



بررسی اثر میزان رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکی میوه سنجد

*سیدمحمدتقی غریب‌زاهدی^۱، سیدمحمد موسوی^۲، امین طاهری‌گراوند^۳،

سیدمهدی جعفری^۴ و شاهین رفیعی^۵

^۱ به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه تهران، ^۲ به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، ^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۴

چکیده

در این مطالعه برخی از ویژگی‌های فیزیکی میوه سنجد به‌عنوان تابعی از محتوای رطوبتی محصول، در دامنه ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد (بر پایه خشک) مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی در این مطالعه شامل ابعاد محوری میوه، وزن هزاردانه، مساحت سطح، شاخص کرویت، جرم مخصوص توده محصول، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، سرعت حد، زاویه لغزش و ضرایب اصطکاک ایستایی بر سطوح مختلف بودند. میانگین طول، عرض، ضخامت و وزن هزاردانه در رطوبت ۵/۷۵ درصد به‌ترتیب ۱۸/۱۱، ۱۲/۵۶، ۱۲/۲ میلی‌متر و ۱۰۲ گرم به‌دست آمد. متوسط قطر هندسی، مساحت سطح، کرویت، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، زاویه لغزش و سرعت حد با افزایش رطوبت در دامنه رطوبتی ذکرشده به‌ترتیب ۱۴/۰۱-۱۳/۶۸ میلی‌متر، ۶۱۶/۳۱-۵۸۷/۶۲ میلی‌مترمربع، ۲۶/۵-۳۲/۵ درصد، ۷۵/۵۷-۷۶/۰۳ درصد، ۸۵۴/۱۲-۹۳۶/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب، ۵۴/۸-۴۸/۴۲ درصد، ۲۶/۵-۳۲/۵ درجه و ۶/۱-۶/۸۲ متر بر ثانیه افزایش یافت. برعکس، جرم مخصوص توده محصول از ۴۴۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در رطوبت ۵/۷۵ درصد به ۴۲۳/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب در رطوبت ۳۰/۴۸ درصد کاهش یافت. همچنین، ضرایب اصطکاک ایستایی سنجد روی سطوح شیشه، استیل زنگ‌نزن و چوب چند لایه به‌ترتیب از ۰/۲۸۶ تا ۰/۳۵۶، ۰/۳۴۴ تا ۰/۴۱۹، ۰/۳۰۵ تا ۰/۳۷۵ افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: میوه سنجد، خواص فیزیکی، محتوای رطوبتی، اصطکاک، سرعت حد

*مسئول مکاتبه: smt.gharibzahedi@gmail.com

مقدمه

میوه سنجد با نام علمی (*Elaeagnus angustifolia* L.) میوه درختچه یا درختی است که بیش از ۷ متر رشد می‌کند. میوه‌ها بیضی مانند و کشیده بوده و دارای ابعادی معادل $۲۰-۶ \times ۳۰-۱۰$ میلی‌متر می‌باشند. رنگ آن‌ها معمولاً قرمز تا قرمز متمایل به قهوه‌ای است. این میوه به واسطه داشتن قند، ترکیبات فنولیک و سایر اجزای فراسودمند، میوه‌ای مناسب برای تامین سلامت آدمی به شمار می‌رود. تعیین خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی به‌عنوان 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. پژوهش‌های زیادی پیرامون خواص فیزیکی بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله لوبیای سویا (دشپانده و همکاران، ۱۹۹۳)، دانه آفتابگردان (گوپتا و داس، ۱۹۹۷)، دانه کنجد (تونده و آکین‌تونده، ۲۰۰۴)، دانه کلزا (کاهسیر و همکاران، ۲۰۰۵)، دانه گلرنگ (بوملر و همکاران، ۲۰۰۶)، بذر کتان (کاسکانر و کارابابا، ۲۰۰۷) و دانه آفتابگردان وحشی (پرز و همکاران، ۲۰۰۷) صورت گرفته است. بنا به دانش ما، تاکنون جزئیات اندازه‌گیری ابعاد محوری و ویژگی‌های فیزیکی میوه سنجد در سطوح مختلف رطوبتی گزارش نشده است. بنابراین در این بررسی سعی گردید که خصوصیات فیزیکی میوه سنجد اعم از اندازه، شاخص کرویت، مساحت سطح، وزن هزاردانه، جرم مخصوص توده و حقیقی، درصد تخلخل، سرعت حد، زاویه انبوهش و ضریب اصطکاک ایستایی میوه در دامنه رطوبتی $۵/۷۵-۳۰/۴۸$ درصد بر پایه خشک اندازه‌گیری و گزارش گردد.

مواد و روش‌ها

میوه سنجد برای سنجش ویژگی‌های گوناگون فیزیکی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. میوه‌ها در طی ماه‌های اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۸۷ از یک بازار محلی در شهر کرج در استان البرز خریداری شد و سپس با قرار دادن آن‌ها در ظروف درب بسته به آزمایشگاه منتقل گردید. میوه‌ها قبل از شروع آزمایش‌های اندازه‌گیری، پاک و اجسام خارجی آن از قبیل خاک، پوشال، میوه‌های آسیب دیده و نارس جداسازی شد. با قرار دادن آن‌ها در یک خشک‌کن آزمایشگاهی در درجه حرارت 101 ± 1 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و براساس روش استاندارد وزنی به شماره S352.3، رطوبت اولیه آن تعیین و برابر با $۵/۷۵$ درصد بر پایه خشک به‌دست آمد (ASAE، ۱۹۹۴). به منظور

رسیدن به سطوح رطوبتی بالاتر در این مطالعه، مقدار کافی آب به میوه‌ها اضافه و در ظروف پلاستیکی در بسته، عملیات مشروط‌سازی به خوبی انجام و سپس طبق رابطه زیر میزان رطوبت محاسبه شد (بالاسوبرامانیان، ۲۰۰۱؛ دورسان و دورسان، ۲۰۰۵).

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

در این رابطه، Q : جرم آب اضافه شده برحسب کیلوگرم، W_i : جرم اولیه نمونه برحسب کیلوگرم، M_i : محتوای رطوبتی اولیه نمونه بر پایه خشک، M_f : رطوبت نهایی نمونه بر پایه خشک می‌باشد. بعد از رسیدن نمونه‌ها به سطوح رطوبتی موردنظر، میوه‌ها برای مدت ۷ روز در دمای 5 ± 1 درجه سانتی‌گراد در یخچال به‌منظور توزیع یکنواخت رطوبت در سراسر میوه نگهداری شدند (آیدین، ۲۰۰۲؛ کارمان، ۱۹۹۶؛ آیدین و همکاران، ۲۰۰۲). پس از متعادل‌سازی و قبل از انجام آزمایش‌ها محتوای رطوبتی نمونه‌ها تعیین شد. بر این اساس ۵ سطح رطوبتی ۲۷/۱۲، ۱۹/۳۵، ۱۲/۵۷، ۵/۷۵، ۳۰/۴۸ درصد بر پایه خشک تعیین گردید.

با استفاده از کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، اندازه‌گیری‌های ابعادی (L : طول، W : عرض، T : ضخامت) برای ۱۰۰ میوه به‌صورت تصادفی صورت پذیرفت و سپس با توجه به روابط ۲-۵، قطر متوسط حسابی (D_a) و هندسی (D_g)، کرویت (ϕ) و مساحت سطح رویه (S) برای آن‌ها تعیین شد (محسنین، ۱۹۸۶):

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

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

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (4)$$

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

همچنین، به‌منظور تعیین وزن هزاردانه میوه از ترازویی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص توده (ρ_b) طبق رابطه ۶، یک استوانه خالی را با حجم مشخص پر از نمونه کرده، از تقسیم جرم توده (m_t) بر حجم توده (V_t)، میزان جرم مخصوص توده طبق رابطه ۶، به‌دست آمد (محسنین، ۱۹۸۶):

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} \quad (6)$$

جهت تعیین جرم مخصوص حقیقی (ρ_t) از تولوئن غیرجاذب استفاده شد تا فضای خالی مابین نمونه‌ها تعیین شده و از کاستن حجم توده از آن، حجم واقعی محاسبه شود. با تقسیم جرم توده به حجم واقعی، میزان چگالی حقیقی محاسبه شد. سپس با توجه به رابطه ۷، درصد تخلخل (ε) نمونه به‌دست آمد (محسنین، ۱۹۸۶؛ کاباس، ۲۰۰۷؛ قاسمی، ۲۰۰۸):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (7)$$

سرعت حد توسط یک سامانه ستون هوا متصل به یک دستگاه سیم داغ، با تعیین سرعت هوایی که میوه را به حالت تعلیق در می‌آورد، تشخیص و ثبت می‌گردید (آکینی، ۲۰۰۴). همچنین، زاویه لغزش با ریختن دانه‌های سنجد در جعبه‌ای به ابعاد $160 \times 140 \times 35$ میلی‌متر بر روی صفحه‌ای متصل به یک سطح لولادار و بالا آوردن سطح تا نقطه ریزش و محاسبه زاویه از روی نقاله متصل به آن محاسبه گردید (طباطبایی‌فر، ۲۰۰۳؛ قاسمی، ۲۰۰۸). برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی (μ) طبق رابطه ۸ با اندازه‌گیری زاویه‌ای که نمونه‌ها روی سطح مورد آزمایش در آستانه حرکت قرار می‌گیرند، محاسبه می‌شود. برای اندازه‌گیری این پارامتر، نمونه‌ها را درون جعبه‌ای آلومینیومی به طول ۷۵ میلی‌متر و عمق ۵۰ میلی‌متر که با سطح تماس نداشته قرار داده، سپس سطح با سرعت یکنواخت شروع به حرکت می‌کند. تانژانت زاویه‌ای که جعبه نمونه روی آن در آستانه شروع به حرکت قرار دارد برابر با ضریب اصطکاک ایستایی است (رضوی و میلانی، ۲۰۰۶؛ قاسمی، ۲۰۰۸).

$$\mu = \tan(\alpha) \quad (8)$$

اندازه‌گیری ابعاد محوری و شاخص‌های هندسی برای صددانه در هر رطوبت صورت گرفت. سایر آزمون‌های فیزیکی مورد نظر برای هر رطوبت در ۱۰ تکرار انجام شدند. داده‌های حاصل از پژوهش به کمک نرم‌افزار آماری SPSS 13 مورد تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد و به‌علاوه معادلات رگرسیونی برای خواص مختلف فیزیکی به کمک برنامه MS Excel 2007 به‌دست آمد.

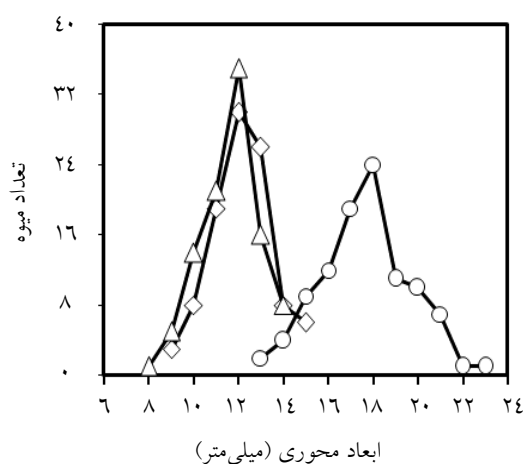
نتایج و بحث

ابعاد میوه: جدول ۱، داده‌های تجربی برای ابعاد میوه را به‌صورت تابعی از محتوای رطوبتی نشان می‌دهد. منحنی‌های توزیع فراوانی برای ابعاد محوری میوه سنجد در رطوبت ۵/۷۵ درصد بر پایه خشک نشان‌دهنده توزیع تقریباً نرمالی است (شکل ۱). حدود ۸۷ درصد میوه‌ها دارای طولی در دامنه

۲۰-۱۵ میلی‌متر، حدود ۸۳ درصد آن‌ها دارای عرضی مابین ۱۴-۱۱ میلی‌متر و همچنین حدود ۸۶ درصد دانه‌ها دارای ضخامتی در حدود ۱۳-۱۰ میلی‌متر هستند. سه محور اصلی میوه سنجد با افزایش محتوای رطوبتی افزایش یافتند. افزایش ابعاد محوری به انبساط یا تورم میوه‌ها در اثر جذب آب در فضاهای بین سلولی نسبت داده می‌شود. طول، عرض و ضخامت میوه‌ها در دامنه رطوبتی ۵/۷۵-۳۰/۴۸ درصد بر پایه خشک، به ترتیب از ۱۸/۱۱ تا ۱۸/۴۳، ۱۲/۵۶ تا ۱۲/۸۷ و از ۱۲/۲ تا ۱۲/۵۷ میلی‌متر افزایش یافت ($P < 0/05$). بنابراین، درصد افزایش طول، عرض و ضخامت میوه سنجد به ترتیب ۱/۷۶، ۲/۴۶ و ۳/۰۳ درصد ارزیابی شد.

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد ابعاد محوری و میانگین‌های حسابی و هندسی میوه سنجد.

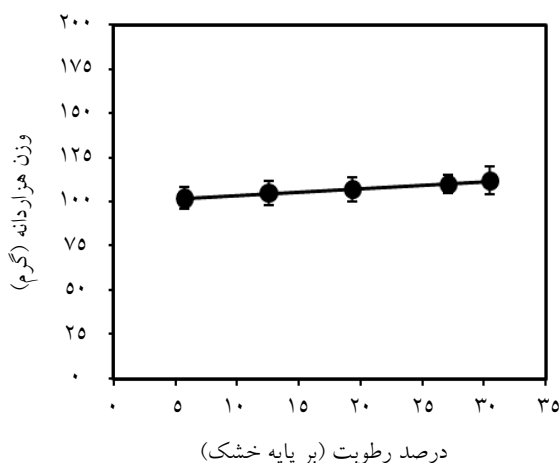
درصد رطوبت		ابعاد محوری (میلی‌متر)			قطر متوسط (میلی‌متر)
(بر پایه خشک)	طول (L)	عرض (W)	ضخامت (T)	میانگین حسابی (Da)	میانگین هندسی (Dg)
۵/۷۵	۱۸/۱۱±۰/۰۶۷	۱۲/۵۶±۰/۰۵۱	۱۲/۲±۰/۰۳۷	۱۴/۲۹	۱۳/۶۸
۱۲/۵۷	۱۸/۲۰±۰/۰۶۶	۱۲/۶۷±۰/۰۵۴	۱۲/۳۱±۰/۰۳۶	۱۴/۳۹	۱۳/۷۸
۱۹/۳۵	۱۸/۳۱±۰/۰۶۴	۱۲/۷۵±۰/۰۵۲	۱۲/۴۲±۰/۰۳۳	۱۴/۴۹	۱۳/۸۸
۲۷/۱۲	۱۸/۳۷±۰/۰۵۸	۱۲/۸۲±۰/۰۴۹	۱۲/۴۹±۰/۰۳۵	۱۴/۵۶	۱۳/۹۵
۳۰/۴۸	۱۸/۴۳±۰/۰۷۳	۱۲/۸۷±۰/۰۵۳	۱۲/۵۷±۰/۰۳۳	۱۴/۶۲	۱۴/۰۱



شکل ۱- منحنی‌های توزیع فراوانی ابعاد محوری میوه در رطوبت ۵/۷۵ درصد بر پایه خشک. ○: طول، ◇: عرض، △: ضخامت.

همچنین، قطر متوسط حسابی و هندسی میوه سنجد به ترتیب از ۱۴/۲۹ تا ۱۴/۶۲ و ۱۳/۶۸ تا ۱۴/۰۱ میلی متر با افزایش محتوای رطوبتی از ۵/۷۵ تا ۳۰/۴۸ درصد افزایش یافت ($P < ۰/۰۵$). وزن هزاردانه: مطابق شکل ۲، وزن هزاردانه میوه سنجد به صورت خطی در دامنه رطوبتی مشخص شده از ۱۰۲ تا ۱۱۲ گرم افزایش یافت ($P < ۰/۰۱$). بر این اساس، در دامنه رطوبتی ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد بر پایه خشک، وزن هزاردانه ۹/۸ درصد افزایش یافت. این مسأله را می توان به جذب رطوبت به وسیله میوه های سنجد با افزایش محتوای رطوبتی نسبت داد. وزن هزاردانه، شاخص مؤثر و مفیدی در تعیین قطر معادل است و می تواند برای تخمین تئوریک حجم میوه و همچنین در پاک کردن آنها با استفاده از نیروهای آئرو دینامیکی به کار گرفته شود. رابطه مابین وزن هزاردانه (W_{1000}) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$W_{1000} = 99/81 + 0/387 M_c \quad (R^2 = 0/992) \quad (9)$$



شکل ۲- اثر محتوای رطوبتی بر میزان وزن هزاردانه.

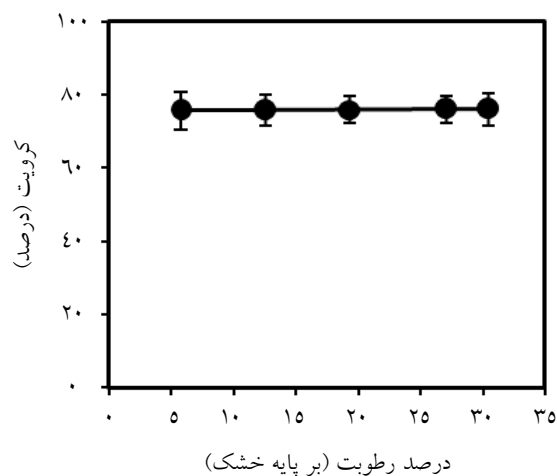
همچنین مشابه نتایج این پژوهش، در بررسی های دیگر توسط اوزارسلان (۲۰۰۲) برای دانه کتان، ساسیلیک و همکاران (۲۰۰۳) برای شاهدانه، یالسن و اوزارسلان (۲۰۰۴) برای ماش، کاکاتای سیلوی (۲۰۰۶) برای پنبه دانه، کاسکانر و کارابابا (۲۰۰۷) برای بذر کتان، اسپیک و ایزلی (۲۰۰۷) برای دانه

آفتابگردان و کاهسیر و همکاران (۲۰۰۵) برای دانه کلزا، رابطه خطی افزایشی مابین محتوای رطوبتی و وزن هزاردانه به اثبات رسیده است.

کرویت^۱: کرویت میوه سنجد تابعی از محتوای رطوبتی در دامنه ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد بر پایه خشک، از ۷۵/۵۷ تا ۷۶/۰۳ درصد، به صورت خطی افزایش یافت (شکل ۳) ($P > 0.05$). این مسأله به دلیل افزایش در ابعاد اصلی میوه سنجد با افزایش محتوای رطوبتی و بنا به رابطه ۴ قابل توجیه می‌باشد. رابطه مابین شاخص کرویت (ϕ) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\phi = 75.5 + 0.17 M_c \quad (R^2 = 0.972) \quad (10)$$

نتایج مشابهی توسط ساهو و اسریواستاوا (۲۰۰۲) برای دانه اکرا، ساسیلیک و همکاران (۲۰۰۲) برای شاهدانه، کاسکانر و کارابابا (۲۰۰۷) برای بذر کتان و آلتونتاس و همکاران (۲۰۰۵) برای دانه فنوگریک گزارش شد.



شکل ۳- اثر محتوای رطوبتی بر میزان شاخص کرویت.

مساحت سطح: مساحت سطح میوه سنجد در دامنه رطوبتی $30/48-5/75$ درصد بر پایه خشک، از $587/62$ تا $616/31$ میلی مترمربع افزایش یافت (شکل ۴) ($P < 0/05$). با توجه به افزایش ابعاد اصلی میوه سنجد با افزایش رطوبت و در نتیجه افزایش قطر هندسی، بنا به رابطه ۵، افزایش مساحت سطح دور از انتظار نمی باشد. رابطه مابین مساحت سطح (S) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$S = 581/8 + 1/123 M_c \quad (R^2 = 0/992) \quad (11)$$

نتایج مشابهی توسط ساسیلیک و همکاران (۲۰۰۳) برای شاهدانه و باریه (۲۰۰۲) برای ارزن گزارش شد.

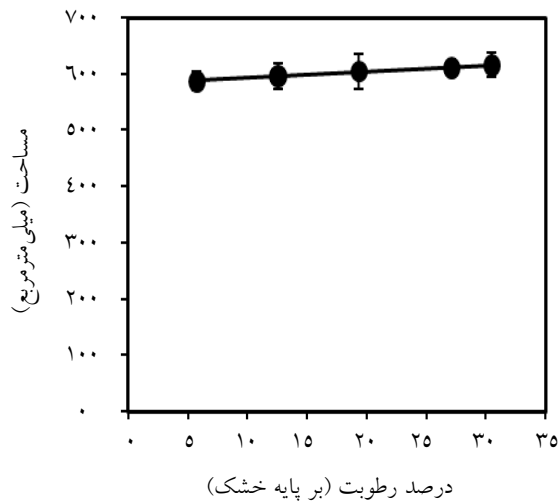
جرم مخصوص توده و حقیقی: جرم مخصوص توده از $440/52$ کیلوگرم بر مترمکعب در رطوبت $5/75$ درصد به $423/12$ کیلوگرم بر مترمکعب در رطوبت $30/48$ درصد به صورت خطی کاهش یافت (شکل ۵) ($P < 0/05$). کاهش در جرم مخصوص توده با افزایش محتوای رطوبتی نشان می دهد که افزایش جرم میوه در نتیجه جذب رطوبت کمتر از انبساط حجمی توده میوه با افزایش رطوبت است. رابطه مابین دانسیته توده (ρ_b) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\rho_b = 443/3 - 0/667 M_c \quad (R^2 = 0/977) \quad (12)$$

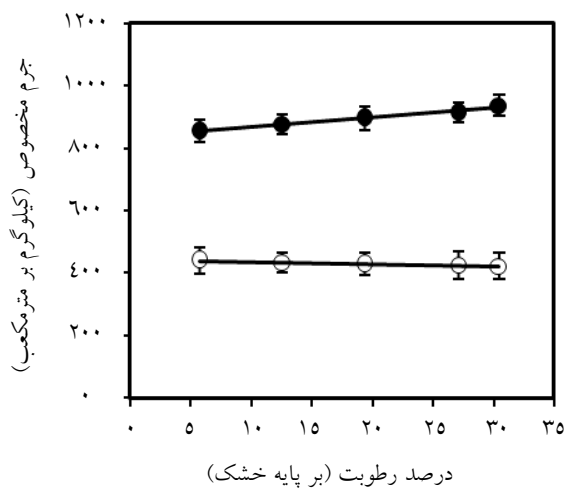
رابطه خطی معکوس مابین جرم مخصوص توده و محتوای رطوبتی برای سایر محصولات کشاورزی توسط محققان دیگر گزارش شد (شفرد و بادورج، ۱۹۸۶؛ دشیانده و همکاران، ۱۹۹۳؛ گوپتا و داس، ۱۹۹۷؛ داتا و همکاران، ۱۹۸۸؛ بارت-پلانگ و باریه، ۲۰۰۳). در حالی که با افزایش محتوای رطوبتی در دامنه رطوبتی مشخص شده، دانسیته حقیقی از $854/12$ تا $936/25$ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت (شکل ۵) ($P < 0/05$). افزایش در جرم مخصوص حقیقی با افزایش رطوبت به حجم حقیقی کمتر میوه سنجد در مقایسه با جرم متناظر آن به دلیل جذب آب نسبت داده می شود. رابطه مابین دانسیته حقیقی (ρ_t) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\rho_t = 836/6 + 3/094 M_c \quad (R^2 = 0/980) \quad (13)$$

نتایج مشابه‌ای توسط سینگ و گوس وامی (۱۹۹۶) برای دانه زیره و اوزارسلان (۲۰۰۲) برای دانه کتان گزارش شد.



شکل ۴- اثر محتوای رطوبتی بر میزان مساحت سطح.



شکل ۵- اثر محتوای رطوبتی بر میزان جرم مخصوص حقیقی (○) جرم مخصوص توده (●).

تخلخل^۱: میزان تخلخل میوه سنجد با افزایش محتوای رطوبتی از ۵/۷۵ تا ۳۰/۴۸ درصد بر پایه خشک، از ۴۸/۴۲ تا ۵۴/۸۰ درصد افزایش یافت (شکل ۶) ($P < 0/05$). این مسأله به کاهش جرم مخصوص توده با افزایش رطوبت نسبت داده می‌شود. رابطه مابین تخلخل (ε) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\varepsilon = 47/23 + 0/242 M_c \quad (R^2 = 0/984) \quad (14)$$

گوپتا و داس (۱۹۹۷)، کارمان (۱۹۹۶) و سینگ و گوسوامی (۱۹۹۶)، به ترتیب رابطه خطی افزایش میزان تخلخل با افزایش محتوای رطوبتی دانه آفتابگردان، عدس و زیره را گزارش کردند. **سرعت حد^۲**: با افزایش محتوای رطوبتی در دامنه رطوبتی مشخص شده، سرعت حد از ۶/۱ تا ۶/۸۲ متر بر ثانیه افزایش یافت (شکل ۷) ($P < 0/05$). افزایش سرعت حد با افزایش در دامنه رطوبتی مورد بررسی می‌تواند به دلیل افزایش در جرم میوه‌های سنجد و مقاومت بیش‌تر این میوه‌ها در برابر جریان هوا باشد. رابطه مابین سرعت حد (V_t) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$V_t = 6/006 + 0/027 M_c \quad (R^2 = 0/964) \quad (15)$$

سینگ و گوسوامی (۱۹۹۶)، سوتر و داس (۱۹۹۶)، نیمکار و چاتوپادهیای (۲۰۰۱)، گزر و همکاران (۲۰۰۲)، کناک و همکاران (۲۰۰۲) و ساسیلیک و همکاران (۲۰۰۳)، به ترتیب رابطه خطی افزایش سرعت حد با افزایش محتوای رطوبتی دانه زیره، کاراینگدا، نخود سبز، هسته زردآلو، نخود و شاهدانه را گزارش کردند.

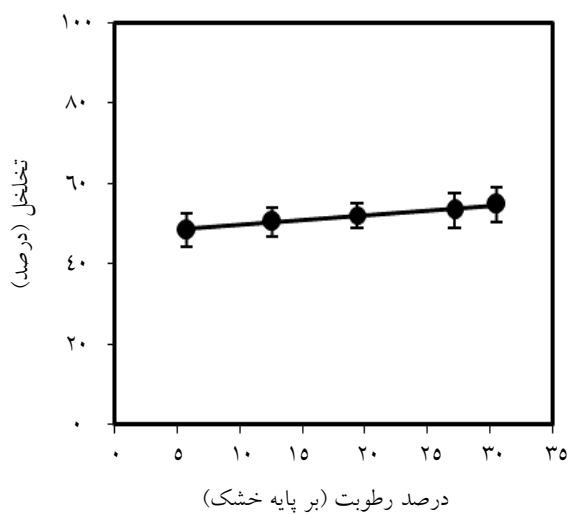
زاویه لغزش: با افزایش رطوبت در محدوده رطوبتی ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد بر پایه خشک، زاویه لغزش از ۲۶/۵ تا ۳۲/۵ درجه افزایش یافت (شکل ۸) ($P < 0/01$). به نظر می‌رسد در رطوبت‌های بالاتر، میوه‌های سنجد تمایل بیشتری به چسبیدن با یکدیگر داشته که این امر منجر به اثر شکل‌پذیری و چسبندگی آن‌ها با سطح شده و به این ترتیب پایداری بهتر و جریان‌پذیری کمتری را فراهم نموده است. زاویه لغزش، برترین شاخص در طراحی دهانه ناودان‌های تخلیه‌کننده مواد اولیه، تعیین شیب دیواره‌های کناری سیلوها

1- Porosity

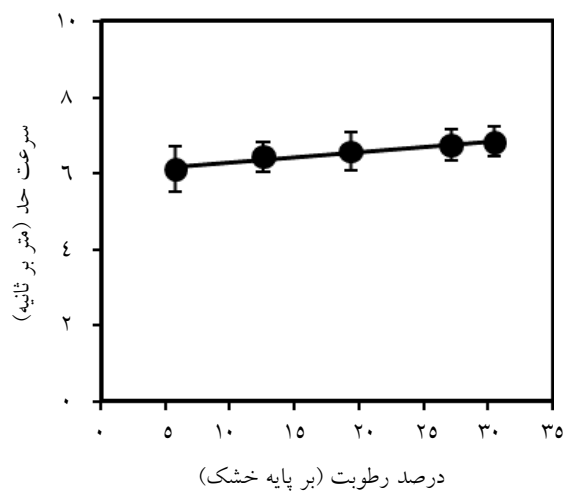
2- Terminal Velocity

و مجراهای خروجی انتقال دهنده‌های حجیم میوه‌ها و دانه‌ها می‌باشد. رابطه مابین زاویه لغزش (α) و محتوای رطوبتی میوه سنجد با ارایه ضریب همبستگی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

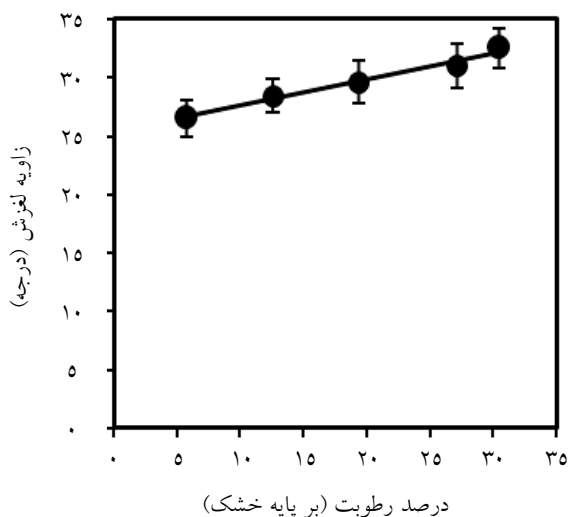
$$\alpha = 25/30 + 0/225 M_c \quad (R^2 = 0/983) \quad (16)$$



شکل ۶- اثر محتوای رطوبتی بر میزان تخلخل.



شکل ۷- اثر محتوای رطوبتی بر سرعت حد.



شکل ۸- اثر محتوای رطوبتی بر زاویه لغزش.

پژوهش‌های زیادی در زمینه خواص آترودینامیکی محصولات کشاورزی از جمله زاویه لغزش صورت گرفته است. در اکثر این بررسی‌ها، زاویه لغزش با افزایش محتوای رطوبتی افزایش یافت. تاکنون، افزایش خطی زاویه لغزش با افزایش محتوای رطوبتی برای دانه زیره، نخود سبز، ارزن، عدس و فنوگریک گزارش شده است (آلتوناس و همکاران، ۲۰۰۵؛ امین و همکاران، ۲۰۰۴).

ضریب اصطکاک ایستایی: در دامنه ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد بر پایه خشک، ضرایب اصطکاک ایستایی برای تمامی سطوح (شیشه، استیل زنگ‌نزن و چوب چندلایه) افزایش یافت (شکل ۹) ($P < 0/05$). در همه رطوبت‌های اعمال شده، بیش‌ترین ضریب اصطکاک ایستایی مربوط به استیل زنگ‌نزن بود که با افزایش رطوبت از ۰/۳۴۴ تا ۰/۴۱۹ افزایش یافت. افزایش این شاخص برای چوب چندلایه از ۰/۳۰۵ تا ۰/۳۷۵ و برای شیشه از ۰/۲۸۶ تا ۰/۳۵۶ ارزیابی شد. این افزایش، به چسبندگی بیشتر مابین میوه‌ها و سطوح مورد بررسی نسبت داده می‌شود. این شاخص در طراحی ابعاد محفظه خوراک‌دهی دستگاه‌های فرآوری، مخازن سیلومانی مواد اولیه و سایر سامانه‌های حمل و نقل و نگهداری مواد جامد حجیم به‌منظور جلوگیری از توقف جریان مواد جامد دارای اهمیت می‌باشد. ضریب پویایی حرکت، آزادی حرکت یک ماده را بیان می‌دارد. بنابراین، ضریب اصطکاک عکس ضریب پویایی حرکت بوده

1- Static Coefficient of Friction

که همانا تانژانت زاویه اصطکاک داخلی است. در ضریب اصطکاک بالاتر، پویایی حرکت کمتر است، بنابراین در این حالت، دهانه محفظه خوراک‌دهی دستگاه‌ها و نیز شیب دیواره آنها بیشتر در نظر گرفته می‌شود (الاسکار و همکاران، ۲۰۰۱؛ ایرت وانگ و همکاران، ۲۰۰۲). چندین پژوهش در ارتباط با تأثیر رطوبت بر میزان ضریب اصطکاک ایستایی صورت گرفته است. در این مطالعات مشخص شده است که ضرایب اصطکاک ایستایی با افزایش رطوبت در سطوح مورد بررسی افزایش یافت (کارمان، ۱۹۹۶؛ جوشی و همکاران، ۱۹۹۳؛ آگات، ۱۹۹۸).

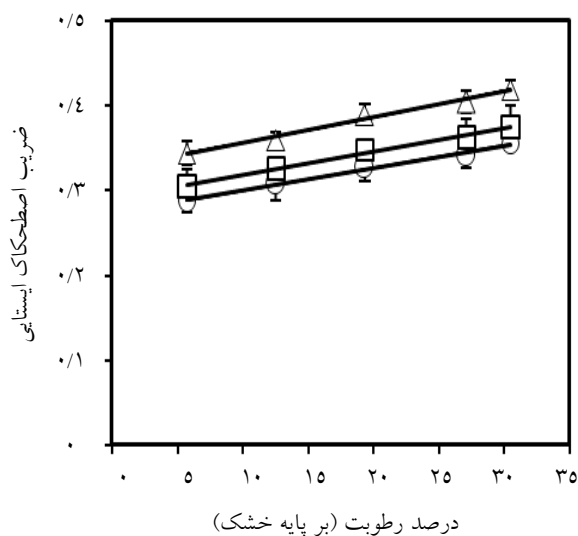
رابطه خطی ضریب اصطکاک ایستایی (μ) و محتوای رطوبتی میوه را می‌توان به صورت زیر بیان

نمود:

$$\mu = A + B\mu_c \quad (17)$$

در این رابطه، μ : ضریب اصطکاک ایستایی، A و B: به ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط می‌باشند.

این داده‌ها در جدول ۲ آمده‌اند.



شکل ۹- اثر محتوای رطوبتی بر ضریب اصطکاک ایستایی: استیل (Δ) شیشه (\circ) چوب چندلایه (\square).

جدول ۲- عرض از مبدأ، شیب خط و تعیین ضرایب رگرسیونی براساس معادله ۱۷ برای ضرایب اصطکاک ایستایی در سطوح مختلف.

نوع سطح	عرض از مبدأ		شیب خط
	A	B	
چوب چند لایه	۰/۲۹۱۶	۰/۰۰۲۷	۰/۹۹۱
استیل	۰/۳۲۶۱	۰/۰۰۳	۰/۹۸۷
شیشه	۰/۲۷۳۲	۰/۰۰۲۷	۰/۹۸۸

نتیجه گیری

در این پژوهش برخی خواص مهندسی میوه سنجد در محدوده رطوبتی ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد براساس وزن خشک مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج نشان داد:

۱) در دامنه ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد بر پایه خشک، وزن هزاردانه از ۱۰۲ تا ۱۱۲ گرم و شاخص کرویت از ۷۵/۵۷ تا ۷۶/۰۳ درصد افزایش یافت. قطر میانگین حسابی و هندسی به طور خطی از ۱۴/۲۹ تا ۱۴/۶۲ میلی متر و از ۱۳/۶۸ تا ۱۴/۰۱ درصد افزایش یافت. به علاوه، مساحت سطح از ۵۸۷/۶۲ تا ۶۱۶/۳۱ میلی مترمربع و میزان تخلخل از ۴۸/۴۲ تا ۵۴/۸ درصد در محدوده رطوبتی بالا افزایش یافت. جرم مخصوص توده از ۴۴۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب در رطوبت ۵/۷۵ درصد به ۴۲۳/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب در رطوبت ۳۰/۴۸ درصد به صورت خطی کاهش یافت، در حالی که جرم مخصوص حقیقی از ۹۳۶/۲۵ تا ۸۵۴/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت.

۲) سرعت حد و زاویه لغزش به ترتیب با افزایش رطوبت در دامنه رطوبتی ۳۰/۴۸-۵/۷۵ درصد بر پایه خشک، از ۶/۱ تا ۶/۸۲ متر بر ثانیه و ۲۶/۵ تا ۳۲/۵ درجه افزایش یافتند. همچنین در این دامنه رطوبتی، ضرایب اصطکاک ایستایی برای شیشه، استیل زنگ‌نزن و چوب چندلایه به ترتیب از ۰/۲۸۶ تا ۰/۳۵۶، ۰/۳۴۴ تا ۰/۴۱۹ و ۰/۳۰۵ تا ۰/۳۷۵ افزایش یافت.

منابع

- Akinci, I., Ozdemir, F., Topuz, A., Kabas, O. and Canakci, M. 2004. Some physical and nutritional properties of Juniperus drupacea fruits. *Journal of Food Engineering*, 65: 325-331.
- Altuntas, E., Ozgoz, E. and Taser, O.F. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 71: 37-43.

- Amin, M.N., Hossain, M.A. and Roy, K.C. 2004. Effect of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*, 65: 83-87.
- ASAE. 1994. ASAE standards S352.3-moisture measurement-ungrounded grains and seeds. In M. I. St. Joseph, ASAE Standards, ASAE, 469p.
- Aydin, C. 2002. Physical properties of hazel nuts. *Biosystems Engineering*, 65: 297-303.
- Aydin, C., Ogut, H. and Konak, M. 2002. Some physical properties of Turkish Mahaleb. *Biosystems Engineering*, 82: 231-234.
- Balasubramanian, D. 2001. Physical properties of raw cashew nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78: 291-297.
- Bart-Plange, A. and Baryeh, E.A. 2003. The physical properties of category B cocoa beans. *Journal of Food Engineering*, 60: 219-227.
- Baryeh, E.A. 2002. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*, 51: 39-46.
- Baumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S.M. and Riccobene, I.C. 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*, 72: 134-140.
- Cagatay Selvi, K., Pinar, Y. and Yesiloglu, E. 2006. Some physical properties of linseed. *Biosystems Engineering*, 95: 607-612.
- Cahsir, S., Marakoglu, T., Ogut, H. and Ozturk, O. 2005. Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera* L.). *Journal of Food Engineering*, 69: 61-66.
- Carman, K. 1996. Some physical properties of lentil seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63: 87-92.
- Coskuner, Y. and Karababa, E. 2007. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 78: 1067-1073.
- Deshpande, S.D., Bal, S. and Ojha, T.P. 1993. Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 56: 89-98.
- Dursun, E. and Dursun, I. 2005. Some physical properties of caper seed. *Biosystems Engineering*, 92: 237-245.
- Dutta, S.K., Nema, V.K. and Bhardwaj, R.K. 1988. Physical properties of gram. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 39: 259-268.
- Elaskar, S.A., Godoy, L.A., Mateo, D. and Seeber, G. 2001. An experimental study of the gravity flow of sorghum. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79: 65-71.
- Ghasemi, M.G., Mobli, H., Jafari, A., Keyhani, A.R., Soltanabadi, M.H. and Rafiee, S., et al. 2008. Some physical properties of rough rice (*Oryza Sativa* L.) grain. *Journal of Cereal Science*, 47: 496-501.
- Gupta, R.K. and Das, S.K. 1997. Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 1-8.

- Irtwange, S.V. and Igbeka, J.C. 2002. Flow properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) as affected by accession and moisture content. *Transaction of the ASAE*, 45: 1063-1070.
- Isik, E. and Izli, N. 2007. Physical properties of sunflower seeds. *International Journal Agricultural Research*, 2: 677-686.
- Joshi, D.C., Das, S.K. and Mukherjee, R.K. 1993. Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 54: 219-229.
- Kabas, O., Yilmaz, E., Ozmerzi, A. and Akinci, I. 2007. Some physical and nutritional properties of cowpea seed (*Vigna sinensis* L.). *Journal of Food Engineering*, 79: 1405-1409.
- Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials (revised 2nd ed.). New York, Gordon and Breach Science Publications.
- Ogut, H. 1998. Some physical properties of white lupin. *International Journal Agriculture Research*, 69: 273-277.
- Ozarslan, C. 2002. PH-postharvest technology: physical properties of cotton seed. *Biosystems Engineering*, 83: 169-174.
- Peker, A. 1996. The determination of some physical properties of corn kernel. *Selcuk University the Journal of Agriculture Faculty*, 10: 22-65.
- Perez, E.E., Crapiste, G.H. and Carelli, A.A. 2007. Some physical and morphological properties of wild sunflower seeds. *Biosystems Engineering*, 96: 41-45.
- Razavi, S. and Milani, E. 2006. Some physical properties of the watermelon seeds. *African Journal Agricultural Research*, 13: 65-69.
- Sacilik, K., Ozturk, R. and Keskin, R. 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering*, 86: 191-198.
- Sahoo, P.K. and Srivastava, A.P. 2002. Physical properties of okra seed. *Biosystems Engineering*, 83: 441-448.
- Shepherd, H. and Bhardwaj, R.K. 1986. Moisture-dependent physical properties of pigeon pea. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 35: 227-234.
- Singh, K.K. and Goswami, T.K. 1996. Physical properties of cumin seed. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 64: 93-98.
- Tabatabaeefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. *International Agrophysics*, 17: 207-211.
- Tsang-Mui-Chung, M., Verma, L.R. and Wright, M.E. 1984. A device for friction measurement of grains. *Transaction of the ASAE*, 27: 1938-1941.
- Yalcin, I. and Ozarslan, C. 2004. Physical properties of vetch seed. *Biosystems Engineering*, 88: 507-512.

Investigation of moisture content effect on physical properties of Russian olive fruit (*Elaeagnus angustifolia* L.)

*S.M.T. Gharibzahedi¹, S.M. Mousavi², A. Taheri-Garavand³,
S.M. Jafari⁴ and Sh. Rafiee⁵

^{1&2}Ph.D. student & Professor Dept. of Food Science and Technology Engineering,
University of Tehran, Respectively, ^{3&5}M.Sc. graduate & Associate Prof., Dept. of
Agricultural Machinery, University of Tehran, ⁴Assistant Prof., Dept. of Food Science and
Technology Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural
Resources

Abstract

This study was conducted to investigate some moisture-dependent engineering properties of Russian olive fruit including fruit dimensions, one thousand seed mass, surface area, sphericity, bulk and true density, angle of sliding and static friction coefficient against different surfaces. The physical properties of Russian olive fruit were evaluated as a function of moisture content in the range of 5.75-30.48% d.b. The average length, width, thickness and one thousand seed mass were 18.11 mm, 12.56 mm, 12.2 mm and 102 g, respectively at moisture content of 5.75% d.b. The geometric mean diameter and sphericity increased from 13.68 to 14.01 mm and 75.57 to 76.03% as moisture content increased from 5.75 to 30.48% d.b., respectively, while bulk density decreased from 440.52 to 423.12 kgm⁻³ in the same moisture range, true density increased from 854.12 to 936.25 kgm⁻³, and the corresponding porosity increased from 48.42 to 54.8%. As the moisture content increased from 5.75 to 30.48% d.b., the angle of sliding, terminal velocity and surface area were found to increase from 26.5 to 32.5°, 6.1 to 6.32 ms⁻¹ and 587.62 to 616.31 mm², respectively. The static coefficient of friction increased on three structural surfaces namely, glass (0.286-0.356), stainless steel (0.344-0.419) and plywood (0.305-0.375) in the moisture range from 5.75 to 30.48% d.b.

Keywords: Russian olive fruit; Physical properties; Moisture content; Friction; Terminal Velocity

* Corresponding Author; Email: smt.gharibzahedi@gmail.com

