

اثر محتوای رطوبتی بر برخی خواص فیزیکی زرشک

احسان ولایتی^{۱*} - باقر عمادی^۲ - مهدی خجسته پور^۳ - محمد حسین سعیدی راد^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۶

چکیده

به منظور ارتقای سطح مکانیزاسیون در عملیات برداشت و فرآوری میوه زرشک بی دانه بعنوان یکی از محصولات بومی و اساسی استان خراسان جنوبی، برخی خواص فیزیکی آن شامل ابعاد، قطر متوسط هندسی، ضریب کرویت، سطح رویه، جرم هزار دانه، چگالی واقعی، چگالی توده، تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیک و زوایای استقرار مورد تحقیق قرار گرفت. مطالعه این خواص تحت تاثیر تغییرات محتوای رطوبتی میوه بر آن‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. تحلیل داده‌ها نشان داد که تغییر محتوای رطوبت، در سطح احتمال ۵٪ موجب تغییر معنی دار تمامی پارامترها به جز ضریب اصطکاک بر سطح چوب و پلی اتیلن می‌شود. طول، عرض، ضخامت، قطر متوسط هندسی، سطح رویه، ضریب کرویت، جرم هزار دانه و چگالی توده با کاهش محتوای رطوبتی، کاهش و چگالی واقعی میوه، تخلخل، زوایای استقرار و ضرایب اصطکاک بر سطوح مختلف به جز چوب و پلی اتیلن با کاهش رطوبت افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکی، زرشک، محتوای رطوبتی

مقدمه^۱

ریشه این گیاه با ارزش، در معالجه بسیاری از بیماری‌ها، از جمله بیماری پسروریازیس (نوعی بیماری پوستی)، اعتیاد، فیبروز، پلاک دندان و بسیاری از بیماری‌های دیگر، کاربرد دارد ۹۵ درصد زرشک کشور در خراسان جنوبی تولید می‌شود. تولید سالانه زرشک خشک بیش از ۸۴۰۰ تن بوده که از سطح ۶۴۴۲ هکتار اراضی باغی به دست می‌آید (Filabi and Khaghani, ۲۰۰۸).

از آنجایی که کشورمان تنها تولید کننده زرشک بی دانه در دنیا می‌باشد و با توجه به اهمیت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و همچنین کاربردهای فراوان این محصول در زمینه‌های مختلف از مصارف و فرآورده‌های مختلف غذایی گرفته تا فواید دارویی توجه به گسترش صادرات و توسعه بازار این محصول می‌تواند علاوه بر اینکه درآمد ارزی فراوانی نصیب کشورمان نماید در ایجاد اشتغال پایدار و جلوگیری از مهاجرت روستائیان نقش بسزایی داشته باشد. به همین لحاظ بررسی روش‌های افزایش تولید، کاهش ضایعات، بهبود کیفیت و ارائه روش‌های نوین فرآوری و عملیات پس از برداشت از اهمیت خاصی برخوردار است. تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی برای طراحی تجهیزات برداشت و پس از آن شامل دستگاه‌های انتقال، جداسازی، شستشو، فرآوری، بسته بندی و انبارداری امری ضروری می‌باشد که تاکنون توسط محققان متعددی برای انواع محصولات تحقیق و گزارش گردیده است. تنها نتایج منتشر شده در خصوص خواص فیزیکی زرشک، متعلق به میوه زرشک محصول منطقه کرج

زرشک بی دانه، از جمله درختچه‌های مقاومی است که قابلیت رشد و تولید در زمین‌های کم بهره با آب شور را دارا است. میوه زرشک تاکنون به عنوان یک محصول قابل فرآوری، یا برای مصرف تازه خوری، به دنیا معرفی نشده است. شناخت سایر کشورها از زرشک، فقط در حد یک گیاه دارویی و زینتی است. در ایران همه ساله و فقط در هنگام فصل برداشت در استان‌های خراسان و تا حدودی تهران، میوه زرشک به صورت تازه و به میزان بسیار کم عرضه می‌شود. در بقیه فصول سال به صورت خشک و به عنوان یک افزودنی، برای غذاهای سنتی، یا برای تزئین غذا و یا دسر مورد مصرف قرار می‌گیرد. اما تولید سایر فرآورده‌های آن، نظیر شربت یا مربای زرشک، در مناطق جنوبی خراسان و به ویژه، در بیرجند و قاین و حتی در نیشابور مرسوم است و به صورت سنتی انجام می‌گیرد (Kafi and Balandari, ۲۰۰۲).

زرشک بی دانه به دلیل رنگ و طعم مطلوب آن در انواع مختلف غذاهای ایرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عصاره حاصل از پوست و

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email :ehsanvelayat@yahoo.com)

۴- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

گرم نشد این کار ادامه پیدا کرد. در نهایت درصد محتوای رطوبتی (U) بر مبنای تر با استفاده از وزن نمونه اولیه ($G_w + G_{dm}$) و وزن نمونه خشک شده (G_{dm}) بر طبق معادله (۱) محاسبه شد (Aghbashlo *et al.*, ۲۰۰۸).

$$U = \frac{G_w}{(G_w + G_{dm})} \times 100 \quad (1)$$

که در آن G_w وزن آب موجود در نمونه می باشد. متوسط رطوبت میوه زرشک برای ۳ تکرار ۷۵/۸ درصد تعیین شد و برای انجام آزمایش‌های خواص فیزیکی چهار گروه بر اساس محتوای رطوبتی از نمونه اولیه در دامنه رطوبتی ۷۰ تا ۷۶ درصد، ۴۵ تا ۵۰ درصد، ۲۵ تا ۳۰ درصد و ۷ تا ۱۰ درصد آماده و آزمایش‌ها انجام شد.

تعیین خصوصیات فیزیکی

خواص ابعادی

ابعاد ۱۰۰ عدد نمونه توسط کولیس دیجیتال با دقت ± 0.1 میلی‌متر در سه جهت طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) اندازه گیری شد. با توجه به شباهت شکل بیضوی میوه زرشک با مدل هندسی بیضی گون، حجم میوه با استفاده از معادله (۲) محاسبه گردید (Fathollahzadeh *et al.*, ۲۰۰۸):

$$V = \frac{\pi}{6} LWT \quad (2)$$

قطر متوسط هندسی (D_g)، سطح رویه، ضریب کرویت به ترتیب با استفاده از روابط ۳ تا ۵ به شرح ذیل اندازه گیری شد (Razavi and Akbari, ۲۰۰۶):

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

$$S_a = \pi D_g^2 \quad (4)$$

$$\phi = \frac{D_g}{L} \quad (5)$$

خواص ثقلی

با اندازه گیری جرم صد دانه توسط ترازوی دیجیتال (مدل AND ۶۰۰۰ ساخت چین) با دقت ± 0.1 گرم و ضرب آن در عدد ۱۰ جرم هزار دانه محاسبه شد (Akinci *et al.*, ۲۰۰۴). چگالی توده (ρ_B) با تقسیم جرم حجم معینی از محصول به حجم آن محاسبه شد، بدین ترتیب که محصول از ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متری در داخل ظرفی با حجم ۵۰۰ سانتی متر مکعب ریخته شد و پس از پر شدن ظرف سطح آن بدون کمترین اعمال فشاری صاف گردید و سپس جرم محصول داخل ظرف به طور خالص اندازه گیری شد که از تقسیم این مقدار بر

است که در پنج طیف محتوای رطوبتی میوه مورد بررسی قرار گرفته است (Fathollahzadeh *et al.*, ۲۰۰۸). آن‌ها با انجام آزمایش در رطوبت‌های ۸۹/۲۳، ۷۰/۱۱، ۵۳/۱۱، ۳۸/۰۹ و ۱۲/۶۴ گزارش کرده اند که با افزایش رطوبت، سطح مقطع، ضریب کرویت، وزن، چگالی واقعی، چگالی توده، حجم و ضریب اصطکاک استاتیکی میوه زرشک افزایش و تخلخل آن کاهش می یابد. از آنجایی که تولید عمده زرشک ایران متعلق به استان خراسان جنوبی می باشد و ممکن است خصوصیات فیزیکی متفاوتی با زرشک بومی منطقه کرج داشته باشد، به همین لحاظ در این پژوهش کلیه خواص فیزیکی مورد نیاز زرشک بی دانه بومی خراسان مورد تحقیق قرار گرفت. خواص فیزیکی شامل ابعاد، قطر متوسط، ضریب کرویت، سطح رویه، جرم هزار دانه، چگالی دانه، چگالی توده، ضریب اصطکاک استاتیک و زوایای استقرار بوده که در دامنه متفاوت رطوبتی (۷ تا ۷۶ درصد بر پایه تر) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه ها

میوه زرشک محصول منطقه بیرجند همراه با شاخه و برگ از بازار تهیه و به مدت یک هفته در دمای ۵ درجه سانتی گراد در یخچال آزمایشگاهی نگهداری شد. مقدار محصول لازم برای هر آزمایش به صورت دستی جدا و از وجود مواد خارجی پاکسازی شد. برای انجام هر سری از آزمایشات، نمونه ها به مدت یک ساعت زودتر از یخچال آزمایشگاهی خارج و در دمای اتاق ($25^{\circ}C$) نگهداری شد (ASAE, ۱۹۹۸). کلیه مراحل آزمایش خواص فیزیکی به جز تعیین محتوای رطوبتی محصول در آزمایشگاه گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت و تعیین محتوای رطوبتی میوه در آزمایشگاه بخش فنی مهندسی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی خراسان رضوی انجام گردید. کلیه آزمایشات در پاییز ۱۳۸۷ به انجام رسید.

تعیین محتوای رطوبتی محصول

برای تعیین محتوای رطوبت محصول از آون فن دار (مدل Memmert ۶۰۰، ساخت آلمان) استفاده گردید. در حدود ۲۰ گرم میوه زرشک در ظرف مخصوص که قبلاً وزن شده بود قرار گرفت و در آون با درجه حرارت $2^{\circ}C \pm 10.5$ قرار داده شد، پس از ۴ ساعت نمونه ها به همراه ظرف از آون خارج و در دیسیکاتور سرد شد و پس از توزین مجدد با ترازوی دیجیتال (مدل GEC AVERY ساخت انگلیس) با دقت $0.1/0.1$ گرم، در آون با همان دما قرار گرفت و تا زمانی که اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از خشک شدن، کمتر از ۰/۵

یکدیگر به حالت طبیعی فراهم شود. زاویه استقرار پس از اندازه گیری ارتفاع دو نقطه شیب‌دار کپه و فاصله افقی بین این دو نقطه (شکل ۲ الف) و سپس جایگذاری در رابطه (۷) به دست آمد (Aviara *et al.*, ۲۰۰۲; Ogunjimi *et al.*, ۲۰۰۵):



شکل ۱- سطح شیب دار بکار رفته برای اندازه گیری ضریب اصطکاک استاتیکی

Fig. ۱- The applied inclined plane to measure static coefficient of friction

$$\theta_e = \tan^{-1} \left[\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} \right] \quad (7)$$

زاویه استقرار استاتیک (θ_s) نیز با استفاده از یک جعبه ثابت شده بر روی بازوی قابل چرخش حول محور افقی (شکل ۲ ب) و تعیین زاویه شروع به ریزش دانه ها به عنوان زاویه استقرار استاتیکی تعیین گردید (Olajide and Ade-Omowaye, ۱۹۹۹; Ghasemi *et al.*, ۲۰۰۸):

حجم ظرف، چگالی توده محصول محاسبه گردید (Deshpande *et al.*, ۱۹۹۳).

چگالی واقعی میوه (ρ_s) با استفاده از روش جایجایی تولوئن در مورد نمونه مشخصی از ماده با جرم معین انجام پذیرفت و به همین روش حجم تعداد معینی از محصول با توجه به اینکه جایجایی تولوئن حداقل ده برابر کوچکترین واحد اندازه گیری باشد (Razavi and Akbari, ۲۰۰۶) محاسبه شد.

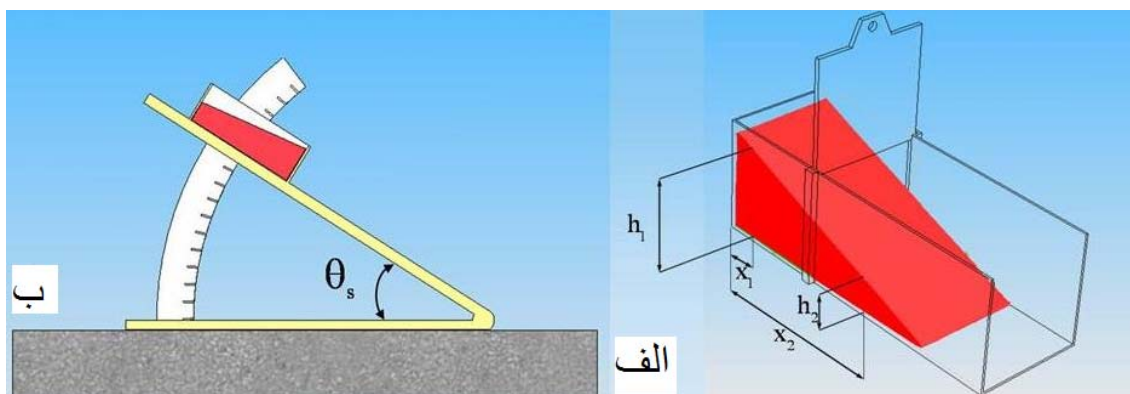
تخلخل (ε) که نشان دهنده درصد فضای خالی بین دانه های محصول است و دانستن آن در طراحی مواردی همچون انبار و خشک کن به منظور مطالعه جریان هوا و گرما ضروری می باشد (Mohsenin, ۱۹۸۶) با استفاده از رابطه ۶ بدست آمد:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_s} \quad (6)$$

خواص اصطکاکی

ضریب اصطکاک استاتیکی (μ) نمونه ها با استفاده از سطح شیب‌دار مجهز به پیچ قابل تنظیمی که با استفاده از آن می توان به تدریج شیب صفحه را افزایش داد (شکل ۱) اندازه گیری شد. آزمایشات بر روی سطوح آهن معمولی، آهن گالوانیزه نرم، آهن گالوانیزه زبر، آلومینیوم، چوب، لاستیک، کارت پلاست، شیشه، پلی اتیلن، یونولیت و کاغذ مقوای جعبه انجام شد. بدین منظور سطح شیب دار با ورق هایی از جنس های فوق پوشانده شده و قبل از تکرار هر آزمایش، سطح مزبور کاملاً تمیز می شد.

زاویه استقرار دینامیک (تخلیه) (θ_e) نیز با استفاده از جعبه ویژه ای که در جلو مجهز به یک درب کشویی است اندازه گیری شد. بدین ترتیب که ابتدا جعبه از محصول پر شده و سپس درب کشویی جلو به سرعت بالا کشیده شد تا امکان لغزیدن دانه های زرشک بر روی



شکل ۲- الف: جعبه مخصوص با درب کشویی جهت اندازه گیری زاویه استقرار دینامیکی، ب: روش اندازه گیری زاویه استقرار استاتیکی
Fig. ۲- A: Applied box with front sliding panel to measure the dynamic repose angle, B: the way of measurement of static repose angle

تحلیل آماری داده ها

خواص فیزیکی میوه زرشک شامل چگالی واقعی، چگالی توده و جرم هزار دانه در سه تکرار، ضریب اصطکاک استاتیک در تکرارهای نامساوی بیش از ۵ بار، زوایای استقرار دینامیک و استاتیک هر کدام در ۵ تکرار و ابعاد میوه و پارامترهای مربوط به آن نیز در نمونه های ۱۰۰ تایی و در ۴ دامنه متفاوت رطوبتی در قالب طرح بلوک تصادفی مورد آزمون قرار گرفت و نتایج بدست آمده توسط نرم افزار ۱۲ SPSS مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بر این اساس میانگین تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن مقایسه شد.

نتایج و بحث

خواص ابعادی

نتایج بدست آمده تجزیه واریانس خواص ابعادی شامل قطر بزرگ، قطر متوسط، قطر کوچک، قطر متوسط هندسی، سطح رویه و ضریب کرویت در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می شود که در تمام موارد، خواص دارای اختلاف معنی دار در دامنه های رطوبتی مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ هستند. همچنین با توجه به داده های جداول ۲ و ۳ می توان به خوبی

مشاهده کرد که با کاهش محتوای رطوبتی در میوه زرشک مقادیر بدست آمده برای تمامی این خواص کاهش می یابد. میانگین طول و عرض میوه زرشک با کاهش محتوای رطوبتی کاهش می یابد این مقدار برای طول از ۱۰/۳۱ میلی متر به ۸/۹۴ میلی متر و برای عرض میوه از ۶/۴۹ میلی متر به ۵/۴۱ میلی متر کاهش می یابد. این کاهش مقادیر را برای زرشک محلی کرج به ترتیب برای طول، عرض و ضخامت ۱۲/۰۱ تا ۸/۱۱، ۵/۸۱ تا ۱/۸۱ و ۵/۷۵ تا ۱/۷۹ میلی متر گزارش شده است (Fathollahzadeh *et al.*, ۲۰۰۸). در بین ابعاد، ضخامت، نزول یکنواختی را با کاهش رطوبت از خود نشان داد به طوری که این مقدار از میانگین ۶/۱۲ میلی متر به ۳/۱۷ میلی متر تقلیل می یابد و به همین صورت میزان ضخامت در هر رطوبت با میزان ضخامت در رطوبت قبلی اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ دارد و با توجه به عدم وجود اختلاف معنی دار در مورد طول در رطوبت سوم و چهارم و همچنین در مورد عرض در رطوبت های دوم و سوم می توان نتیجه گرفت که کاهش رطوبت اثر بیشتری بر ضخامت میوه نسبت به دو بعد دیگر دارد که این رفتار دانه زرشک بایستی در طراحی و کاربرد ماشین های جداسازی و اندازه بندی دانه های زرشک مد نظر قرار گیرد.

جدول ۱ - تجزیه واریانس خواص ابعادی میوه زرشک

Table 1. The variance analysis of dimensional properties of berberis

میانگین مربعات		منابع تغییرات		
قطر کوچک	قطر متوسط	قطر بزرگ	درجه آزادی	
۱۵۴/۶۶**	۲۰/۳۹**	۳۸/۶۲۷**	۳	بین گروه ها
۰/۴۰۳	۰/۴۵۶	۰/۳۱۹	۳۹۶	داخل گروه ها
	سطح رویه	قطر متوسط هندسی	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۲۶۰**	۱۲۸۰۶۴/۴۴۵**	۷۹/۹۵۵**	۳	بین گروه ها
۰/۰۰۲	۴۴/۳۷۷	۰/۲۰۸	۳۹۶	داخل گروه ها

***- معنی داری در سطح احتمال ۱٪ را نشان می دهد

جدول ۲ - نتایج مقایسه میانگین طول، عرض و ضخامت میوه زرشک در رطوبت های مختلف

Table 2. Mean comparison of length, width and thickness of berberis in various levels of moisture contents

محتوای رطوبتی بر حسب درصد ماده تر				پارامتر آماری	مشخصه آماری
۷-۱۰	۲۵-۳۰	۴۵-۵۰	۷۰-۷۶		
۸/۹۴ ^a	۹/۶۷ ^a	۱۰/۱۸ ^b	۱۰/۳۱ ^c	میانگین	طول (میلی متر)
۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۰	۰/۴۹	انحراف معیار	
۵/۴۱ ^a	۵/۹۰ ^b	۶/۰۶ ^b	۶/۴۹ ^c	میانگین	عرض (میلی متر)
۰/۷۷	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۶۸	انحراف معیار	
۳/۱۷ ^a	۴/۶۶ ^b	۵/۲۸ ^c	۶/۱۲ ^d	میانگین	ضخامت (میلی متر)
۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۵۹	۰/۶۳	انحراف معیار	

حروف لاتین مشابه در ردیف ها نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۱ است

جدول ۳ - نتایج مقایسه میانگین قطر متوسط هندسی، سطح رویه و ضریب کرویت زرشک در رطوبت‌های مختلف

Table ۳. Mean comparison of geometrical diameter, surface area and sphericity of berberis in various levels of moisture contents

محتوای رطوبتی بر حسب درصد ماده تر				پارامتر آماری	مشخصه آماری
۷-۱۰	۲۵-۳۰	۴۵-۵۰	۷۰-۷۶		
۵/۳۱ ^a	۶/۴۰ ^b	۶/۸۷ ^c	۷/۴۲ ^d	میانگین	قطر متوسط هندسی (میلی متر)
۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۵۹	انحراف معیار	
۸۹/۱۷ ^a	۱۲۹/۳۵ ^b	۱۴۸/۷۸ ^c	۱۷۳/۹۹ ^d	میانگین	سطح رویه (میلی متر مربع)
۱۳/۴۲	۱۵/۶۳	۱۸/۴۳	۲۷/۳۰	انحراف معیار	
۰/۶۰ ^a	۰/۶۶ ^b	۰/۶۷ ^b	۰/۷۲ ^c	میانگین	ضریب کرویت
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	انحراف معیار	

حروف لاتین مشابه در ردیف‌ها نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۱ است

دانه برای زرشک منطقه خراسان از ۰/۱۶ به ۰/۰۵ گرم می باشد. چگالی واقعی میوه که به عنوان یکی از پارامتر مهم در طراحی ماشین‌های جداسازی ترسیبی و گریز از مرکز به کار می رود (Razavi and Akbari, ۲۰۰۶) برخلاف موارد مذکور قبلی با کاهش رطوبت (۷۶) از به ۷ درصد بر پایه تر، افزایش نشان داد و از ۰/۷۳ به ۰/۹۳ گرم بر سانتیمتر مکعب رسید. میزان تغییرات چگالی واقعی و چگالی توده در مورد زرشک بومی کرج به ترتیب ۱/۹۵ تا ۱/۳۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و ۱/۲۴ تا ۰/۷ گرم بر سانتی متر مکعب در ازای کاهش رطوبت از ۸۹/۲۳ درصد به ۱۲/۶۴ درصد (بر پایه تر) گزارش شده است (Fathollahzadeh *et al.*, ۲۰۰۸). همانطور که در جدول ۵ قابل مشاهده است با کاهش رطوبت، چگالی توده با کاهش غیر خطی از ۰/۴۴ تا ۰/۳۶ گرم بر سانتی متر مکعب رسیده که بیشترین مقدار آن در دامنه رطوبتی ۴۵ تا ۵۰ درصد بر حسب پایه تر و به میزان ۰/۴۷ گرم بر سانتی متر مکعب گزارش شده است. محاسبات نشان داد که درصد تخلخل از ۳۸/۱۵ در دامنه رطوبتی ۷۰ تا ۷۶ به ۶۰/۹۶ در دامنه رطوبتی ۷ تا ۱۰ درصد (بر پایه تر) افزایش می یابد که برای زرشک بومی کرج نیز همزمان با کاهش محتوی رطوبتی، تغییرات افزایشی از ۳۷/۳۴ به ۴۸/۳۱ گزارش شده است (Fathollahzadeh *et al.*, ۲۰۰۸).

قطرهای متوسط حسابی، هندسی و سطح رویه به عنوان پارامترهای وابسته به سه بعد اصلی میوه زرشک نیز با کاهش رطوبت کاهش نشان دادند و این مقادیر به ترتیب، برای قطر حسابی از ۷/۶۴ میلی متر به ۵/۸۴ میلی متر، برای قطر هندسی از ۷/۴۲ میلی متر به ۵/۳۱ میلی متر و برای سطح رویه نیز از ۱۷۳/۹۹ به ۸۹/۱۷ میلی متر مربع تقلیل یافته اند. میزان کرویت زرشک نیز با کاهش رطوبت روندی نزولی نشان داد و میزان آن از ۷۲ به ۶۰ درصد تقلیل یافت. در تحقیقی که در همین موارد برای زرشک محصول منطقه کرج انجام شد کاهش قطر هندسی از ۷/۳۶ به ۲/۹۶ میلی متر، و همچنین تغییرات کاهشی سطح رویه و ضریب کرویت نیز به ترتیب از ۱۷۰/۱۳ به ۲۷/۶۹ و ۶۱/۴۶ به ۳۶/۶۱ گزارش شده است (Fathollahzadeh *et al.*, ۲۰۰۸).

خواص ثقلی

نتایج تجزیه واریانس خواص ثقلی میوه زرشک شامل جرم هزار دانه، چگالی واقعی میوه و توده در جدول ۴ نشان داده شده است. جرم هزار دانه با کاهش رطوبت از ۱۵۵/۹۳ گرم به ۵۰/۶۳ گرم تقلیل یافت. فتح الله زاده و همکاران نیز تغییرات مقدار وزن متوسط دانه را برای زرشک بومی کرج از ۰/۴۱ تا ۰/۱۲ گرم همراه با کاهش رطوبت گزارش کرده اند، که این مقدار با تبدیل جرم هزار دانه به جرم متوسط

جدول ۴ - نتایج تجزیه واریانس خواص ثقلی میوه زرشک

Table ۴. The variance analysis of gravity properties of berberis

میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	جرم هزار دانه	چگالی واقعی	چگالی توده
بین گروه‌ها	۳	۶۱۹۸/۹۳۷ ^{**}	۰/۰۲۲ ^{**}	۰/۰۰۶ ^{**}
داخل گروه‌ها	۸	۷۴/۱۱۹	.	.

** - معنی داری در سطح ۰/۰۱ را نشان می دهد

جدول ۵ - مقایسه میانگین خواص ثقلی میوه زرشک در رطوبت‌های مختلف به وسیله آزمون دانکن

Table ۵. Mean comparison of gravity properties of berberis in various levels of moisture contents

محتوای رطوبتی بر حسب درصد ماده تر				پارامتر آماری	مشخصه آماری
۷-۱۰	۲۵-۳۰	۴۵-۵۰	۷۰-۷۶		
۵۰/۶۳ ^a	۹۵/۹۷ ^b	۱۲۹/۵۸ ^c	۱۵۵/۹۳ ^d	میانگین	جرم هزار دانه (گرم)
۰/۸۰	۱/۱۷	۱۶/۸۰	۳/۵۱	انحراف معیار	
۰/۹۳ ^d	۰/۸۸ ^c	۰/۸۲ ^b	۰/۷۳ ^a	میانگین	چگالی متوسط واقعی دانه (گرم بر سانتی متر مکعب)
۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	انحراف معیار	
۰/۳۶ ^a	۰/۴۲ ^b	۰/۴۷ ^c	۰/۴۴ ^{bc}	میانگین	چگالی توده (گرم بر سانتی متر مکعب)
۰/۰۰	۰/۰۳۲	۰/۰۰	۰/۰۰	انحراف معیار	
۶۰/۹۶	۵۲/۶۶	۴۲/۵۷	۳۸/۱۵	میانگین	تخلخل (در صد)

حروف لاتین مشابه در ردیف‌ها نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است

خواص اصطکاکی

مخصوص کره)، Φ_r زاویه استقرار، M درصد رطوبت، D_{av} قطر متوسط، S جرم مخصوص و a, b, c و d مقادیر ثابت معادله هستند که برای هر محصول جداگانه محاسبه می‌شوند (Razavi and Akbari, ۲۰۰۶). در خصوص میوه زرشک به نظر می‌رسد چروکیده شدن میوه در رطوبت‌های پایین نسبت n را با شدت بیشتری افزایش داده است از طرف دیگر جرم مخصوص (S) افزایش و قطر متوسط (D_{av}) کاهش می‌یابد که در نهایت تاثیر عوامل افزایشنده بسیار بیشتر از عامل کاهش رطوبت (M) می‌گردد.

$$\tan\Phi_r = an^2 + b\frac{M}{D_{av}} + cs + d \quad (۸)$$

به هر حال بررسی این رفتار نیازمند اطلاعات بیشتری می‌باشد که می‌توان با انجام آزمایشات مشابه بر روی محصول زرشک مناطق دیگر به آن دست یافت.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده برای زوایای استقرار استاتیکی و دینامیکی در جدول ۶ نشان داده شده است. وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ در مورد هر کدام از زوایا به خوبی مشهود است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون چند دامنه-ای دانکن در جدول ۷ گزارش شده است. در اکثر تحقیقات انتشار یافته، زاویه استقرار با کاهش محتوی رطوبتی کاهش می‌یابد به عنوان مثال در مورد عدس این زاویه از $۲۸/۷۸$ به $۲۴/۸۰$ درجه (Amin et al., ۲۰۰۴) و نخود سبز از ۳۱ به $۲۶/۶$ درجه (Nimkar and Chattopadhyay, ۲۰۰۱) کاهش می‌یابد. اما در مورد میوه زرشک این روند تغییرات معکوس بود به طوری که از $۲۸/۰۲$ به $۴۱/۳۰$ افزایش یافت. برای توضیح این رفتار می‌توان به معادله تجربی ۸ مراجعه نمود که پاره ای از محققین برای محاسبه زاویه استقرار به عنوان تابعی از عوامل مختلف ارائه داده‌اند. در این رابطه n فاکتور شکل (نسبت سطح مخصوص ماده جامد به سطح

جدول ۶ - نتایج تجزیه واریانس زوایای استقرار میوه زرشک

Table ۶. The variance analysis of repose angles of berberis

میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	استقرار استاتیک	استقرار دینامیک
بین گروه‌ها	۳	۲۱۹/۴۹۶**	۳۶۷/۱۱۳**
داخل گروه‌ها	۱۶	۲۹/۹۵۰	۲۱/۲۱۳

** - معنی داری در سطح احتمال ۱٪ را نشان می‌دهد

جدول ۷ - زوایای استقرار

Table ۷. Repose angles of berberis

رطوبت	۷۰-۷۶	۴۵-۵۰	۲۵-۳۰	۷-۱۰
زاویه استقرار دینامیک (درجه)	$۲۸/۰۲ \pm ۳/۴۳^a$	$۳۶/۵۶ \pm ۷/۸۱^b$	$۴۴/۳۲ \pm ۳/۸۶^c$	$۴۱/۳۰ \pm ۲/۸۸^{bc}$
زاویه استقرار استاتیک (درجه)	$۴۷/۱۶ \pm ۱/۸۷^a$	$۵۵/۴۱ \pm ۸/۴۲^b$	$۶۱/۷۶ \pm ۳/۹۳^c$	$۶۱/۳۲ \pm ۳/۴۷^c$

حروف لاتین مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است

ضریب اصطکاک استاتیک میوه بر روی سطوح و در رطوبت‌های مختلف نیز بررسی گردید. نتایج در جداول ۸، ۹ و ۱۰ آورده شده است. رفتار اصطکاک محصل بر روی سطوح متفاوت روند یکسانی را نشان داد. در مورد چوب و پلی اتیلن هیچ اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ مشاهده نشد. ضریب اصطکاک استاتیک محصل بر روی چوب و پلی اتیلن به ترتیب با میانگین ۰/۷۴ و ۰/۴۳ بدست آمد. دلایل متعددی در خصوص این رفتار قابل طرح است. از جمله این که، آن چه ماهیت اصطکاک میوه را بر روی چوب تحت شعاع قرار می دهد داشتن ناهمواری‌های بزرگتر در چوب نسبت به ناهمواری‌های سطح میوه است که می توان فرض کرد که این ناهمواری‌های بزرگ مانع اثر ناهمواری‌های کوچک سطح میوه در بروز رفتار اصطکاک می شود، در واقع تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به واریانس داده ها بسیار ناچیز است و از نظر آماری بدون تفاوت معنی دار می باشد. در مورد پلی اتیلن نیز قابل ذکر است که خواص الکترواستاتیک آن تا حدی در نتایج آزمایش اثر گذاشته و مانع از بروز تغییر رفتار اصطکاک میوه شده اند. با توجه به داده های جدول ۱۰ مشاهده می شود که بعضی دیگر از مواد مورد استفاده در آزمون نیز تمایل چندانی برای تغییر ضریب اصطکاک استاتیکی نسبت به بقیه از خود نشان نداده و شامل تغییرات جزئی ولی در عین حال معنی داری در سطح احتمال ۱٪ بوده اند. با مقایسه میانگین هر کدام از این مواد می توان میانگین‌های آن ماده در رطوبت‌های مختلف را در دو کلاس اصطکاک رده بندی کرد، از جمله این مواد می توان به آهن معمولی، آهن گالوانیزه نرم، آهن ضد زنگ (استیل) و کارتن پلاست نام برد که ضرایب اصطکاک آن‌ها با کاهش محتوای رطوبتی به ترتیب از ۰/۵۲ به ۰/۶۵، ۰/۳۲ به ۰/۵۲، ۰/۶۲ به ۰/۷۸ و ۰/۴۹ به

۰/۵۹ افزایش می یابد. در دسته سوم که شامل آلومینیوم، لاستیک، شیشه، یونولیت، آهن گالوانیزه زبر و مقوای جعبه می شود می توان طبق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ (جدول ۱۰) میانگین ضرایب اصطکاک در رطوبت‌های مختلف را برای هر سطح آزمایشی در ۳ دسته، طبقه بندی کرد که این به معنی وجود تعداد میانگین‌های متفاوت بیشتر در بازه تغییرات رطوبتی زرشک است و بنابر همین مطلب، می توان شدت تغییرات ضریب اصطکاک به ازای تغییرات رطوبت را در این مواد نسبت به دسته های قبلی بیشتر دانست. محتوای رطوبت در این مواد به ترتیب از ۰/۵۶ به ۰/۷۷، ۰/۵۷ به ۰/۹۱، ۰/۴۱ به ۰/۵۷، ۰/۷۶ به ۱/۰۵، ۰/۴۳ به ۰/۵۶ و ۰/۶۴ به ۰/۶۷ افزایش یافت. مطلب دیگر آنکه دو ماده اخیر یعنی آهن گالوانیزه زبر و مقوای جعبه روندی کاملاً غیر خطی از خود نشان می دهند به طوری که بیشترین مقدار را در رطوبت دوم از خود بروز می دهند که به ترتیب برابر ۰/۷۰ و ۱/۰۷ است.

نتیجه گیری

تغییرات محتوای رطوبتی یکی از عوامل موثر در تغییر خواص فیزیکی میوه زرشک است به طوری که خواصی چون ابعاد میوه شامل قطر بزرگ، قطر متوسط، قطر کوچک، قطر متوسط هندسی، سطح رویه، ضریب کرویت، جرم هزار دانه و چگالی توده با کاهش محتوای رطوبتی کاهش و چگالی دانه، زوایای استقرار و ضرایب اصطکاک بر سطوح مختلف به جز چوب و پلی اتیلن با کاهش رطوبت افزایش یافت.

جدول ۸ - تجزیه واریانس ضرایب اصطکاک میوه زرشک بر سطوح چوب، آهن معمولی، آهن گالوانیزه نرم، آهن گالوانیزه زبر، آهن ضد زنگ و آلومینیوم

Table 8. The variance analysis of friction coefficient of berberis on planes of wood, iron, soft galvanized iron, rough galvanized iron, stainless steel and aluminum

سطح آزمایش	چوب	آهن معمولی	آهن گالوانیزه نرم	منبع تغییرات	سطح آزمایش	آهن گالوانیزه زبر	آهن ضد زنگ	آلومینیوم
درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی
۳	۰/۰۰۷ ^{ns}	۳	۰/۰۳۲ ^{**}	۳	۰/۰۹۵ ^{**}	۳	۰/۰۳۲ ^{**}	۳
۳۳	۰/۰۰۶	۳۸	۰/۰۰۴	۳۷	۰/۰۰۴	۳۳	۰/۰۰۳	۳۸
درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی
۳	۰/۰۹۵ ^{**}	۳	۰/۰۹۱ ^{**}	۳	۰/۰۹۹ ^{**}	۳	۰/۰۹۱ ^{**}	۳
۳۳	۰/۰۰۹	۳۴	۰/۰۰۳	۳۸	۰/۰۰۴	۳۳	۰/۰۰۳	۳۸

** - معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱ و ns عدم معنی داری را نشان می دهد

جدول ۹ - تجزیه واریانس ضرایب اصطکاک میوه زرشک بر سطوح لاستیک، کارتین پلاست، پلی اتیلن، شیشه، مقوای جعبه

Table 9. The variance analysis of friction coefficient of berberis on the planes of rubber, plastic, polyethylene, glass, unolit and box paper

سطح آزمایش		لاستیک		کارتین پلاست		پلی اتیلن	
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	میانگین مربعات
بین گروه‌ها	۳	۰/۲۰۵**	۳	۰/۰۳۱**	۳	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱
درون گروه‌ها	۲۹	۰/۰۰۳	۳۸	۰/۰۰۲	۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
سطح آزمایش	شیشه	یونولیت	مقوای جعبه				
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	میانگین مربعات
بین گروه‌ها	۳	۰/۰۳۹**	۳	۰/۱۴۷**	۳	۰/۳۵۴**	۰/۰۱۰
درون گروه‌ها	۳۵	۰/۰۰۳	۲۹	۰/۰۰۸	۳۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰

** - معنی داری در سطح ۱٪ و ns عدم معنی داری را نشان می دهد

جدول ۱۰ - ضرایب اصطکاک استاتیک زرشک بر روی سطوح مختلف

Table 10. Static coefficient of friction of berberis on various surfaces

جنس سطح	محتوای رطوبتی			
	۷-۱۰	۲۵-۳۰	۴۵-۵۰	۷۰-۷۶
چوب	۰/۷۸ ± ۰/۰۶ ^a	۰/۷۵ ± ۰/۰۸ ^a	۰/۷۴ ± ۰/۱۰ ^a	۰/۷۸ ± ۰/۰۶ ^a
آهن معمولی	۰/۵۲ ± ۰/۰۹ ^a	۰/۶۲ ± ۰/۰۵ ^b	۰/۵۷ ± ۰/۰۶ ^{ab}	۰/۵۲ ± ۰/۰۹ ^a
آهن گالوانیزه نرم	۰/۳۳ ± ۰/۰۶ ^a	۰/۴۹ ± ۰/۰۸ ^b	۰/۳۳ ± ۰/۰۱ ^a	۰/۳۳ ± ۰/۰۶ ^a
آهن گالوانیزه زبر	۰/۴۳ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۵۵ ± ۰/۰۸ ^b	۰/۷۰ ± ۰/۱۴ ^c	۰/۴۳ ± ۰/۰۴ ^a
آهن ضد زنگ (استیل)	۰/۶۲ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۷۹ ± ۰/۰۷ ^b	۰/۶۲ ± ۰/۰۵ ^a	۰/۶۲ ± ۰/۰۴ ^a
آلومینیوم	۰/۵۶ ± ۰/۰۸ ^a	۰/۶۳ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۵۵ ± ۰/۰۵ ^a	۰/۵۶ ± ۰/۰۸ ^a
لاستیک	۰/۵۷ ± ۰/۰۷ ^a	۰/۷۱ ± ۰/۰۵ ^b	۰/۵۹ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۵۷ ± ۰/۰۷ ^a
کارتین پلاست	۰/۴۹ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۵۸ ± ۰/۰۴ ^b	۰/۴۹ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۴۹ ± ۰/۰۴ ^a
پلی اتیلن	۰/۴۳ ± ۰/۰۴ ^a	۰/۴۳ ± ۰/۰۳ ^a	۰/۴۳ ± ۰/۰۲ ^a	۰/۴۳ ± ۰/۰۴ ^a
شیشه	۰/۴۱ ± ۰/۰۳ ^a	۰/۵۱ ± ۰/۰۶ ^b	۰/۴۷ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۴۱ ± ۰/۰۳ ^a
یونولیت	۰/۷۶ ± ۰/۰۶ ^a	۱/۰۲ ± ۰/۱۰ ^c	۰/۸۹ ± ۰/۰۴ ^b	۰/۷۶ ± ۰/۰۶ ^a
مقوای جعبه	۰/۶۴ ± ۰/۰۸ ^a	۰/۸۱ ± ۰/۰۶ ^b	۱/۰۷ ± ۰/۱۶ ^c	۰/۶۴ ± ۰/۰۸ ^a

حروف لاتین مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است

رفتار متناقض زوایای استقرار نسبت به تحقیقات صورت گرفته بر روی سایر محصولات، ناشی از تغییرات عمده شکل و سطح میوه و افزایش ضریب اصطکاک آن می باشد. سطح یونولیت بیشترین ضریب اصطکاک (۱/۰۵) و سطح آهن گالوانیزه نرم کمترین ضریب

اصطکاک (۰/۳۲) را با محصول زرشک نشان داد. آهن گالوانیزه زبر و مقوای جعبه روندی کاملاً غیر خطی از خود نشان می دهند به طوری که بیشترین مقدار خود را در رطوبت دوم (۳۰-۲۵ درصد) از خود بروز می دهند.

منابع

- 1- Aghbashlo M., Kianmehr M.H., and Hassan-Beygi S.R. ۲۰۰۸. Specific heat and thermal conductivity of berberis fruit (*Berberis vulgaris*). American Journal of Agricultural and Biological Sciences ۳ (۱): ۳۳۰-۳۳۶.
- 2- Amin M.N., Hossain M.A., and Roy K.C. ۲۰۰۴. Effects of moisture content on some physical properties

- of lentil seeds. *Journal of Food Engineering* ۶۵: ۸۳-۸۷.
- ۳- ASAE Standards. ۱۹۹۸. Compression test of food material of convex shape. *American Society of Agricultural Engineering*, S۳۶۸.۳. P:۵۵۴-۵۵۹.
- ۴- Aviara N.A., Mamman E., and Umar B. ۲۰۰۵. Some physical properties of Balanites Aegyptiaca nuts. *Journal of Biosystems Engineering* ۹۲ (۳): ۳۲۵-۳۳۴.
- ۵- Deshpande S.D., Bal S., and Ojha T.P. ۱۹۹۳. Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*. ۵۶: ۸۹-۹۸.
- ۶- Fathollahzadeh H., Mobli H., Jafari A., Rajabipour A., Ahmadi H., and Mohammad Borghei A. ۲۰۰۸. Effect of moisture content on some physical properties of barberry. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, ۳ (۵): ۷۸۹-۷۹۴.
- ۷- Filabi A., and Khaghani S. ۲۰۰۸. Possibility, opportunities and challenges of Berberis product by the novel technique. *Internal Agricultural Engineering Conference, Red Gold Conference*. South Khorasan. Iran.
- ۸- Ghasemi Varnamkhasti M., Mobli H., Jafari A., Keyhani A.R., Heidari soltanabadi M., Rafee S., and Kheiralipour K. ۲۰۰۸. Some physical properties of rough rice (*Oryza Sativa L.*) grain. *Journal of Cereal Science* ۴۷: ۴۹۶-۵۰۱.
- ۹- Kafi M., and Balandari A. ۲۰۰۲. *Berberis Production and Processing*. Ferdowsi University of Mashhad Publication. Iran.
- ۱۰- Mohsenin N.N. ۱۹۸۶. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- ۱۱- Nimkar P.M., and Chattopadhyay P.K. ۲۰۰۱. Airflow resistance of green Gram. *Biosystems Engineering* ۸۲ (۴): ۴۰۷-۴۱۴.
- ۱۲- Ogunjimi L.O.A., Aviara N.A., and Aregbesola O.A. ۲۰۰۲, Some engineering properties of locust bean seed. *Journal of Food Engineering* ۵۵: ۹۵-۹۹.
- ۱۳- Olajide J.O., and Ade-Omowaye B.I.O. ۱۹۹۹. Some physical properties of locust bean seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*. ۷۴: ۲۱۳-۲۱۵.
- ۱۴- Razavi M.A., and Akbari R. ۲۰۰۶. *Biophysical Properties of Agricultural & Food Materials*. Ferdowsi University of Mashhad Publication. Iran.