱۴). همچنین جرم مخصوص ظاهری میوه یا مغز فندق رقم آذربایجانی ۴۱۵/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش گردید که این رقم از حداقل مقدار به دست آمده در این تحقیق یعنی ۴۷۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب برای میوه رقم گرد کمتر است (جدول ۹).

و Z اختلاف معنی داری وجود نداشت؛ اما در رقم بادامی، مقدار این نیرو در راستای بارگذاری طولی (محور X) به شکل معنی داری از جهات بارگذاری عرضی و ضخامت (به ترتیب Y و Z) بیشتر بود. مقدار نیروی گسیختگی فندق رقم کشاورزی نیز در راستای محور طولی یا X به شکل معنی داری از جهت Z بیشتر بود.

نیروی شکست یا گسیختگی بیانگر حداقل نیروی لازم برای پوست کنی میوه‌ها و یا شکستن پوسته فندق‌هاست (۲۳). بر اساس نتایج جدول ۱۱، نیروی گسیختگی فندق ارقام مورد بررسی در جهت بارگذاری X از ۳۱۸/۶۹ تا ۴۲۲/۹۴ نیوتن، در جهت بارگذاری Y از ۳۱۳/۱۶ تا ۳۸۸/۰۴ نیوتن و در جهت بارگذاری Z نیز از ۲۷۶/۱۹ تا ۳۳۶/۱۴ نیوتن متغیر بود. بین نیروی گسیختگی فندق رقم گرد در سه جهت بارگذاری X، Y

جدول (۱۰) میانگین مربعات (MS) داده‌های خواص مکانیکی فندق تحت تاثیر رقم و جهت بارگذاری
Table (10) Mean squares (MS) for mechanical properties of hazelnut as affected by cultivar and direction of loading

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (df)	تغییر شکل (Deformation)	نیروی گسیختگی (Rupture force)	انرژی جذب شده (Energy absorbed)	سختی (Hardness)
تیمار ^۱ (Treatment)	8	0.1672**	11536.47**	21402.79**	1713.80 ^{ns}
خطای آزمایشی (Error)	36	0.0510	1704.30	3339.40	1595.90
ضریب تغییرات (C.V.)		15.27%	12.12%	22.18%	16.91%

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار * معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: nonsignificant * significant at P<0.05 ** significant at P<0.01

^۱ تیمارها شامل ۹ تیمار (رقم گرد با جهت بارگذاری X، رقم گرد با جهت بارگذاری Y، رقم گرد با جهت بارگذاری Z، رقم بادامی با جهت بارگذاری X، رقم بادامی با جهت بارگذاری Y، رقم بادامی با جهت بارگذاری Z، رقم کشاورزی با جهت بارگذاری X، رقم کشاورزی با جهت بارگذاری Y، رقم کشاورزی با جهت بارگذاری Z) Treatments include nine combined treatments of hazelnut cultivar of Gerd with loading direction x, Gerd with loading direction y, Gerd with loading direction z, Badami with loading direction x, Badami with loading direction y, Badami with loading direction z, Keshavarzi with loading direction x, Keshavarzi with loading direction y, Keshavarzi with loading direction z.

جدول (۱۱) مقایسه میانگین‌های صفت نیروی گسیختگی ارقام فندق تحت بارگذاری در جهات مختلف (x, y و z)
Table (11) Comparison of means for rupture force values of hazelnut cultivars as affected by different directions of loading (x, y, z)

نیروی گسیختگی ^۱ (N)			رقم فندق (Hazelnut cultivar)
Rupture force, N			
جهت بارگذاری Z (Loading direction z)	جهت بارگذاری Y (Loading direction y)	جهت بارگذاری X (Loading direction x)	
298.42 cd	313.16 cd	318.69 cd	گرد (Gerd)
276.19 d	327.15 cd	386.06 ab	بادامی (Badami)
336.14 bc	388.04 ab	422.94 a	کشاورزی (Keshavarzi)

^۱ اعداد با حروف مشترک، اختلاف معنی دار (LSD, P<0.05) ندارند.

Numbers followed by the same letters are not significantly different (LSD, P<0.05).

بود. همچنین نیروی گسیختگی رقم کشاورزی در جهات بارگذاری X و Y در رقم کشاورزی به شکل معنی داری از هر دو رقم فندق بومی گرد و بادامی بیشتر بود. این موضوع بیانگر آن است که در مجموع برای شکستن فندق اصلاح شده کشاورزی نیاز به نیروی بیشتری است.

بر اساس نتایج جدول ۱۲ نیز میزان تغییر شکل تا نقطه گسیختگی ارقام مورد بررسی در جهت بارگذاری X از ۱/۴۹ تا ۱/۷۸ میلی‌متر، در جهت بارگذاری Y از ۱/۳۱ تا ۱/۷۱ میلی‌متر و در جهت بارگذاری Z نیز از ۱/۲۳ تا ۱/۴۰ میلی‌متر متغیر بود. در ضمن، مقدار این صفت تنها در مورد رقم کشاورزی و فقط در جهت بارگذاری عرضی (Y)، به شکل معنی داری از سایر ارقام بیشتر بود. بررسی نتایج تحقیق اریسلی و همکاران (۹) نشان می‌دهد که تغییر شکل تا نقطه گسیختگی ارقام ترک مورد بررسی آنها، از ۱/۱۶ تا ۱/۷۶ میلی‌متر متغیر بود. در مطالعه کرمانی (۱۲) نیز تغییر شکل تا نقطه شکست یا گسیختگی پوست فندق رقم قزوینی در جهات بارگذاری X و Y (به ترتیب ۲/۴۶ و ۲/۵۵ میلی-متر) به شکل معنی داری از تغییر شکل در جهت بارگذاری Z (۱/۹۶ میلی‌متر) بیشتر بود.

در مطالعه اریسلی و همکاران (۹) نیز نیروی گسیختگی در جهت بارگذاری محور طولی (X) برای هر ۱۲ رقم ترک مورد مطالعه آنها بیشتر از مقدار آنها در جهت محور عرضی (Y) بود. اگرچه به دلیل تجزیه واریانس جداگانه برای هر یک از جهات بارگذاری در مطالعه آنها، نمی‌توان از معنی دار بودن این اختلافات، اطمینان حاصل نمود. در مطالعه کرمانی (۱۲) نیز نیروی شکست رقم قزوینی در جهت محور X (۳۷۲/۷۷ نیوتن) به شکل معنی داری از نیروی شکست یا گسیختگی در جهات Y و Z (به ترتیب ۲۹۱/۲۲ و ۲۷۹/۰۴ نیوتن) بیشتر بود. با توجه به وجود اختلاف معنی دار در نیروی گسیختگی فندق‌های ارقام مختلف، طراحی ماشین‌های فندق‌شکن یا پوست کن فندق باید بر اساس حداکثر نیروی گسیختگی لازم انجام گیرد. همچنین، نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهد که در هر یک از جهات بارگذاری، بین نیروی گسیختگی ارقام مختلف فندق نیز اختلافات معنی داری وجود داشت. مقادیر نیروی گسیختگی فندق‌های کشاورزی و بادامی در جهت بارگذاری X (به ترتیب ۴۲۲/۹۴ و ۳۸۶/۰۶ نیوتن) به شکل معنی داری از مقدار نیروی گسیختگی رقم گرد در راستای محور طولی (۳۱۸/۶۹ نیوتن) بیشتر

جدول (۱۲) مقایسه میانگین‌های صفت تغییر شکل نهایی ارقام فندق تحت بارگذاری در جهات مختلف (x, y و z)
Table (12) Comparison of means for final deformation at rupture point of hazelnut cultivars as affected by different directions of loading (x, y, z)

تغییر شکل در نقطه گسیختگی ^۱ (mm)			رقم فندق (Hazelnut cultivar)
(Deformation at rupture point, mm)			
جهت بارگذاری Z (Loading direction z)	جهت بارگذاری Y (Loading direction y)	جهت بارگذاری X (Loading direction x)	
1.36 cd	1.46 bcd	1.58 abc	گرد (Gerd)
1.23 d	1.31 cd	1.49 abcd	بادامی (Badami)
1.40 cd	1.71 ab	1.78 a	کشاورزی (Keshavarzi)

^۱ اعداد با حروف مشترک، اختلاف معنی دار (LSD, P<0.05) ندارند.

Numbers followed by the same letters are not significantly different (LSD, P<0.05).

برای فندق رقم گرد، بین مقادیر انرژی جذب شده در جهات مختلف بارگذاری، اختلاف معنی داری وجود نداشت. این موضوع می تواند به تقارن ابعادی این رقم فندق مربوط باشد. در مورد فندق رقم کشاورزی، مقدار انرژی گسیختگی در جهات بارگذاری X و Y به شکل معنی داری بیشتر از جهت بارگذاری Z بود. انرژی جذب شده در جریان شکستن فندق های ترک مورد تحقیق ارسیسلی و همکاران (۹)، در جهت محور Y از جهت بارگذاری X کمتر بود. البته با توجه به تجزیه واریانس مجزای داده های بارگذاری در جهات محورهای X و Y، نمی توان در خصوص معنی دار بودن یا نبودن این اختلافات در مطالعه آنها، با اطمینان نظر داد. انرژی جذب شده تا لحظه گسیختگی در برآورد توان مکانیکی لازم در دستگاه های فندق شکن کاربرد دارد.

تغییر شکل در نقطه گسیختگی می تواند برای تعیین حداقل فاصله سطوح فشار در ماشین های پوست کن میوه ها و فندق ها، کاربرد داشته باشد (۲۳). یکی از روش های مکانیکی قابل به کارگیری در عملیات شکستن پوسته فندق، استفاده از پوست گیری غلتکی است. در این روش، تنظیم فاصله غلتک ها جهت عبور سالم میوه های فندق بسیار مهم است. بدیهی است که اطلاعات تغییر شکل پوسته فندق در لحظه گسیختگی، در تنظیم این فاصله بسیار مهم و کاربردی است.

بر اساس نتایج جدول ۱۳، مقدار انرژی جذب شده تا نقطه گسیختگی یا شکست پوست فندق ها در این تحقیق، در جهت بارگذاری X از ۲۵۸/۱۱ تا ۳۷۹/۸۹ نیوتن متر، در جهت بارگذاری Y از ۲۱۹/۴۱ تا ۳۳۷/۶۳ نیوتن متر و در جهت بارگذاری Z نیز از ۱۷۶/۱۴ تا ۲۳۹/۹۰ نیوتن متر متغیر بود. بر اساس نتایج جدول ۱۲،

جدول (۱۳) مقایسه میانگین های صفت انرژی جذب شده ارقام فندق تحت بارگذاری در جهات مختلف (x, y و z)
Table (13) Comparison of means for energy absorbed of hazelnut cultivars as affected by different directions of loading (x, y, z)

انرژی جذب شده ^۱ (N-m)			رقم فندق (Hazelnut cultivar)
(Energy absorbed, N-m)			
جهت بارگذاری Z (Loading direction z)	جهت بارگذاری Y (Loading direction y)	جهت بارگذاری X (Loading direction x)	
204.64 <i>de</i>	236.08 <i>cde</i>	258.11 <i>cd</i>	گرد (Gerd)
176.14 <i>e</i>	219.41 <i>cde</i>	293.51 <i>bc</i>	بادامی (Badami)
239.90 <i>cde</i>	337.63 <i>ab</i>	379.89 <i>a</i>	کشاورزی (Keshavarzi)

^۱ اعداد با حروف مشترک، اختلاف معنی دار (LSD, P<0.05) ندارند.

Numbers followed by the same letters are not significantly different (LSD, P<0.05).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که فندق اصلاح شده کشاورزی که توسط مروجین کشاورزی در منطقه اشکورات رودسر در استان گیلان توصیه می‌شود، از نظر مواد و عناصر غذایی، امتیاز قابل توجهی نسبت به ارقام بومی گرد و بادامی ندارد. با توجه بازارپسندی بیشتر ارقام گرد و درشت، ضروری است ویژگی‌های ارقام ترک با کرویت بالا نظیر پالاز و تامبول که از محتوای پروتئین و عناصر معدنی خوبی نیز برخوردارند، به عنوان جایگزینی مناسب برای ارقام بومی در باغات فندق قدیمی استان گیلان، مورد توجه محققان قرار گیرد. ضروری است در این مطالعات، کرویت بیشتر ارقام جایگزین فندق و میوه آن‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. کرویت بیشتر، عملیات فرآوری همچون فندق‌شکنی و حذف رویه الیافی میوه

آن را تسهیل می‌کند. به علاوه، تنظیمات دستگاه‌های مربوطه راحت‌تر و نتیجه‌بخش‌تر خواهد بود. همچنین داده‌های خواص مکانیکی شامل نیرو، انرژی شکست و تغییر شکل تا نقطه گسیختگی ارقام فندق گرد، بادامی و کشاورزی مورد مطالعه در این تحقیق، می‌توانند مبنایی برای طراحی ماشین‌های فندق-شکن در استان گیلان باشند.

سپاس‌گزاری

نویسنده مقاله از همکاری صمیمانه پرسنل بخش فنی و مهندسی موسسه تحقیقات برنج کشور، دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی و پارک و علم و فناوری گیلان به خاطر مساعدت در انجام آزمایش‌های این تحقیق قدردانی می‌نماید.

منابع

1. Ackurt, F., Ozdemir, M., Biringen, G., and Loker, M. 1999. Effects of geographical origin and variety on vitamin and mineral composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties cultivated in Turkey. *Food Chemistry*, 65: 309–313.
2. Akcali, I.D., Ince, A., and Guzel, E. 2006. Selected physical properties of peanuts. *International Journal of Food Properties*, 9: 25-37.
3. Altuntas, E., and Ozkan, Y. 2008. Physical and mechanical properties of some walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *International Journal of Food Engineering*, 4(4): 1-16.
4. Anonymous. 2011. Nuts and seeds in health and disease prevention / edited by Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson, Vinood B. Patel. Available online: <http://ezproxy.cput.ac.za/login?url=http://www.dawsonera.com/depp/reader/protected/external/AbstractView/S9780123756893> (assessed December 2014).
5. Anonymous. 2012. Trade promotion organization of Iran (TPO). 2012. Available from: <http://www.fa.tpo.ir> (assessed January 2015).
6. AOAC. 1990. Official methods of analysis. Volume 1, 15th edition. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists pp: 348.
7. Aydin, C. 2002. Physical Properties of Hazel Nuts. *Biosystems Engineering*, 82(3): 297-303.
8. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Ministry of Agriculture, Organization Research, Education and Promotion, Institute of soil and water, pp: 124.

9. Ercisli, S., Ozturk, I., Kara, M., Kalkan, F., Seker, H., Duyar, O., and Erturk, Y. 2011. Physical properties of hazelnuts. *International Journal of Agrophysics*, 25: 115-121.
10. FAOSTAT. 2012. FAO, www.fao.org. (assessed December 2014).
11. Guner, M., Dursun, E., and Dursun, I.G. 2003. Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading. *Biosystems Engineering*, 85: 485-491.
12. Kermani, A.M. 2012. Some physical and mechanical properties of hazelnut and its kernel. *Iran Research Journal of Food Sciences and Technology*, 4(2): 69-78.
13. Kibar, H., and Ozturk, T. 2009. The effect of moisture content on the physico-mechanical properties of some hazelnut varieties. *Journal of Stored Products Research*, 45: 14-18.
14. Maleki, M., Milani, J., and Motamed-zadegan, A. 2013. Some Physical Properties of Azarbayejani Hazelnut and Its Kernel. *International Journal of Food Engineering*, 9(1):135-140.
15. Mohsenin, N.N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Press, New York, USA, pp: 742.
16. Ozdemir, F., and Akinci, I. 2004. Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63: 341–347.
17. Ozdemir, M., Ackurt, F., Kaplan, M., Yildiz, M., Loker, M., Gurcan, T., Biringen, G., Okay, A., and Seyhan, F.G. 2001. Evaluation of new Turkish hybrid hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties: fatty acid composition, a-tocopherol content, mineral composition and stability. *Food Chemistry*, 73: 411–415.
18. Parcerisa, J., Richardson, D.G., Rafecas, M., Codoni, R., and Boatella, S. 1998. Fatty acid, tocopherol and sterol content of some hazelnut varieties (*Corylus avellaana* L.) harvested in Oregon (USA). *Journal of Chromatography*, 805: 259–268.
19. Pershern, A.S., Breene, W.M., and Lulai, E.C. 1995. Analysis of factors influencing lipid oxidation in hazelnuts (*Corylus* sp.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 19: 9–25.
20. Rasekh, M., and Majdi, R. 2012. Some mechanical properties of garlic. *Quarterly of sciences and food industries*, 34(9): 53-63.
21. SAS Institute. 2004. SAS Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
22. Singh, G., and Thongsawatwong, P. 1983. Evaluation and modification of two peanut shellers. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 14(3): 33-40.
23. Sirisomboon, P., Kitchaiya, P., Pholpho, T., and Mahuttanyavanitch, W. 2007. Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. *Journal of Food Engineering*, 97: 201-207.

24. Sitkei, G. 1986. Mechanics of agricultural materials. Budapest: Akademiai Kiado, pp: 485.
25. Üstün, N.S., and Turhan, S. 1996. Research on technological characteristics of hazelnuts grown in middle and east Black Sea coast. National Symposium on Hazelnuts Nuts and Fruits, Samsun, Turkey, pp: 169–170.