



## بررسی ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و تغذیه‌ای کنجد در رطوبت‌های مختلف جهت بهبود عملیات فرآوری محصول

\*سیدمحمدتقی غریب‌زاهدی<sup>۱</sup>، سیدمحمد موسوی<sup>۲</sup> و سیدهادی رضوی<sup>۳</sup>

<sup>۲،۳،۱</sup> به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۰

### چکیده

در این بررسی، ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و تغذیه‌ای دانه کنجد مورد ارزیابی قرار گرفتند. با افزایش رطوبت، در دامنه رطوبتی ۱۹/۲۷-۴/۵۴ درصد بر پایه خشک، طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی و حسابی به ترتیب از ۲/۹۳ تا ۳/۰۱، ۱/۷۴ تا ۱/۷۸، ۰/۷۸ تا ۰/۸۶، ۱/۸۱ تا ۱/۸۸ و ۱/۵۸ تا ۱/۶۶ میلی‌متر افزایش یافتند. کرویت، مساحت، وزن هزاردانه، دانسیته حقیقی و تخلخل با افزایش رطوبت، به ترتیب از ۵۴/۰۴ تا ۵۵/۲۵ درصد، ۶/۶۸ تا ۷/۳۵ میلی‌مترمربع ۲/۴۳ تا ۲/۷۵ گرم، ۱۲۰۷ تا ۱۲۳۶/۸ کیلوگرم بر مترمکعب و ۵۱/۰۳ تا ۵۳/۱۲ درصد افزایش یافت، در حالی‌که دانسیته توده از ۵۹۱ تا ۵۷۹/۵ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت. سرعت حد و زاویه انبوهش با افزایش رطوبت، به ترتیب از ۴/۹۵ تا ۵/۴ متر بر ثانیه و از ۳۱/۵ تا ۳۲/۸ درجه افزایش یافتند. با افزایش رطوبت، ضرایب اصطکاک ایستایی برای چوب چندلایه، استیل و ورق آهن گالوانیزه به ترتیب از ۰/۵۴ تا ۰/۵۰، ۰/۵۶ تا ۰/۵۴ و ۰/۴۱ تا ۰/۴۵ افزایش یافتند. نتایج آزمون مکانیکی نشان داد که نیروی مورد نیاز برای شکست دانه در دو جهت عمودی و افقی با افزایش رطوبت در دامنه رطوبتی ۱۹/۲۷-۴/۵۴ درصد بر پایه خشک، به ترتیب از ۲۵/۶۶ تا ۱۸/۳۶ و از ۲۷/۵۶ تا ۲۱/۲۰ نیوتون کاهش و انرژی مورد نیاز از ۱۵/۵۲ تا ۱۸/۰۸ و ۱۵/۸۴ تا ۱۸/۳۳ میلی‌ژول به ترتیب افزایش یافت. نتایج آزمون شیمیایی نشان داد که دانه کنجد دارای مقادیر بالایی روغن (۴۶/۵۷ درصد)، پروتئین (۲۳/۷۵ درصد) و کلسیم (۰/۹۸ درصد) می‌باشد. میزان عناصر معدنی دانه از قبیل فسفر، پتاسیم، منیزیم و آهن ۵۰۸/۳، ۴۸۶/۷، ۲۸۸/۲ و ۱۰/۷

\* مسئول مکاتبه: smt.gharibzahedi@gmail.com

میلی گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک ارزیابی شد. اسید چرب غالب در روغن کنجد، اسید اولئیک (۴۳/۴ درصد) بود و به دنبال آن اسید لینولئیک (۳۶/۳ درصد)، اسید پالمیتیک (۱۱/۷۵ درصد) و اسید استئاریک (۶/۲۵ درصد) بودند.

**واژه‌های کلیدی:** دانه کنجد، خصوصیات مهندسی، بارگذاری شبه‌استاتیک، ترکیب شیمیایی

### مقدمه

دانه کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum L.*)، یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با آب و هوای خشک و بارانی رشد می‌کند. امروزه از این دانه به‌منظور تولید روغن خوراکی، ادویه، مواد دارویی، تهیه سوپ‌ها و مواد آرایشی استفاده می‌شود. هند، چین و سودان تولیدکنندگان اصلی دانه کنجد بوده و بیش از ۶۰ درصد تولید جهانی این محصول استراتژیک را به خود اختصاص می‌دهند. این دانه منبع غنی از روغن (۴۴ درصد) و پروتئین (۲۰-۳۳ درصد) می‌باشد. بنابراین بیش‌ترین استفاده این دانه در استخراج و تولید روغن موجود در آن است. این روغن دارای بویی ملایم و طعمی مطبوع بوده، از این رو بدون نیاز به زمستانه کردن، در تهیه سالادها مورد استفاده قرار می‌گیرد. پروتئین موجود در آن دارای نمایه‌ای غنی از اسیدهای آمینه ضروری بوده و همانند پروتئین لوبیای سویا، از ارزش تغذیه‌ای بسیار مطلوبی برخوردار است (خزایی و دانشمندی، ۲۰۰۷). به‌منظور طراحی تجهیزات فرآوری و نگهداری این دانه کاربردی، داشتن اطلاعاتی در مورد خواص فیزیکی و مکانیکی وابسته به رطوبت آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اصولاً طراحی ماشین‌های کشاورزی بدون توجه به این پارامترها ناقص و منجر به نتایج ضعیف خواهد گردید. پژوهش‌های زیادی پیرامون خواص فیزیکی و مکانیکی بسیاری از دانه‌های روغنی از جمله لوبیای سویا (دشپانده و همکاران، ۱۹۹۳)، دانه آفتابگردان (گوپتا و داس، ۱۹۹۷)، دانه کلزا (کاهسبز و همکاران، ۲۰۰۵)، دانه گلرنگ (بوملر و همکاران، ۲۰۰۶) و بذر کتان (کاسکونر و کارابابا، ۲۰۰۷) صورت گرفته است. بنا به دانش ما، تاکنون جزئیات اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی دانه کنجد در سطوح مختلف رطوبتی گزارش نشده است. بنابراین هدف از این بررسی، تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و تغذیه‌ای دانه کنجد در سطوح مختلف رطوبتی است.

## مواد و روش‌ها

تعیین ویژگی‌های فیزیکی: دانه کنجد در شهریورماه ۱۳۸۷ از مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران جمع‌آوری شد و سپس در ظروف درب‌بسته به آزمایشگاه انتقال داده شد. دانه‌ها قبل از شروع آزمایش‌ها، پاک شده و اجسام خارجی از قبیل خاک، پوشال، دانه‌های آسیب‌دیده و نارس از آن‌ها جداسازی شد. رطوبت اولیه با قرار دادن آن‌ها در یک اجاق آزمایشگاهی در حرارت  $101 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۴ ساعت براساس روش استاندارد وزنی به شماره S352.3، با تعیین رطوبت اولیه ۵/۷۵ درصد بر پایه خشک به‌دست آمد (ASAE, ۱۹۹۴). به‌منظور رسیدن به سطوح رطوبتی موردنظر در این مطالعه، دانه‌ها با اضافه شدن آب به آن‌ها و طی عملیات مشروط‌سازی در ظروف پلاستیکی به‌خوبی مخلوط شدند و سپس طبق رابطه زیر میزان رطوبت محاسبه شد (بالاسوبرامانیان ۲۰۰۱).

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

در این رابطه، Q: جرم آب اضافه شده بر حسب کیلوگرم،  $W_i$ : جرم اولیه نمونه بر حسب 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، دانه‌ها برای مدت ۷ روز در دمای  $5 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد در یخچال به‌منظور توزیع یکنواخت رطوبت در سراسر دانه نگهداری شدند (آیدین و همکاران، ۲۰۰۲). محتوای رطوبتی نمونه‌ها پس از متعادل‌سازی و قبل از انجام آزمایش‌ها تعیین شد. بر این اساس ۴ سطح رطوبتی ۴/۵۴، ۱۲/۵۷، ۱۵/۱۷ و ۱۹/۲۷ درصد بر پایه خشک تعیین گردید. با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، اندازه‌گیری‌های ابعادی (L: طول، W: عرض و T: ضخامت) برای صددانه به‌صورت تصادفی صورت پذیرفت و سپس با توجه به رابطه ۲، قطر متوسط حسابی ( $D_a$ ) و هندسی ( $D_g$ )، کرویت ( $\phi$ ) 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، به منظور تعیین وزن هزاردانه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ استفاده شد. برای اندازه‌گیری چگالی توده ( $\rho_b$ ) 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 چگالی توده به دست آمد (محسنین، ۱۹۸۶). جهت تعیین چگالی حقیقی ( $\rho_t$ ) 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 میزان تخلخل ( $\varepsilon$ ) نمونه به دست آمد (قاسمی، ۲۰۰۸).

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

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

سرعت حد با استفاده از یک سامانه ستون هوا متصل به یک دستگاه سیم داغ، بر اساس سرعت هوایی که دانه را به حالت تعلیق در می‌آورد، تشخیص داده می‌شد و ثبت می‌گردید (آکینی، ۲۰۰۴). همچنین، زاویه انبوهش با پر کردن نمونه در جعبه‌ای به ابعاد  $160 \times 140 \times 35$  میلی‌متر متصل به یک سطح لولادار و بالا آوردن سطح تا نقطه ریزش و محاسبه زاویه از روی نقاله متصل به آن ۲ محاسبه گردید (قاسمی، ۲۰۰۸). برای اندازه‌گیری ضریب اصطحکاک ایستایی ( $\mu$ ) 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 اصطحکاک ایستایی است (قاسمی، ۲۰۰۸):

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

**تعیین ویژگی‌های مکانیکی:** به منظور سنجش خواص مکانیکی و تعیین ویژگی‌های مقاومت به شکستگی دانه کنجد، آزمون مکانیکی توسط دستگاه اینسترون (Model QTS 25، ساخت انگلستان) انجام گرفت. این دستگاه پس از شکست دانه، میزان نیروی لازم برای شکست را به صورت منحنی نیرو-تغییر شکل در رایانه‌ای که به آن متصل بود ثبت می‌کرد. در هر رطوبت، دانه کنجد در دو جهت بارگذاری (افقی و عمودی) در نرخ بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه، بین دو صفحه موازی تحت اثر بارگذاری

فشرشی قرار گرفت. آزمون‌های مکانیکی مورد نظر در سه تکرار انجام شد. انرژی مصرفی ( $E_a$ ) بر حسب میلی‌ژول برای شکست نمونه نیز با محاسبه سطح زیر منحنی نیرو- تغییر شکل، به دست آمد. برای تسهیل در محاسبه انرژی جذب شده توسط نمونه از رابطه براگا و همکاران (۱۹۹۹) استفاده شد:

$$E_a = \left[ \frac{F \times \Delta L}{2} \right] \quad (9)$$

**تعیین ترکیب شیمیایی:** به منظور تعیین درصد ماده خشک دانه کنجد، دانه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفتند (AOAC, ۱۹۹۰). به منظور تعیین میزان خاکستر کل، نمونه‌ها در یک کوره آزمایشگاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۲ ساعت گذاشته شدند و پس از سوزانده شدن مواد آلی، مواد باقی‌مانده به عنوان میزان خاکستر محاسبه شد (AOAC, ۱۹۹۰). نیتروژن کل با استفاده از روش کج‌لدال تعیین گردید و سپس با ضرب میزان نیتروژن در فاکتور ۶/۲۵، میزان پروتئین دانه کنجد به دست آمد (AOAC, ۱۹۹۰). جهت محاسبه میزان چربی، از روش سوکسیله و حلال هگزان برای مدت ۸ ساعت استفاده شد. درجه تبخیر حلال، ۷۰-۶۸ درجه سانتی‌گراد بود (AOAC, ۱۹۹۰). با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Perkin-Elmer® Model 2380)، پس از هضم دانه در مخلوط اسید نیتریک و اسید پرکلریدریک ( $\text{HNO}_3: \text{HClO}_4; 4:1$ ) میزان غلظت عناصر معدنی موجود در دانه کنجد نظیر کلسیم، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس با توجه به منحنی استاندارد آن‌ها به دست آمد (کاباس و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین، میزان فسفر با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب نوری (Spectronic Genesys™ 10, GENEQ) ساخت کانادا، در طول موج ۴۳۰ نانومتر محاسبه شد (کاباس و همکاران، ۲۰۰۰). ترکیب اسید چرب موجود در روغن کنجد با استفاده از کروماتوگرافی گازی، پس از مشتق‌سازی به استرهای متیل اسید چرب با هیدرواکسید سدیم ۰/۵ نرمال در متانول در دمای اتاق انجام شد (AOAC, ۱۹۹۰). دستگاه کروماتوگرافی گازی (Varian 3400) مجهز به شناساگر FID، گاز حامل هلیوم با دبی جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و دمای شناساگر و تزریق‌کننده ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد بود.

**تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن کنجد:** pH، اندیس شکست، عدد یدی، عدد پراکسید و عدد اسیدی روغن کنجد براساس روش (AOAC, ۱۹۹۰) تعیین شد. دانسیته با استفاده از دانسیتومتر (AP PAAR, DMA 46) ساخت آلمان و ویسکوزیته با استفاده از ویسکومتر (Brookfield) ساخت آمریکا) محاسبه شد. کلروفیل با توجه به روش (AOCS, ۱۹۹۷) با استفاده از اسپکتروفتومتر

رنگ و قرمز روغن کنجد با استفاده از روش لایباند براساس روش (AOAC، ۱۹۹۰) تعیین شد.

### نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی دانه کنجد: داده‌های تجربی برای ابعاد دانه کنجد در جدول ۱ تابعی از محتوای رطوبتی آمده است. سه محور اصلی دانه کنجد با افزایش محتوای رطوبتی افزایش یافتند. بنابراین با توجه به رابطه‌های ۲ و ۳، میانگین قطر هندسی و حسابی دانه با افزایش رطوبت، افزایش یافت. افزایش ابعاد محوری به انبساط یا تورم دانه‌ها در اثر جذب آب در فضاهای بین سلولی نسبت داده می‌شود (کاکاتای سیلوی، ۲۰۰۶). جدول ۲، مقادیر به دست آمده برای سایر ویژگی‌های فیزیکی دانه کنجد مانند وزن هزاردانه، مساحت، کرویت، دانسیته توده، دانسیته حقیقی، تخلخل، زاویه انبوهش، سرعت حد و ضرایب اصطکاک ایستایی در سطوح مختلف را در دامنه رطوبتی ۱۹/۲۷-۴/۵۴ درصد (بر پایه خشک) نشان می‌دهد. همچنین این جدول، روابط مابین این شاخص‌ها با محتوای رطوبتی را با ارایه ضریب همبستگی آن‌ها نمایان می‌سازد. بر این اساس، تمامی شاخص‌های یادشده برای دانه کنجد در دامنه رطوبتی ۱۹/۲۷-۴/۵۴ درصد (بر پایه خشک) به استثنای دانسیته توده افزایش یافتند (شکل ۸-۱). این نتایج قبلاً توسط کاکاتای سیلوی (۲۰۰۶) برای پنبه دانه و کاسکونر و کارابابا (۲۰۰۷) برای بذر کتان به اثبات رسیده است.

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد ابعاد اصلی و میانگین‌های حسابی و هندسی دانه کنجد.

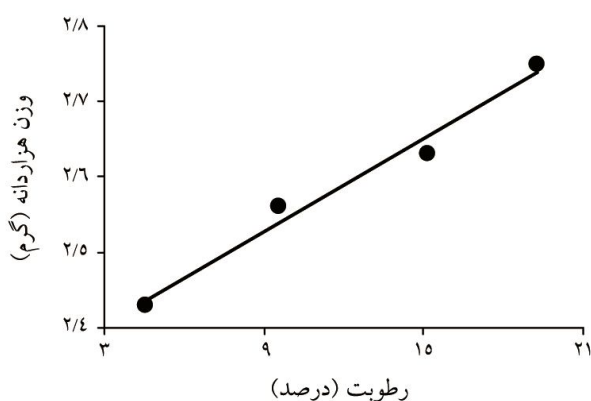
درصد رطوبت (بر پایه خشک)	ابعاد محوری (میلی‌متر)			قطر متوسط (میلی‌متر)	
	طول (L)	عرض (W)	ضخامت (T)	میانگین حسابی	میانگین هندسی
۴/۵۴	۲/۹۳±۰/۰۷۸	۱/۷۴±۰/۰۶۵	۰/۷۸±۰/۰۴۶	۱/۸۱	۱/۵۸
۱۲/۵۷	۲/۹۶±۰/۰۹۲	۱/۷۵±۰/۰۶۶	۰/۸۲±۰/۰۴۴	۱/۸۴	۱/۶۱
۱۵/۱۷	۲/۹۸±۰/۰۸۱	۱/۷۷±۰/۰۶۱	۰/۸۳±۰/۰۴۵	۱/۸۶	۱/۶۳
۱۹/۲۷	۳/۰۱±۰/۰۷۶	۱/۷۸±۰/۰۶۰	۰/۸۶±۰/۰۳۸	۱/۸۸	۱/۶۶

جدول ۲- روابط مابین محتوای رطوبتی دانه کنجد با ویژگی‌های فیزیکی آن در دامنه رطوبتی

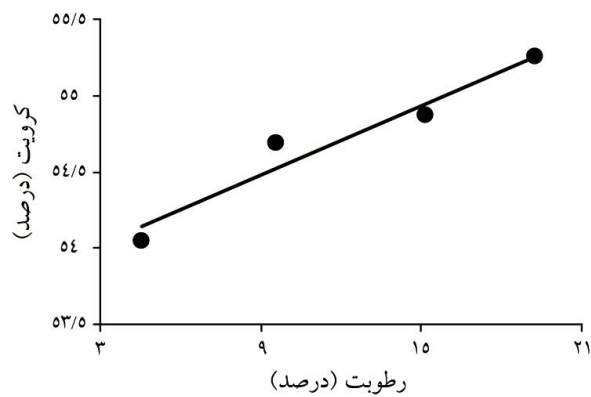
R <sup>۲</sup>	معادلات	مقدار شاخص		واحد	علائم	ویژگی‌های فیزیکی
		رطوبت اولیه <sup>a</sup>	رطوبت نهایی <sup>b</sup>			
۰/۹۷۷	$W_{1...} = ۲/۳۴۳ + ۰/۰۲۰۵ Mc^*$	۲/۷۵	۲/۴۳	گرم	(W <sub>۱...</sub> )	وزن هزاردانه
۰/۹۹۱	$S = ۶/۴۹۵ + ۰/۰۴۰ Mc$	۷/۳۵	۶/۶۸	میلی‌مترمربع	(S)	مساحت
۰/۹۴۴	$\phi = ۵۳/۷۹ + ۰/۰۷۶ Mc$	۵۵/۲۵	۵۴/۰۴	درصد	( $\phi$ )	کرویت
۰/۹۹۵	$\rho_b = ۵۴۹/۲۱ - ۰/۰۷۷۱ Mc$	۵۷۹/۵	۵۹۱	کیلوگرم بر مترمکعب	( $\rho_b$ )	دانسیته توده
۰/۹۹۱	$\rho_t = ۱۱۹۹/۱ + ۱/۹۶۹ Mc$	۱۲۳۶/۸	۱۲۰۷	کیلوگرم بر مترمکعب	( $\rho_t$ )	دانسیته حقیقی
۰/۹۹۳	$\varepsilon = ۵۰/۴۳ + ۰/۱۴۲ Mc$	۵۱/۱۲	۵۱/۰۳	درصد	( $\varepsilon$ )	تخلخل
۰/۹۹۲	$\alpha = ۳۱/۰۳۴ + ۰/۰۸۷ Mc$	۳۲/۸	۳۱/۵	درجه	( $\alpha$ )	زاویه انبوهش
۰/۹۹۸	$V_t = ۴/۸۰۱ + ۰/۰۳۰۲ Mc$	۵/۴	۴/۹۵	متر بر ثانیه	(V <sub>t</sub> )	سرعت حد
						ضرایب اصطکاک ایستایی
۰/۹۹۸	$\mu_{ms} = ۰/۴۸۵ + ۰/۰۰۲۸ Mc$	۰/۵۴	۰/۵۰	-	( $\mu_{ms}$ )	استیل زنگ‌نزن
۰/۹۹۸	$\mu_g = ۰/۳۹۵ + ۰/۰۰۲۸ Mc$	۰/۴۵	۰/۴۱	-	( $\mu_g$ )	ورق آهن گالوانیزه
۰/۹۹۵	$\mu_p = ۰/۵۳۴ + ۰/۰۰۱۳ Mc$	۰/۵۶	۰/۵۴	-	( $\mu_p$ )	چوب چندلایه

\* Mc: محتوای رطوبتی

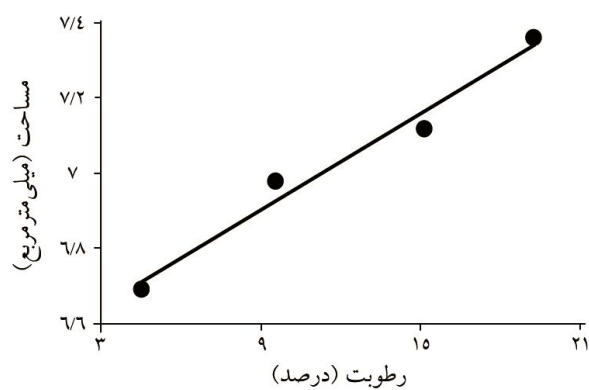
<sup>a</sup> رطوبت اولیه: ۴/۵۴ درصد بر پایه خشک، <sup>b</sup> رطوبت نهایی: ۱۹/۲۷ درصد بر پایه خشک



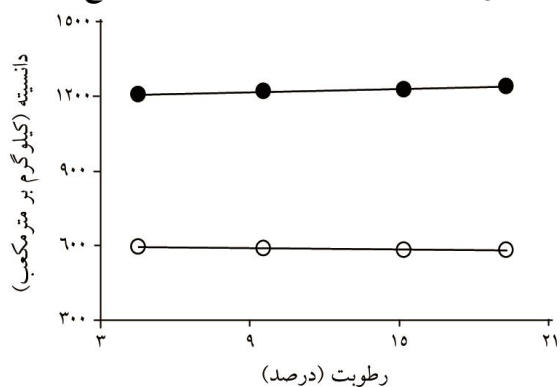
شکل ۱- اثر محتوای رطوبتی بر میزان وزن هزاردانه.



شکل ۲- اثر محتوای رطوبتی بر میزان شاخص کرویت.

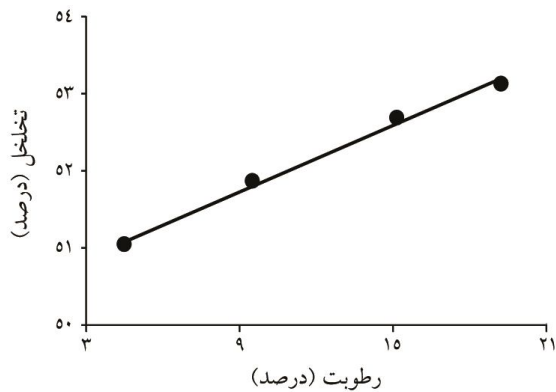


شکل ۳- اثر محتوای رطوبتی بر میزان مساحت سطح.

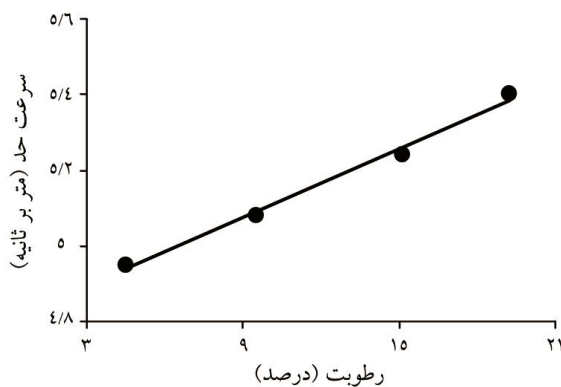


شکل ۴- اثر محتوای رطوبتی بر میزان دانسیته حقیقی (●) دانسیته توده (○).

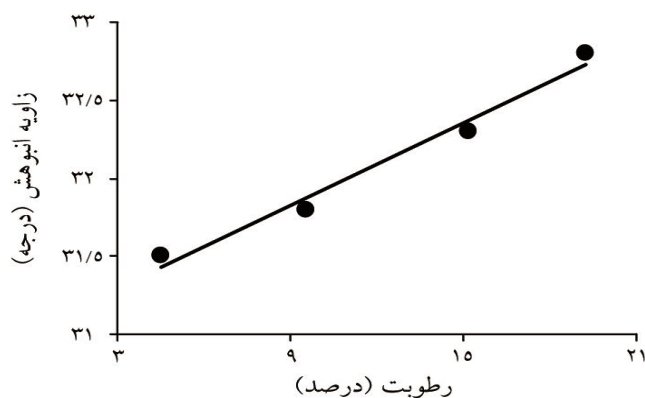




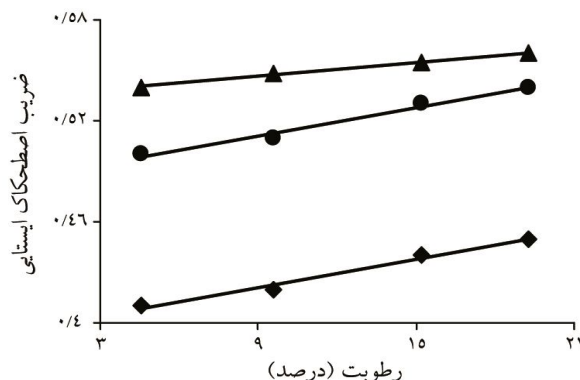
شکل ۵- اثر محتوای رطوبتی بر میزان تخلخل.



شکل ۶- اثر محتوای رطوبتی بر سرعت حد.



شکل ۷- اثر محتوای رطوبتی بر زاویه انبوهش.



شکل ۸- اثر محتوای رطوبتی بر ضریب اصطکاک ایستایی: استیل (●) شبشه (■) چوب چندلایه (▲).

وزن هزاردانه، شاخص مؤثر و مفیدی در تعیین قطر معادل است و می‌تواند برای تخمین تئوریک حجم دانه و همچنین در پاک کردن آن‌ها با استفاده از نیروهای آئرو دینامیکی به کار گرفته شود. افزایش این شاخص را می‌توان به جذب رطوبت به وسیله دانه‌های کنجد با افزایش محتوای رطوبتی نسبت داد. افزایش شاخص کرویت، به دلیل افزایش در ابعاد اصلی دانه کنجد با افزایش محتوای رطوبتی و بنا به رابطه ۴ قابل توجیه می‌باشد (آلتون‌تاس و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، با توجه به افزایش ابعاد اصلی دانه کنجد با افزایش رطوبت و در نتیجه افزایش قطر هندسی، بنا به رابطه ۵، افزایش مساحت سطح دور از انتظار نمی‌باشد. کاهش در دانسیته توده با افزایش محتوای رطوبتی نشان می‌دهد که افزایش جرم دانه در نتیجه جذب رطوبت، کمتر از انبساط حجمی توده دانه با افزایش رطوبت است. این در حالی است که افزایش در دانسیته حقیقی با افزایش رطوبت به حجم حقیقی کم‌تر دانه کنجد در مقایسه با جرم متناظر آن به دلیل جذب آب نسبت داده می‌شود. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده از دانسیته توده و حقیقی، افزایش تخلخل دانه بنا به رابطه ۷ قابل توجیه است (گوپتا و داس، ۱۹۹۷).

افزایش سرعت حد با افزایش در دامنه رطوبتی مورد بررسی می‌تواند به دلیل افزایش در جرم دانه‌های کنجد و مقاومت بیش‌تر این دانه‌ها در برابر جریان هوا باشد (سینگ و گوس‌وامی، ۱۹۹۶). زاویه انبوهش، برترین شاخص در طراحی دهانه ناودان‌های تخلیه‌کننده مواد اولیه، تعیین شیب دیواره‌های کناری سیلوها و مجراهای خروجی انتقال‌دهنده‌های حجیم میوه‌ها و دانه‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد در رطوبت‌های بالاتر، دانه‌های کنجد 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. به همین دلیل این شاخص با افزایش محتوای رطوبتی افزایش یافت (آلتونتاس و همکاران، ۲۰۰۵). ضرایب اصطکاک ایستایی، در طراحی ابعاد محفظه خوراک‌دهی دستگاه‌های فرآوری، مخازن سیلومانی مواد اولیه و سایر سامانه‌های حمل و نقل و نگهداری مواد جامد حجیم به منظور جلوگیری از توقف جریان مواد جامد دارای اهمیت می‌باشند. افزایش این شاخص با افزایش رطوبت، به چسبندگی بیش‌تر مابین دانه‌ها و سطوح مورد بررسی نسبت داده می‌شود. به نظر می‌رسد، چوب چندلایه چسبندگی بیش‌تر و پویایی کم‌تری نسبت به سطوح دیگر برای دانه کنجد به وجود آورده است (آلتونتاس و همکاران، ۲۰۰۵).

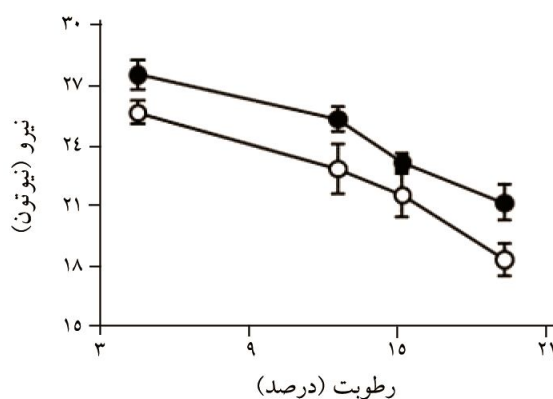
**ویژگی‌های مکانیکی دانه کنجد:** جدول ۳، مقادیر نیرو و انرژی مورد نیاز را برای شکست دانه کنجد در دو جهت بارگذاری افقی و عمودی (در نرخ بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه) در دامنه رطوبتی ۱۹/۲۷-۴/۵۴ درصد بر پایه خشک نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، با افزایش رطوبت، نیروی مورد نیاز برای شکست دانه کنجد در هر دو جهت کاهش یافت. به‌طوری‌که با افزایش محتوای رطوبتی در حالت افقی از ۲۷/۵۶ تا ۲۲/۲۰ نیوتن و در حالت عمودی از ۲۵/۶۶ تا ۱۸/۳۶ نیوتن کاهش یافت (شکل ۹). دلیل این امر، نرم شدن دانه در اثر جذب رطوبت و به دنبال آن، نیاز به نیروی کمتر است. بنابراین، میزان نیروی مورد نیاز برای شکست دانه در حالت افقی بیش‌تر از حالت عمودی است. مشابه این نتایج برای دانه‌های گلرنگ و زیره نیز به اثبات رسیده است (بوملر و همکاران، ۲۰۰۶؛ سعیدی‌راد و همکاران، ۲۰۰۸). به نظر می‌رسد، دانه در حالت عمودی از انعطاف‌پذیری بیش‌تری نسبت به حالت افقی برخوردار است و همین امر موجبات مقاومت بیش‌تر دانه را فراهم می‌نماید (بوملر و همکاران، ۲۰۰۶). به‌علاوه، در حالت عمودی سطح کم‌تری از دانه در برابر صفحات فشرده‌کننده قرار دارد و این مسأله باعث گستردگی بیشتر تنش اعمال شده به دانه‌های کنجد شده است (سعیدی‌راد و همکاران، ۲۰۰۸). گوپتا و داس (۲۰۰۰)، مقاومت در برابر شکست دانه آفتابگردان و مغز آن را در برابر بارگذاری فشرشی تحت‌تأثیر رطوبت مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که دانه آفتابگردان در حالت عمودی نسبت به حالت افقی از انرژی بیشتری برای شکست برخوردار است. بوملر و همکاران (۲۰۰۶)، علت این تفاوت را به اختلاف شکل هندسی دو دانه آفتابگردان و گلرنگ نسبت دادند. میزان انرژی جذب شده توسط دانه نیز با افزایش محتوای رطوبتی در جهت افقی از ۱۵/۸۴ تا ۱۸/۳۳ میلی‌ژول و در جهت عمودی از ۱۵/۵۲ تا ۱۸/۰۸ میلی‌ژول افزایش یافت (جدول ۳).

انرژی جذب شده بنا به رابطه ۹، تحت تأثیر دو عامل نیرو و میزان تغییر شکل می‌باشد. در محتوای رطوبتی پایین، نیروی مورد نیاز برای شکست دانه زیاد و میزان تغییر شکل دانه کم بود. بالعکس، در رطوبت‌های بالا، میزان نیرو کم و تغییر شکل زیاد بود (شکل ۱۰). این حقیقت نشان می‌دهد که، انرژی جذب شده توسط دانه با افزایش رطوبت، به دلیل مقاومت بیشتر دانه در برابر شکست افزایش می‌یابد (سعیدی‌راد و همکاران، ۲۰۰۸). خزائی (۲۰۰۲) نیز، افزایش انرژی جذب شده توسط دانه نخود را در طی بارگذاری فشرشی شبه‌استاتیک مشاهده کرد. این مسأله با کاهش درصد شکست دانه در طی بارگذاری دینامیک قابل بررسی است.

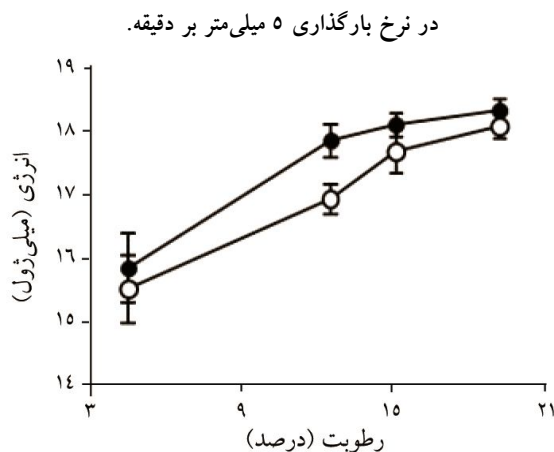
جدول ۳- مقادیر نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکست دانه کنبج در دو جهت بارگذاری و در نرخ بارگذاری ۵<sup>a</sup> میلی‌متر بر دقیقه.

جهت بارگذاری				رطوبت (درصد)
انرژی (میلی ژول)		نیرو (نیوتن)		
عمودی	افقی	عمودی	افقی	
۱۵/۸۴±۰/۹۵	۱۵/۵۲±۰/۶۵	۲۷/۵۶±۱/۲۵	۲۵/۶۶±۱/۰۱	۴/۵۴
۱۷/۸۶±۰/۴۵	۱۶/۹۳±۰/۴۱	۲۵/۳۴±۱/۰۲	۲۲/۸۹±۲/۱۱	۱۲/۵۷
۱۸/۱۱±۲/۹۵	۱۷/۶۸±۰/۶۱	۲۳/۲۲±۰/۷۸	۲۱/۵۷±۱/۸۹	۱۵/۱۷
۱۸/۳۳±۲/۹۶	۱۸/۰۸±۰/۳۳	۲۱/۲۰±۱/۵۶	۱۸/۳۶±۱/۴۴	۱۹/۲۷

<sup>a</sup> همه آزمایش‌ها در سه تکرار و به صورت میانگین ± خطای استاندارد بیان شده است.



شکل ۹- اثر محتوای رطوبتی بر میزان نیروی شکست در دو جهت بارگذاری (●: افقی، ○: عمودی)



شکل ۱۰- اثر محتوای رطوبتی بر میزان انرژی شکست در دو جهت بارگذاری (●: افقی، ○: عمودی) در نرخ بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه.

ویژگی‌های شیمیایی دانه کنجد: نتایج تجزیه شیمیایی دانه کنجد در جدول ۴ آمده است. میانگین مقادیر رطوبت، فیبر خام، خاکستر، پروتئین (نیترژن  $\times 6/25$ )، چربی و کربوهیدرات موجود در این دانه به ترتیب ۵/۶، ۳/۷۶، ۸/۱۱، ۳۱/۸۴، ۴۵/۵۷ و ۱/۹۷ درصد به دست آمد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که دانه کنجد منبع غنی از روغن و پروتئین می‌باشد. بنابراین، میزان روغن این دانه در مقایسه با سیاه‌دانه (۲۰-۱۲ درصد) و دانه کتان پرزدار<sup>۱</sup> (۳۷/۸-۳۵/۵ درصد) به مراتب بیشتر است. در حالی که میزان پروتئین دانه کنجد، کمی بیشتر از سیاه‌دانه (۲۰/۸۵ درصد) و کم‌تر از دانه کتان پرزدار (۴۳-۴۰ درصد) می‌باشد (چیخ‌روحو و همکاران، ۲۰۰۷؛ مانی‌می‌هالای و ویس‌واناتان، ۲۰۰۶). ترکیب عناصر معدنی دانه کنجد نشان می‌دهد که کلسیم غالب‌ترین عنصر موجود در این دانه بوده و به دنبال آن فسفر، پتاسیم و منیزیم قرار دارد. متوسط مقدار کلسیم ۰/۹۸ درصد وزن خشک دانه کنجد ارزیابی شد، در حالی که میانگین مقادیر فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و منگنز به ترتیب ۵۰۸، ۴۸۶/۷، ۲۸۸/۲، ۱۰/۷، ۸/۳۶ و ۵/۱۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک محاسبه شد. مقادیر به دست آمده پروتئین، فسفر و روی در این پژوهش با نتایج الوچ و همکاران (۲۰۰۷) مشابهت داشت.

1- Fuzzy cottonseed

جدول ۴- بعضی از ترکیبات شیمیایی و عناصر معدنی تشکیل دهنده دانه کنجد

مقادیر تعیین شده <sup>a</sup>	مواد معدنی	مقادیر تعیین شده <sup>a</sup>	ترکیبات شیمیایی
۰/۹۸±۰/۱۳	کلسیم <sup>b</sup>	۵/۶±۰/۱	رطوبت
۵۰۸±۲۶/۷۲	فسفر <sup>c</sup>	۳/۷۶±۰/۱	فیبر خام <sup>b</sup>
۴۸۶۷±۱۲/۵۶	پتاسیم <sup>c</sup>	۸/۱۱±۰/۲۴	خاکستر <sup>b</sup>
۲۸۷۲±۲۷/۴۲	منیزیم <sup>c</sup>	۵/۰۹±۰/۴۷	ازت <sup>b</sup>
۱۰/۷±۰/۳۵	آهن <sup>c</sup>	۳۱/۸۴±۰/۳۹	پروتئین <sup>b</sup>
۸/۳۶±۰/۶۱	روی <sup>c</sup>	۴۵/۵۷±۰/۶۱	چربی <sup>b</sup>
۵/۱۱±۰/۷۳	منگنز <sup>c</sup>	۱/۹۷±۰/۰۱	کربوهیدرات <sup>b</sup>

<sup>a</sup> همه آزمایش‌ها در سه تکرار و به صورت میانگین ± خطای استاندارد بیان شده است.

<sup>b</sup> بر حسب درصد ماده خشک دانه کنجد، <sup>c</sup> بر حسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک، ۶/۲۵ × میزان ازت = پروتئین

ترکیب اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن کنجد در جدول ۵ آمده است. بر این اساس، فراوان‌ترین اسید چرب موجود در این روغن، اسید اولئیک (۴۳/۴ درصد) بود و پس از آن، اسید لینولئیک (۳۶/۳ درصد)، اسید پالمیتیک (۱۱/۷۵ درصد) و اسید استئاریک (۶/۲۵ درصد) قرار داشتند. این نتایج با یافته‌های الوچ و همکاران (۲۰۰۷)، تفاوت اندکی داشت. علت این تفاوت را می‌توان به تفاوت در نوع واریته، محل جغرافیایی، آب و هوا و تیمارهایی چون اضافه کردن کود در طی دوره رشد گیاه دانست. همچنین این تفاوت را می‌توان به تفاوت در میزان رسیدگی دانه در زمان برداشت، نحوه نگهداری و حمل و نقل و حتی شرایط متفاوت استخراج روغن نسبت داد (کریوس و همکاران، ۲۰۰۵).

جدول ۶، ویژگی‌های کیفی فیزیکی و شیمیایی روغن کنجد را نشان می‌دهد. عدد پراکسید، عدد اسیدی و عدد یدی روغن کنجد به ترتیب ۲/۲۱ میلی‌اکی‌والان پراکسید هیدروژن، ۵/۶۵ میلی‌گرم بر گرم و ۱۰۰/۰۳ گرم ید بر ۱۰۰ گرم روغن ارزیابی شد. آزمون تعیین رنگ با استفاده از روش لایباند مشخص نمود که میزان قرمزی روغن ۰/۶۲ و میزان زردی آن ۳/۱ است. همچنین، میزان کلروفیل با روش اسپکتوفتومتری ۰/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. میزان دانسیته، ویسکوزیته ظاهری، اندیس شکست در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و pH روغن کنجد به ترتیب ۰/۹۲۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ۲۳/۴ سنتی‌پواز بر ثانیه، ۱/۴۷ و ۵/۴۱ ارزیابی شد. همه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

روغن کنجد مورد مطالعه در این پژوهش با روغن یکی از ارقام مورد مطالعه (محلی سفید) توسط صباح الخیر و همکاران (۲۰۰۸) مشابهت داشت.

جدول ۵- پروفایل اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن بدست آمده از دانه کنجد

اسیدهای چرب	مقادیر تعیین شده <sup>a</sup>
اسید پالمیتیک (C16:0)	۱۱/۷۵±۰/۲۶
اسید پالمیتولئیک (C16:۱)	۰/۱۹±۰/۲
اسید استئاریک (C18:0)	۶/۲۵±۰/۳
اسید اولئیک (C18:۱ n=9)	۴۳/۴±۰/۱۲
اسید واکسنیک (C18:۱ n=11)	۰/۹۱±۰/۰۵
اسید لینولئیک (C18:۲)	۳۶/۳±۰/۲
اسید لینولئیک (C18:۳)	۰/۶±۰/۰۷
اسید آراشیدیک (C20:۱)	۰/۶۴±۰/۰۲
مجموع اسید های چرب چند غیر اشباع (P)	۳۶/۹
مجموع اسید های چرب غیر اشباع (U)	۸۲/۰۴
مجموع اسید های چرب چند اشباع (S)	۱۸
P/S	۲/۰۵
U/S	۴/۵۵

<sup>a</sup>تعیین نوع و میزان اسیدهای چرب روغن کنجد در سه تکرار و به صورت میانگین ± خطای استاندارد بیان شده است.

P: (C18:2 + C18:3)؛ S: اسیدهای چرب اشباع (C16:0 + C18:0)

U: اسیدهای چرب غیر اشباع (C16:1 + C18:1 (n=9) + C18:1 (n=11) + C18:2 + C18:3 + C20:1)

جدول ۶- ویژگی های کیفی فیزیکی و شیمیایی روغن کنجد.

ویژگی های شیمیایی	مقادیر تعیین شده <sup>a</sup>	ویژگی های فیزیکی	مقادیر تعیین شده <sup>a</sup>
عدد پراکسید (meq H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Kg)	۲/۲۱±۰/۰۵	pH	۵/۴۱±۰/۰۷
عدد اسیدی (میلی گرم بر گرم)	۵/۶۵±۰/۰۵	دانسیته (کیلوگرم بر مترمکعب)	۰/۹۲۲۰±۰/۰۰۰۸
عدد یدی (g I <sub>2</sub> /۱۰۰ g oil)	۱۰۰/۰۳±۰/۸۵	اندیس شکست (در ۴۰ درجه سانتی گراد)	۱/۴۷۰±۰/۰۰۱
رنگ روغن (زرد)	۳/۱±۰/۱	ویسکوزیته (cps)	۲۳/۴۰±۰/۱۶
رنگ روغن (قرمز)	۰/۶۲±۰/۰۴		
کلروفیل (میلی گرم بر کیلوگرم)	۰/۱۶±۰/۰۴		

<sup>a</sup> همه آزمایش ها در سه تکرار و به صورت میانگین ± خطای استاندارد بیان شده است.

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.
- AOAC. 1990. Official methods of analyses. Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC.
- AOCS. 1997. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (5<sup>th</sup> ed). Champaign, IL: AOCS Press.
- ASAE. 1994. ASAE standards S352.3-moisture measurement-ungrounded grains and seeds. In M.I. St. Joseph,
- 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.
- 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.
- Braga, G.C., Couto, S.M., Hara, T., and Neto, J.T.P.A. 1999. Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72: 239-245.
- 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.
- Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., and Attia, H. 2007. *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. *Food Chemistry*, 101: 673-681.
- Coskuner, Y., and Karababa E. 2007. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 78: 1067-1073.
- Crews, C., Hough, P., Godward, J., Brereton, P., Lees, M., Guiet, S., and Winkelmann, W. 2005. Study of the main constituents of some authentic walnut oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4853-4860.
- Deshpande, S.D., Bal, S., and Ojha, T.P. 1993. Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 56: 89-98.
- Cuniberti, E.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.



- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., and Attia H. 2007. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry*, 103: 641-650.
- Gupta, R.K., and Das, S.K. 1997. Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 661: 1-8.
- Gupta, R.K., and Das, S.K. 2000. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46: 1-8.
- 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.
- Khazaei, J., and Daneshmandi, S. 2007. Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. *International Agrophysics*, 21: 335-348.
- Khazaei, J. 2002. Determination of force required to pea pod harvesting and mechanical resistance to impact. Ph.D. Thesis, Faculty of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.
- Manimehalai, N., and Viswanathan R. 2006. Physical properties of fuzzy cottonseeds. *Biosystems Engineering*, 95: 207-217.
- Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plants and Animal Materials. Gordon and Breach Sci. Publ., NewYork.
- Sabah El Khier, M.K., Ishag, K.E.A., and Yagoub, A.E. 2008. Chemical composition and oil characteristics of sesame seed cultivars grown in Sudan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4: 761-766.
- Saiedirad, M.H., Tabatabaeefar, A., Borghei, A., Mirsalehi, M., Badii, F., and Ghasemi, M. 2008. Effects of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (*Cuminum cyminum* Linn.) under quasi-static loading. *Journal of Food Engineering*, 86: 565-572.
- Singh, K.K., and Goswami, T.K. 1996. Physical properties of cumin seed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64: 93-98.
- Varnamkhasti, 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.

## Evaluation of Physical, Mechanical and Nutritional Properties of Sesame Seed (*Sesamum Indicum* L.) in Different Moisture Contents for the Optimization of the Processing Operation

\*S.M.T. Gharibzahedi<sup>1</sup>, S.M. Mousavi<sup>2</sup> and S.H. Razavi<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Dept. of Food Science and Engineering, University of Tehran

### Abstract

In this study, moisture dependent physical, mechanical and nutritional properties of sesame seed were evaluated. In the moisture range of 4.54–19.27% (d.b.), seed length, width, thickness, arithmetic mean diameter and geometric mean diameter increased linearly from 2.93 to 3.01 mm, 1.74 to 1.78 mm, 0.78 to 0.86 mm, 1.81 to 1.88 mm and 1.58 to 1.66 mm respectively with increase in moisture content. The sphericity, surface area, one thousand seed mass, true density and porosity increased from 54.04 to 55.25%, 6.68 to 7.35 mm<sup>2</sup>, 2.43 to 2.75 g, 1207 to 1236.8 kg/m<sup>3</sup> and 51.03 to 53.12%, respectively, while bulk density decreased from 591 to 579.5 kg/m<sup>3</sup>. The terminal velocity and angle of repose increased from 4.95 to 5.4 m/s and 31.5 to 32.8°, respectively. The highest static coefficient of friction was found on the plywood surface. The static coefficient of friction increased from 0.54 to 0.56, 0.50 to 0.54 and 0.41 to 0.45 for plywood, steel and galvanized iron sheet, respectively. The results of mechanical test showed that the force required for initiating seed rupture decreased from 25.66 to 18.36 N and 27.56 to 21.20 N, and the energy absorbed at seed rupture increased from 15.52 to 18.08 mJ and 15.84 to 18.33 mJ, with increase in moisture content from 4.54% to 19.27% d.b., for vertical and horizontal orientations, respectively. Sesame seeds contained high amounts of oil (46.57%), crude protein (23.75%) and calcium (0.98%). The mineral contents of the seed for Phosphorus, Potassium, Magnesium and Iron were 508.3, 486.7, 288.2 and 10.7 mg/100g of dry matter, respectively. The major fatty acids were oleic acid (43.4%), followed by linoleic acid (36.3%), palmitic acid (11.75%) and stearic acid (6.25%).

**Keywords:** Sesame seed; Engineering properties; Quasi-static loading; Chemical composition

---

\* Corresponding Author; Email: [smt.gharibzahedi@gmail.com](mailto:smt.gharibzahedi@gmail.com)