DOI: http://dx.doi.org/10.22092/jsb.2014.5047

تأثیر میزان رطوبت بر برخی خواص فیزیکی بذر چغندرقند

Effect of moisture content on some physical properties of sugar beet seed

داود قنبریان[1*] و فاطمه سالک[2]

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش:۹۲/۵/۲۷

د. قنبریان و ف. سالک. ۱۳۹۳. تأثیر میزان رطوبت بر برخی خواص فیزیکی بذر چغندرقند. **چغندرقند،۳۰(۱): ۸۸- ۷۵**

چکیده

در این تحقیق برخی خواص فیزیکی بذر دو رقم چغندرقند به نام‌های ''شیرین'' و گدوک (٤٣٦) به عنوان تابعی از محتوای رطوبت بذر مورد بررسی قرار گرفت. این خواص عبارت از: طول، عرض، ضخامت، میانگین‌های حسابی و هندسی ابعاد، ضریب کرویت، وزن هزار دانه، زاویه انباشتگی، سرعت حد، چگالی واقعی، چگالی ظاهری، تخلخل و ضریب اصطکاک ایستایی بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل دو رقم بذر و چهار سطح رطوبتی بذر (به میزان‌های ٨/٤، ٩/٨، ١١/٩ و ١٤ درصد) اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت، مقادیر طول، عرض و ضخامت بذر رقم ''شیرین'' به ترتیب ١١/٣٧، ١٥/٦١ و ٨/٨٢ درصد و بذر رقم گدوک (٤٣٦) به ترتیب ٥، ٤/٥٤، ٦/٦٩ درصد، افزایش یافتند. میانگین‌های حسابی و هندسی ابعاد، ضریب کرویت، وزن هزار دانه، زاویه انباشتگی و سرعت حد نیز در هر دو رقم با افزایش رطوبت، افزایش یافتند. این در حالی بود که چگالی واقعی، چگالی ظاهری و تخلخل با افزایش رطوبت، به صورت خطی کاهش یافتند.ضریب اصطکاک بذور هر دو رقم، بر روی چهار سطح لاستیک، تخته سه لایه، فولاد گالوانیزه و آلومینیوم، با افزایش رطوبت افزایش یافتند. بیشترین ضریب اصطکاک برای بذر هر دو رقم بر روی سطح لاستیکی و کمترین آن بر روی سطح فولاد گالوانیزه به دست آمد. معادلات رگرسیونی مربوط به خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده بر حسب محتوای رطوبت بذر تعیین و با استفاده از تجزیه واریانس مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که معادلات حاصله می‌توانند در سایر سطوح رطوبتی نیز برای پیش بینی خواص فیزیکی مورد بررسی در این تحقیق، به کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی، رقم، ضریب اصطکاک، قطر بذر

۱- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد- شهرکرد *- نویسنده مسئول dghanbarian@yahoo.com

۲ - دانشجوی کارشناسی‌ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهرکرد- شهرکرد

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris*) گیاهی دوساله از تیره اسفناجیان است که در شرایط آب و هوایی مختلفی رشد می‌کند. تولید شکر در جهان در سال ۲۰۱۱ در حدود ۱۷۲ میلیون تن بوده است که از این مقدار ۲۰ درصد از چغندرقند و ۸۰ درصد از نیشکر تأمین می‌شود. سطح زیرکشت چغندرقند در ایران در حدود ۱۰۰ هزار هکتار است که سالانه حدود چهار میلیون تن چغندرقند تولید می‌شود (FAO 2011). تولید این محصول به‌وسیله کاشت بذرهای فرآوری شده آن انجام می‌شود. بذر چغندرقند پس از برداشت جهت آماده شدن برای کاشت در معرض عملیات مختلف مکانیکی ازجمله بوجاری، درجه‌بندی، تهویه، پلتینگ و انتقال نیوماتیکی قرار می‌گیرد (Kockelmann *et al.* 2010; Bisht and Ahlawat 1999; McCormack 2004). برای طراحی، ساخت و بهینه‌سازی تجهیزات و ماشین‌های مربوط به اجرای این عملیات، اطلاع از خواص فیزیکی بذر مانند اندازه، شکل، حجم، چگالی، تخلخل، ضریب اصطکاک، سرعت حد و سایر صفات آن‌ها لازم و ضروری است (Kassab 2006; Al-Mahasneh and Rababah 2007).

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی صورت گرفته است. سینگ و همکاران (Singh *et al.* 2010) خواص فیزیکی دانه‌های ارزن را مورد مطالعه قرار دادند. ویژگی‌های فیزیکی بذرهای بادمجان توسط حزباوی و همکاران (Hazbavi *et al.* 2008) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اهمیت استراتژیک گندم و جو و کاربرد خواص فیزیکی مکانیکی این دو محصول در طراحی و ساخت ماشین‌های مربوطه، مطالعات نسبتاً وسیعی به بررسی ویژگی‌های این دو محصول اختصاص یافته‌اند (Rajabipour *et al.* 2006; Aghajani *et al.* 2012; Tabatabaeefar 2003; Al-Mahasneh 2006). در تحقیق انجام شده توسط جایان و کومار (Jayan and Kumar 2004) پارامترهای طراحی دستگاه‌های کارنده با توجه به خواص فیزیکی دانه‌های ذرت و کتان تعیین شدند. خواص فیزیکی سه واریته مهم سویا توسط فرهنگ‌مهر و همکاران (Farhangmehr *et al.* 2010) و خواص مکانیکی سه رقم دیگر از این محصول توسط عالمی و همکاران (Alemi *et al.* 2009) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات مشابهی نیز بر روی سایر بذرها و دانه‌های محصولات کشاورزی انجام شده است که در بین آن‌ها می‌توان به تحقیق از ارسلان (Özarslan 2002) برای دانه‌پنبه، ساسیلیک و همکاران (Sacilik *et al.* 2003) برای دانه کنف، ویلشه و همکاران (Vilche *et al.* 2003) برای دانه کینوا (Quinoa)، امین و همکاران(Amin *et al.* 2004) برای عدس، رضوی و همکاران (Razavi *et al.* 2009) برای کانولا، اورتلو و همکاران (Yurtlu *et al.* 2010) برای بذر برگ بوی قرمز، کاساپ (Kasap 2006) و دورسون و همکاران (Dursun *et al.* 2007) برای چغندرقند، کیبار و همکاران (Kibar *et al.* 2010) برای برنج و واگونسینا و همکاران (Ogunsina *et al.* 2011) برای بذر کاریا (Kariya) اشاره کرد.

بررسی منابع فوق و به‌ویژه دو پژوهش انجام شده توسط کاساپ (Kasap 2006) و دورسون و همکاران (Dursun *et al.* 2007)، نشان می‌دهد بخشی از خواص فیزیکی بذرها که در صنایع مربوط به فرآوری، انتقال، ذخیره‌سازی و کاشت آن‌ها کاربرد دارند، اغلب به رقم و محتوای رطوبتی آن‌ها بستگی دارند. با توجه به کمبود اطلاعات کافی در خصوص خواص فیزیکی بذرهای چغندرقند مورد استفاده در داخل کشور، در این تحقیق ویژگی‌های

فیزیکی دو رقم بذر چغندر قند به منظور فراهم نمودن اطلاعات لازم برای طراحی، ساخت و بهینه سازی تجهیزات فرآوری و ماشین‌های کاشت مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

این پژوهش در سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه خواص فیزیکی مکانیکی محصولات کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بذر چغندرقند مورد استفاده در این تحقیق شامل دو رقم منوژرم "شیرین" و"۴۳۶" بود که از کارخانه قند شهرکرد دریافت شد. نمونه‌ها به طور دستی تمیز و بوجاری شده و دانه‌های خارجی شکسته و چروک خورده از آن جدا شدند. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت اولیه، نمونه‌ها برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱±۱۰۵ سانتی‌گراد درون آون قرار داده شدند(Gupta and Das 2000; Dursun *et al.* 2007). برای افزایش رطوبتِ نمونه‌ها تا حد رطوبت موردنظر، مقدار آب مقطر موردنیاز محاسبه و به نمونه‌ها اضافه شد. سپس نمونه‌ها در پاکت‌های نایلونی جداگانه، به مدت ۱۰ روز در یخچال با دمای پنج سانتی‌گراد قرار گرفتند تا رطوبت به طور یکنواخت در بین نمونه‌ها پخش شود. پیش از شروع آزمایش، نمونه‌ها از یخچال خارج شده و در حدود دو ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند (Deshpande *et al.* 1993; Visvanathan *et al.* 1996; Altuntas and Yildiz 2007). میزان رطوبت برای فرآوری و ذخیره سازی بذر چغندرقند کمتر از ۱۲ درصد توصیه شده است (Kockelmann 2010). لذا با توجه به میزان رطوبتی که از مرحله برداشت تا ذخیره‌سازی برای بذر چغندرقند مشاهده شده است، خواص فیزیکی بذرها در چهار سطح رطوبت ۸/۴ ، ۹/۸، ۱۱/۹ و۱۴ درصد (بر مبنای خشک) مورد بررسی قرار گرفتند. به این ترتیب آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل چهار سطح رطوبتی بذر و دو رقم اجرا شد. تمامی آزمایش‌ها جهت حصول نتایج دقیق‌ترپنج بار تکرار شدند. به منظور اندازه‌گیری ابعاد، پنج نمونه هر کدام شامل۱۰۰ عدد بذر از هر رقم، به صورت تصادفی انتخاب شده و برای هر دانه بذر سه بعد اصلی شامل طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) با استفاده ازمیکرومتر با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، در هر سطح رطوبت اندازه‌گیری شد. میانگین حسابی ابعاد (D_a) و میانگین هندسی ابعاد (D_g) با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند (Mohsenin 1970):

$$D_a = \frac{L+W+T}{3} \qquad (۱)$$

$$D_g = (WLT)\wedge -3 \qquad (۲)$$

ضریب کرویت بذرها (φ) نیز با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد(Mohsenin 1970):

$$\varphi = \frac{D_g}{L} \qquad (۳)$$

برای تعیین وزن هزار دانه (M_{1000})،پنج نمونه تصادفی شامل ۱۰۰۰ عدد بذر برای هر رقم و در هر سطح رطوبتی انتخاب و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱گرم توزین شدند. چگالی واقعی (ρ_t) برای هر چهار سطح رطوبت، به روش جابجایی مایع اندازه‌گیری شد. برای انجام آزمایش از تولوئن ($C_6H_5CH_3$) استفاده شد (چون تولوئن کمتر از آب جذب نمونه بذر می‌شود.)، حجم تولوئن جابجا شده به ازای مقدار ۱۵ تا ۲۰ گرم بذر اندازه‌گیری و بدین ترتیب چگالی واقعی بذر تعیین شد (Mohsenin 1978; Sitkei 1976). برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری، یک استوانه مدرج با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر تا حجم ۱۵۰ میلی‌متر از بذر پر و سپس توزین شد. استوانه به نحوی پر شد که نمونه‌ها به هیچ وجه فشرده نشوند (Singh and Goswami 1996; Sacilik *et al.* 2003). چگالی ظاهری

با توجه به وزن بذرها و حجم استوانه محاسبه شد. تخلخل برای چهار سطح مختلف محتوای رطوبت بذر برای هر رقم با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد(Mohsenin 1970):

$$\varepsilon = (1-\frac{\rho_b}{\rho_t}) \qquad (۴)$$

که در رابطه فوق ρ_b چگالی ظاهری برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب و ρ_t چگالی واقعی بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب است.

برای اندازه‌گیری زاویه انباشتگی تخلیه، جعبه‌ای از جنس تخته سه لایه به ابعاد ۳۰×۳۰×۳۰ سانتی‌متر و مجهز به یک درب کشوئی مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب که ابتدا جعبه با مقداری از نمونه پر می‌شد و سپس درب کشویی سریعاً به طرف بالا کشیده شده تا بذرها به طرف خارج تخلیه و یک پشته طبیعی درون جعبه تشکیل شود. زاویه انباشتگی تخلیه با اندازه‌گیری ارتفاع عمودی در مرکز پشته و شعاع پخش شدن نمونه‌ها، با رابطه ۵ محاسبه شد:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{H}{R} \qquad (۵)$$

در رابطه فوق θ زاویه انباشتگی تخلیه بر حسب درجه، H ارتفاع عمودی در مرکز پشته بر حسب میلی‌متر و R شعاع پخش نمونه بر حسب میلی‌متر است. سرعت حد بذرها در رطوبت‌های مختلف با استفاده از روش لوله هوا اندازه‌گیری شد (Sacilik *et al.* 2003; Rajabipour *et al.* 2006). بذرها از بالا به درون یک لوله عمودی که در آن هوا با سرعت معین از پایین به بالا جریان دارد، رها می‌شدند و با تغییر دور دمنده، سرعتی از هوا که در آن جسم به حالت شناور در می‌آمد به کمک بادسنج اندازه‌گیری و ثبت می‌گردید. هر نمونه شامل ۲۰ عدد بذر بود که به صورت تصادفی از سطح محتوای رطوبتی بذر مورد آزمایش انتخاب شدند. ضریب اصطکاک ایستایی برای هر رقم، در چهار محتوای رطوبت بذر، بر روی چهار سطح شامل لاستیک، تخته سه لایه، فولاد گالوانیزه و آلومینیوم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از روش سطح شیبدار با شیب قابل تنظیم استفاده شد. به این ترتیب که یک استوانه پلاستیکی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر از نمونه پر و روی سطح اصطکاکی مورد نظر قرار داده شد. استوانه در ابتدا تا حد کمی (تقریباً ۳ میلی‌متر) روی سطح موردنظر بلند شد تا از هر گونه تماس بین استوانه و سطح اجتناب شود. بدین ترتیب زاویه‌ای که نمونه‌های موردنظر به همراه استوانه پلاستیکی شروع به سر خوردن می‌کردند، به عنوان زاویه اصطکاک ایستایی بین نمونه وسطح اصطکاکی ثبت شدند.

(Shepherd and Bhardwaj 1986; Gupta and Das 1997; Dutta *et al.* 1998; Nimkar and Chattopadhyay 2001; Owolarafe and Shotonde 2004)

ضریب اصطکاک از رابطه ۶ به دست آمد:

$$\mu = tg\alpha \qquad (۶)$$

که در آن μ ضریب اصطکاک و α زاویه شیب بر حسب درجه است.آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل چهار سطح رطوبتی بذر و دو رقم طراحی و اجرا شد. تمامی آزمایشات برای هر دو رقم، پنج بار تکرار و مقادیر میانگین داده‌ها محاسبه شد. داده‌های به دست آمده برای هر پارامتر و برای هر رقم و در هر رطوبت، به صورت مجزا تحلیل

شدند. معادلات رگرسیون و ضرایب تبیین با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS15 به دست آمدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر محتوای رطوبت بذر بر مقدار تمام خواص اندازه‌گیری شده در این تحقیق در سطح یک درصد معنی‌دار است. نتایج هم‌چنین نشان داد که به جز وزن هزار دانه و سرعت حد، تأثیر رقم بذر نیز در سطح یک درصد بر خواص فیریکی اندازه‌گیری شده معنی‌دار است.

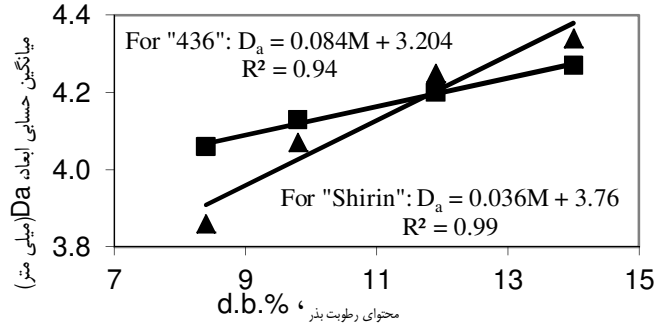
ابعاد بذر

همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، با افزایش محتوای رطوبت بذر از ۸/۴ تا ۱۴ درصد، طول، عرض و ضخامت به ترتیب برای رقم "شیرین" از ۵/۱۰ تا ۵/۶۸، ۴/۱۰ تا ۴/۷۴ و ۲/۳۸ تا ۲/۵۹ میلی‌متر و برای رقم "۴۳۶" از ۵/۴۰ تا ۵/۶۷، ۴/۴۰ تا ۴/۶۰ و ۲/۳۹ تا ۲/۵۵میلی‌متر افزایش یافتند. میزان افزایش طول، عرض و ضخامت به ترتیب برای رقم "شیرین" ۱۱/۳۷، ۱۵/۶۱ و ۸/۸۲ درصد و برای رقم "۴۳۶"، ۵، ۴/۵۴ و ۶/۶۹ درصد بوده است.

جدول ۱ تغییرات میانگین، حد بالا و پایین ابعاد اصلی دو رقم بذر چغندرقند با تغییرات رطوبت آنها

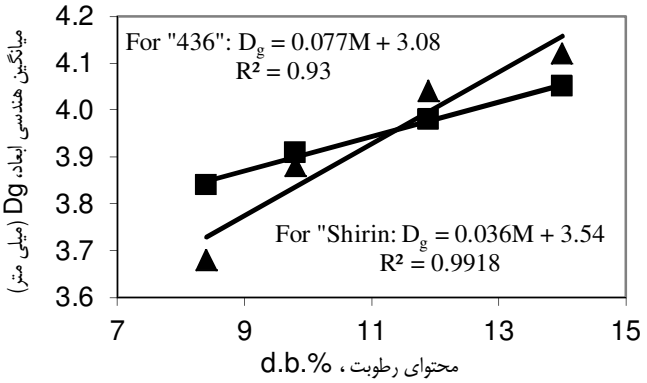
ردیف	رقم بذر / شرح صفات	"شیرین"				"۴۳۶"			
۱	میزان رطوبت ٪	۸/۴	۹/۸	۱۱/۹	۱۴	۸/۴	۹/۸	۱۱/۹	۱۴
۲	طول (میلی‌متر)	۵/۱۰±۰/۰۴	۵/۳۶±۰/۰۲	۵/۵۷±۰/۰۱	۵/۶۸±۰/۰۱	۵/۴۰±۰/۰۱	۵/۵۰±۰/۰۰	۵/۵۸±۰/۰۱	۵/۶۷±۰/۰۱
۳	عرض (میلی‌متر)	۴/۱۰±۰/۰۲	۴/۳۹±۰/۰۱	۴/۶۳±۰/۰۱	۴/۷۴±۰/۰۱	۴/۴۰±۰/۰۰	۴/۴۸±۰/۰۰	۴/۵۴±۰/۰۰	۴/۶۰±۰/۰۰
۴	ضخامت (میلی‌متر)	۲/۳۸±۰/۰۳	۲/۴۸±۰/۰۱	۲/۵۵±۰/۰۱	۲/۵۹±۰/۰۱	۲/۳۹±۰/۰۱	۲/۴۲±۰/۰۰	۲/۴۹±۰/۰۰	۲/۵۵±۰/۰۰

میانگین ابعاد بذرها، با افزایش مقدار رطوبت بذر به صورت خطی افزایش یافت (شکل‌های ۱ و ۲). معادلات رگرسیونی بین میانگین حسابی ابعاد و میزان رطوبت به همراه ضرایب تبیین مربوطه برای هر دو رقم در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱ دیده می‌شود میانگین حسابی ابعاد (طول، عرض و ضخامت) برای رقم "شیرین" از ۳/۸۶ تا ۴/۳۴ و برای رقم "۴۳۶" از ۴/۰۶ تا ۴/۲۷ میلی‌متر افزایش یافت. ارتباط بین میانگین حسابی ابعاد و میزان رطوبت (M) در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود.



شکل۱ تأثیر رطوبت بذر بر میانگین حسابی ابعاد بذر چغندرقند؛ ■شیرین و ▲"۴۳۶"

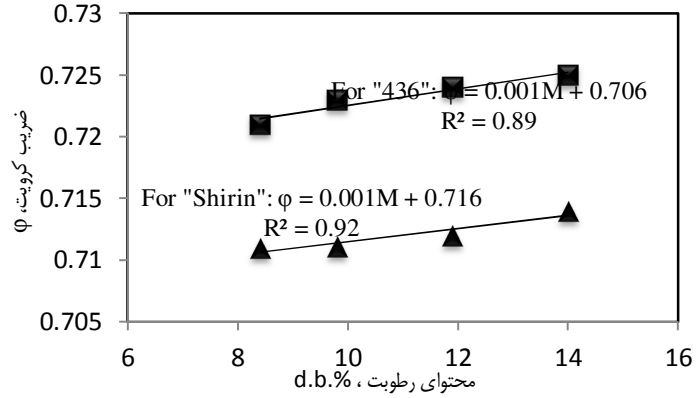
میانگین هندسی ابعاد نیز برای هر دو رقم به صورت خطی ($P\leq0.05$) و به ترتیب برای رقم "شیرین" از ۳/۶۸ تا ۴/۱۲ و برای رقم "۴۳۶" از ۳/۸۴ تا ۴/۰۵ میلی‌متر افزایش یافت (شکل ۲). نتایج مشابهی در خصوص تأثیر رطوبت بر ابعاد بذرهای چغندرقند و میانگین‌های حسابی و هندسی آن‌ها توسط دورسان و همکاران گزارش شده است (Dursun *et al.* 2007).



شکل ۲ تأثیر رطوبت بر میانگین هندسی ابعاد بذر چغندرقند؛ ■ شیرین و ▲ "۴۳۶"

ضریب کرویت

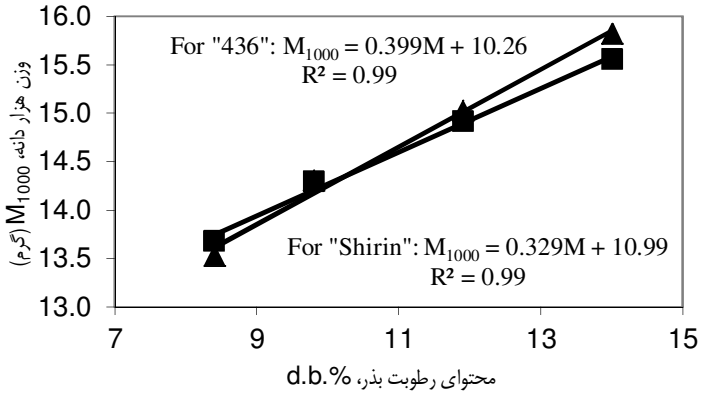
ضریب کرویت بذر چغندرقند با افزایش محتوای رطوبت بذر، به صورت خطی افزایش یافت (شکل ۳). روابط خطی بین ضریب کرویت و محتوای رطوبت بذر ($P\leq0.01$) به همراه ضرایب تبیین مربوطه در شکل نمایش داده شده‌اند. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود ضریب کرویت بذر رقم "شیرین" از رقم "۴۳۶" بیشتر است و مقدار آن باافزایش محتوای رطوبت بذرها با شیب مثبت و ملایمی به صورت نه چندان قابل توجهی افزایش می‌یابد. ارتباط خطی بین ضریب کرویت و افزایش محتوای رطوبتی بذرهای چغندرقند قبلاً نیز توسط دورسون و همکاران گزارش شده است (Dursun *et al.* 2007). البته در تحقیق مذکور شیب خط به صورت منفی گزارش شده است که بر اساس تفاوت‌های ارقام مورد آزمایش قابل توجیه خواهد بود.



شکل ۳ تأثیر محتوای رطوبت بذر بر ضریب کرویت بذر چغندرقند؛■"شیرین" و ▲"۴۳۶"

وزن هزاردانه

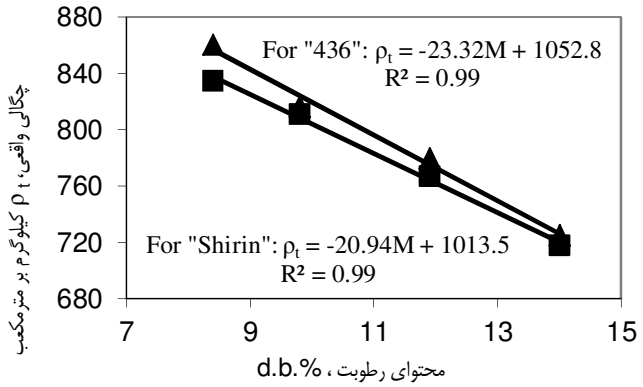
وزن هزار دانه بذرها با افزایش محتوای رطوبت بذر، برای رقم "شیرین" از ۱۳/۷ تا ۱۵/۶ و برای رقم "۴۳۶" از ۱۳/۵ تا ۱۵/۸ گرم و به صورت خطی افزایش یافت. تأثیر رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود و همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود معادلات رگرسیون به دست آمده بین وزن هزاردانه و محتوای رطوبت هر دو رقم، بسیار نزدیک به هم هستند. محققان دیگری نیز نتایج مشابهی مبنی بر افزایش وزن هزار دانه با افزایش رطوبت، ارائه نموده‌اند (Kassap 2006; Dursun *et al.* 2007).



شکل٤ تأثیر تغییرات رطوبت بر وزن هزاردانه بذر چغندرقند؛■ شیرین و ▲ "۴۳۶"

چگالی واقعی

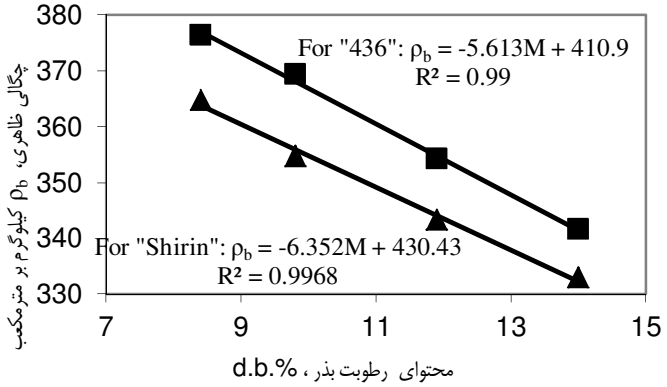
چگالی واقعی بذر چغندرقند با افزایش رطوبت از ۸/۴ به ۱۴درصد، برای رقم "شیرین" از ۸۳۴/۶ به ۷۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و برای رقم "۴۳۶" از ۸۶۰/۸ به ۷۲۵/۲ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت (شکل ۵). روابط خطی بین چگالی واقعی و محتوای رطوبت بذرها با ضریب تبیین ۰/۹۹ در شکل نشان داده شده‌اند ($P\leq0.01$). رابطه خطی با شیب منفی بین چگالی واقعی با میزان رطوبت برای بسیاری از محصولات کشاورزی گزارش شده است (Shepherd and Bhardwaj 1986; Deshpande *et al.* 1993; Gupta and Das 1997; Dutta *et al.* 1998, Bart-Plange and Baryeh 2003; Dursun *et al.* 2007).



شکل۵ تأثیر محتوای رطوبت بذر بر چگالی واقعی بذر چغندرقند؛■ شیرین و ▲ "۴۳۶"

چگالی ظاهری

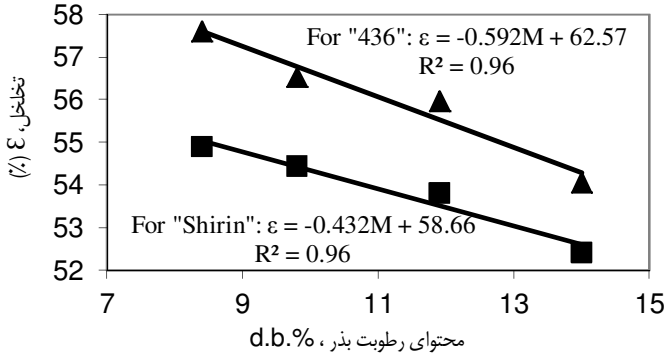
چگالی ظاهری با افزایش محتوای رطوبت بذر از ۸/۴ به ۱۴درصد، برای رقم "شیرین" از۳۷۶/۴ به ۳۴۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و برای رقم "۴۳۶" از ۳۶۴/۸ به ۳۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت (شکل ۶). رابطه بین چگالی ظاهری و میزان رطوبت در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. کاهش چگالی ظاهری با افزایش میزان رطوبت نشان می‌دهد که افزایش وزن ناشی از افزایش رطوبت، کمتر از انبساط حجمی توده بذر است. تغییرات چگالی ظاهری بر حسب تغییر میزان رطوبت را می‌توان از معادلات نشان داده شده در شکل پیش بینی نمود. همان‌طور که از شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود چگالی واقعی بذرهای رقم "شیرین" از چگالی واقعی بذرهای "۴۳۶" کمتر ولی چگالی ظاهری آن‌ها از چگالی ظاهری "۴۳۶" بیشتر است.



شکل ٦ تأثیر محتوای رطوبت بذر بر چگالی ظاهری بذر چغندرقند؛■ شیرین و ▲"۴۳۶"

تخلخل

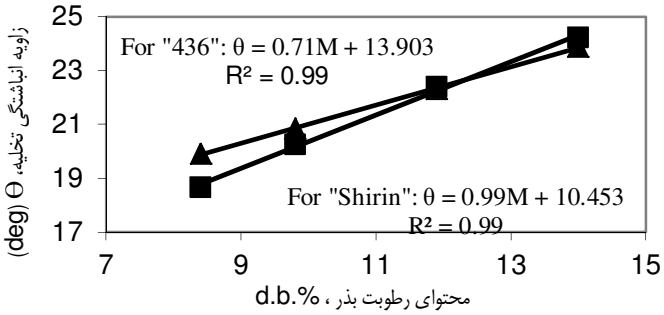
با افزایش رطوبت، تخلخل توده بذر در رقم "شیرین" از ۵۴/۹ به ۵۲/۴۲ درصد و در رقم "۴۳۶" از ۵۷/۶۱ به ۵۴/۰۷ درصد کاهش یـافت (شکل۷). تغییرات تخلخل با افزایش محتـوای رطـوبت بـذر در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود. تانگ و سخـن‌سنـج (Tang and Sokhansanj 1993) ، جاشی و همکاران (Joshi *et al.* 1993)، ساسیلیک و همکاران (Sacilik *et al.* 2003) و دورسون و همکاران (Dursun *et al.* 2007) نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش تخلخل در اثر افزایش محتوای رطوبت بذر گزارش کرده‌اند.



شکل۷ تأثیر محتوای رطوبت بر تخلخل توده بذر چغندرقند؛■ شیرین و ▲"۴۳۶"

زاویه انباشتگی تخلیه

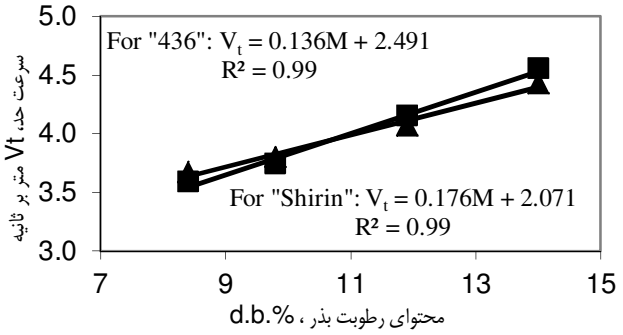
همان گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است زاویه انباشتگی تخلیه برای هر دو رقم "شیرین" و "۴۳۶"، با افزایش رطوبت، افزایش یافت. به طوری که با افزایش رطوبت از ۸/۴ به ۱۴ درصد، زاویه انباشتگی برای رقم "شیرین" ۲۹/۸ درصد و برای رقم "۴۳۶"، ۱۹/۹۵ درصد افزایش داشت. زیاد شدن زاویه انباشتگی با افزایش رطوبت به دلیل زبر شدن سطح خارجی بذرها است که لغزیدن آن‌ها را بر روی یکدیگر مشکل می‌کند. چگونگی ارتباط بین افزایش رطوبت و زاویه انباشتگی تخلیه توسط معادلات رگرسیون در شکل ۸ بیان شده است ($P\leq0.01$). افزایش زاویه انباشتگی با زیاد شدن محتوای رطوبتی قبلاً نیز در یافته‌های سایر محققین گزارش شده است (Dursun *et al.* 2007; Kassap 2006).



شکل ۸ تأثیر محتوای رطوبت بر زاویه انباشتگی تخلیه بذر چغندرقند؛■ شیرین و ▲ "۴۳۶"

سرعت حد

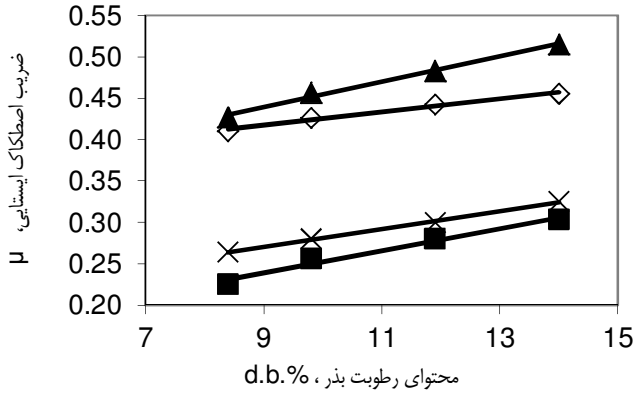
نتایج آزمایش‌های سرعت حد برای بذر چغندرقند در شکل ۹ نشان داده شده است. با افزایش میزان رطوبت از ۸/۴ به ۱۴ درصد، سرعت حد به طور خطی افزایش یافت ($P\leq0.01$). برای رقم "شیرین" این پارامتر از ۳/۵۹ به ۴/۵۵ و برای رقم "۴۳۶" از ۳/۶۷ به ۴/۴۳ متر بر ثانیه افزایش یافت. افزایش سرعت حد در اثر افزایش محتوای رطوبت بذر را می‌توان به افزایش وزن یک بذر مشخص به ازای واحد سطح نمای رو به روی جریان هوا مرتبط دانست. محققان دیگری نیز نتایج مشابهی مبنی بر افزایش سرعت حد بذر با افزایش رطوبت، ارائه نموده‌اند (Suthar and Das 1996; Nimkar and Chattopadhyay 2001; Konak *et al.* 2002; Gezer *et al.* 2002 and Sacilik *et al.* 2003; Dursun *et al.* 2007).



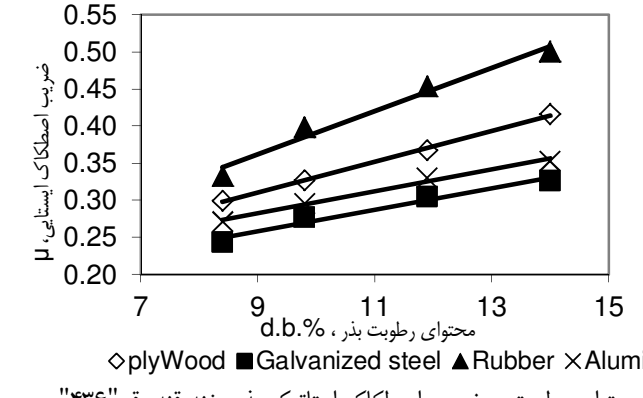
شکل۹ تأثیر محتوای رطوبت برسرعت حد بذر چغندرقند؛■ شیرین و ▲ "۴۳۶"

ضریب اصطکاک ایستایی

ضریب اصطکاک اندازه‌گیری شده برای هر دو رقم "شیرین" و "۴۳۶"، بر روی چهار سطح لاستیک، تخته سه لایه، آلومینیوم و فولاد گالوانیزه، به ترتیب در شکل های ۱۰ و۱۱نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک برای هر دو رقم، با افزایش محتوای رطوبت بذر افزایش یافته است. این نتیجه را می‌توان به افزایش چسبندگی بین بذر و سطح، در مقادیر رطوبت بالاتر و نیز زبرتر شدن سطح خارجی بذرها نسبت داد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر به دست آمده است (Shepherd and Bhardwaj 1986; Dursun *et al.* 2007; Dutta *et al.* 1998; Carman 1996; Suthar and Das 1996; Kassap 2006). برای هر دو رقم، بیشترین ضریب اصطکاک به ترتیب متعلق به سطوح لاستیک، سپس تخته سه لایه، آلومینیوم و در آخر فولاد گالوانیزه بود.



شکل ۱۰ تأثیر محتوای رطوبت بر ضریب اصطکاک ایستایی بذر چغندرقند رقم "شیرین"



شکل ۱۱تأثیر محتوای رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیک بذر چغندرقند رقم"۴۳۶"

ارتباط بین ضریب اصطکاک ایستایی و رطوبت را می‌توان توسط معادله $\mu = A + BM$ بیان نمود، که در این رابطه μ ضریب اصطکاک، A و B به ترتیب عرض از مبدأ و ضریب رگرسیون هستند. این مقادیر برای رقم "شیرین" و "۴۳۶" در جدول ۲ آمده است.

جدول۲ مقادیر عرض از مبدأ، ضریب رگرسیون و ضریب تبیین معادله $\mu = A + BM$ ، برای تعیین ضریب اصطکاک ایستایی بذرهای چغندرقند بر روی سطوح مختلف

رقم	سطح اندازه‌گیری	عرض از مبدا A	ضریب رگرسیون B	ضریب تبیین R^2
"شیرین"	لاستیک	۰/۳۰۳۰	۰/۰۱۵	۰/۹۹
	تخته سه لایه	۰/۲۴۶	۰/۰۰۸	۰/۹۸
	آلومینیوم	۰/۱۷۴	۰/۱۸	۰/۹۹
	فولاد گالوانیزه	۰/۱۱۸	۰/۰۱۳	۰/۹۷
"۴۳۶ "	لاستیک	۰/۰۹۹	۰/۰۳	۰/۹۷
	تخته سه لایه	۰/۱۲۴	۰/۰۲۱	۰/۹۹
	آلومینیوم	۰/۱۴۹	۰/۰۱۵	۰/۹۹
	فولاد گالوانیزه	۰/۱۲۸	۰/۰۱۴	۰/۹۷

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تمام خواص فیزیکی بذرهای چغندرقند که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند تابعی از میزان رطوبت هستند. در محدوده رطوبتی مورد آزمایش، برای هر دو رقم "شیرین" و "۴۳۶"، میانگین حسابی و میانگین هندسی ابعاد، وزن هزار دانه، ضریب کرویت، سرعت حد و زاویه انباشتگی با افزایش رطوبت، افزایش یافتند. ضریب کرویت به عنوان یکی از شاخص‌های تعیین شکل محصولات کشاورزی، نشان دهنده میزان شباهت محصول مورد نظر به یک کُره کامل است. این ویژگی در طراحی ماشین‌های کاشت بذر چغندرقند مورد استفاده واقع می‌شود. بالا بودن ضریب کرویت برای بذر هر دو رقم مورد آزمایش نشان دهنده توانائی بالای عبور این بذرها از منافذ دایروی و نیز قابلیت آن‌ها در غلطش است.

مقادیر سرعت حد به دست آمده به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم آیرودینامیکی بذرهای چغندرقند در طراحی بذرکارها، سیستم‌های انتقال نیوماتیک و تجهیزات بوجاری بذرها کاربرد دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که برای هر دو رقم مورد آزمایش، کمترین مقدار سرعت حد بذرها در پائین‌ترین سطح محتوای رطوبتی بذر بوده است. بنابراین برای اجرای عملیاتی مانند بوجاری یا انتقال نیوماتیکی، محدوده‌های پائین‌تر رطوبت باعث مصرف کمتر انرژی دمنده شده و مناسب‌تر هستند. علاوه‌بر این، معنی‌دار نشدن اثر واریته بر سرعت حد بذرهای هر دو رقم نشان می‌دهد که در عملیات مذکور می‌توان از دستگاه‌هائی با مشخصات مشابه استفاده کرد.

زاویه انباشتگی نشان دهنده خاصیت جریان پذیری بذرها است و در طراحی مخازن و سیلوهای نگه‌داری بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیادشدن این زاویه نشان می‌دهد که هنگام تخلیه بذر از درون مخزن، مقدار بیشتری از آن در درون مخزن باقی خواهد ماند. بنابراین برای تسهیل جریان پذیری و تخلیه بهتر مخازن محدوده‌های کمتر محتوای رطوبت بذر توصیه می‌شوند.

طبق نتایج این تحقیق مقادیر چگالی ظاهری و واقعی و تخلخل بذرها با افزایش محتوای رطوبت بذر، کاهش یافتند. این پارامترها علاوه بر کاربرد در طراحی مخازن بذرکارها برای انجام محاسبات مربوط به تعیین نرخ انتقال وزن و حرارت در هنگام فرآیندهای خشک کردن و هوادهی بذرها نیز قابل استفاده خواهند بود. بسترهای بذری که تخلخل کمتری دارند در برابر فرار بخار آب هنگام فرآیند خشک کردن، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند. بنابراین انجام این فرآیندها بر

روی بذرهائی با محتوای رطوبتی پائین که تخلخل بیشتری دارند امکان استفاده از فن‌های هوادهی با قدرت‌های کمتر را فراهم نموده و منجر به کاهش هزینه‌های فرآوری خواهد شد.

مقادیر ضریب اصطکاک برای هر دو رقم و بر روی هر چهار سطح آزمایش، با افزایش محتوای رطوبت بذر افزایش یافت. این یافته نشان دهنده این موضوع است که در رطوبت‌های بالاتر، سطح خارجی بذرها زبرتر شده‌اند. اگرچه به نظر می‌رسد بروز این پدیده جذب بیشتر رطوبت توسط بذرهای کشت شده را به همراه داشته وباعث افزایش سرعت و قابلیت جوانه‌زنی آن‌ها شود ولی به طور کلی از نظر نکات مربوط به طراحی و ساخت تجهیزات فرآوری و نیز مخزن در ماشین‌های کاشت، افزایش ضریب اصطکاک پدیده‌ای مفید محسوب نمی‌شود. لذا از این لحاظ نیز انجام عملیات در رطوبت‌های پائین (کمتر از ۱۰ درصد) مناسبتر خواهند بود.

نتایج به دست آمده از این تحقیق برای اولین بار ارائه شده و می‌تواند برای طراحی تجهیزات مربوط به کاشت، برداشت، انتقال، انبارداری، تهویه و فرآوری بذرهای چغندرقند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده: References:

Aghajani N, Ansaripour E, Kashaninejad M. Effect of moisture content on physical properties of barley seeds. J Agr Sci Tech. 2012; 14: 161-172.

Alemi H, Khoshtaghaza M H, Minaee S. Mechanical properties determination of Soybean seed by quasi-static loading. 2009; JFST 6(2): 113-124. (in Persian, abstract in English).

Al-Mahasneh MA, Rababah TM. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. J Food Eng. 2007; 79: 1467-1473.

Altuntas E, Yildiz M. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*viciafaba* L.) grains. J Food Eng. 2007; 78: 174-183.

Amin MN, Hossain MA, Roy KC. Effect of moisture content on some physical properties of lentil seeds. J. Food Eng. 2004; 65: 83- 87.

Bart-Plange A, Baryeh EA. The physical properties of category B cocoa beans. J. Food Eng. 2003; 60: 219–227.

Bisht NS, Ahlawat SP. Seed technology. SFRI, Information bulletin NO. 7. 1999.

Carman K. Some physical properties of lentil seeds. J Agri Eng Res. 1996; 63 (2): 87–92.

Deshpande SD, Bal S, Ojha TP. Physical properties of soybean. J Agri Eng Res. 1993; 56: 89–98.

Dursun I, Tugrul KM, Dursun E. Some physical properties of sugar beet seed. J Stored Prod Res. 2007; 43: 149-155.

Dutta SK, Nema VK, Bhardwaj RK. Physical properties of gram. J Agri Eng Res. 1998; 39: 259–268.

FAO. 2011. Available from http://faostat.fao.org/faostat/.

Farhangmehr A, Ghodsvali A, Hadadkhodaparast M. Study of some physical properties of soybean. J. Food Sci. Tech. 2010, 1(3): 10-16. (in Persian).

Gezer I, Haciseferogullari H, Demir F. Some physical properties of hacihaliloglu apricot pit and its kernel. J Food Eng. 2002; 56: 49–57.

Gupta RK, Das SK. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. J Food Eng. 2000; 46: 1–8.

Gupta RK, Das SK. Physical properties sunflower seeds. J Agri Eng Res. 1997; 661(1): 1–8.

Hazbavi E, Safieddin M, Khoshtaghaza M H, Minaei S. Determination and studying of physical properties of eggplant seeds. 18th National Congress on Food Technology. 2008; 15-19 Oct, Mashhad, Iran. (in Persian, abstract in English).

Jayan PR, Kumar VJF. Planter design in relation to the physical properties of seeds. J. Trop. Agri. 2004; 42 (1-2): 69-71.

Joshi DC, Das SK, Mukherjee RK. Physical properties of pumpkin seeds. J. Agri. Eng. Res. 1993; 54: 219–229.

Kassab A. Physical properties of monogerm sugarbeet (*Befa vulgaris* var. *altissima*) seeds. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. 2006; 34: 311-318.

Keck H, Goss JR. Determining aerodynamic drag and terminal velocities of agronomic seeds in free fall. Transactions of the ASAE.1965; 12: 553 – 557.

Kibar H, ÖzturkT, Esen B.The effect of moisture content on physical and mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.). Span. J. Agri. Res. 2010; 8(3): 741-749.

Kockelmann A, Tilcher R, Fischer U. Seed production and processing. Sugar Tech. 2010; 12(3–4):267–275.

Konak M, Carman K, Aydin C. Physical properties of chick-pea seed. Biosys. Eng. 2002; 82 (1): 73–78.

Masoumi AA, Rajabipoor A, Tabil LG, Akram AA. Physical attributes of garlic (*Allium sativum* L.). J. Agri. Sci. Technol. 2006; 8: 15-23.

McCormack J. Seed processing and storage: Principles and Practices. 2004.

Mohsenin NN. Physical properties of plant and animal materials, Gordon& Breach Science Publishers,1978; pp. 734.

Mwithiga G, Sifuna MM. Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. J Food Eng. 2006; 75: 480-486.

Nimkar PM, CHattopadhyay PK. Some physical properties of green gram. J Agri Eng Res. 2001; 80: 183–189.

Ogunsinal BS, Olaoye IO, Adegbenjo AO, Babawale BD. Nutritional and physical properties of kariya seeds. Int Agrophys.2011; 25: 97-100.

Özarslan C. Physical properties of cotton seed. Biosystems Engineering. 2002; 83 (2), 169–174

Rajabipour A, Tabatabaeefar A, Farahani M. Moisture-dependent physical properties of barley grains. Int J Agric and Biol Eng. 2009; 2: 84-91.

Razavi SMA, Yeganezad S, Sadeghi A. Moisture dependent physical properties of canola seeds. J Agri Sci Technol. 2009; 11: 309-322.

Sacilik K, Ozturk R, Keskin R. Some physical properties of hemp seed. Biosystems Engineering. 2003;86(2): 213–215.

Sahoo PK, Srivastava AP. Physical properties of okra seed. Biosys Eng. 2002; 83: 441–448.

Shepherd H, Bhardwaj RK. Moisture dependent physical properties of pigeon Pea. J Agri Eng Res. 1986; 35: 227–234.

Singh KK, Goswami KK. Physical properties of cumin seed. J. Agri. Eng. Res. 1996; 64: 93–98.

Singh KK, Mishra HN, Saha S. Moisture-dependent properties of barnyard millet grain and kernel. J Food Eng. 2010; 96: 598–606.

Sitkei G. Mechanics of agricultural materials. Akademiai Kiado, 1986, pp. 487.

Suthar SH, Das SK. Some physical properties of karingda seeds. J Agri Eng Res. 1996; 65: 15–22.

Tabatabaeefar A. Moisture-dependent physical properties of wheat. Int Agrophysics. 2003; 17: 207–211.

Tang J, Sokhansanj S. Geometric changes in lentil seeds caused by drying. J Agri Eng Res. 1993; 56: 313–326.

Vilche C, Gely M, Santalla E. Physical properties of quinoa seeds. Biosys. Eng. 2003; 86 (1): 59–65.

Visvanathan IR, Palanisamy PT, Gothandapani L, Sreenarayanan VV. Physical properties of neem nut. J Agri Eng Res. 1996; 63(1): 19-25.

Yurtlu YB, Yesiloglu E, Arslanoglu F. Physical properties of bay laurel seeds. IntAgrophys.2010; 24: 325-328.