

## بررسی خواص فیزیکی چهار رقم اصلاح شده گندم ایرانی

سید محمد علی رضوی<sup>۱</sup>، جواد توکلی\*<sup>۲</sup> و رضا حاجی محمدی فریمانی<sup>۲</sup>

### چکیده

در این تحقیق برخی از خواص هندسی (طول، عرض، ضخامت، میانگین هندسی قطر و ضریب کرویت)، خواص ثقلی (وزن هزار دانه، دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی و تخلخل) و خواص اصطکاکی (زاویه ریپوز تخلیه، زاویه ریپوز پرکردن و ضریب اصطکاک استاتیکی) چهار رقم اصلاح شده گندم ایرانی به نام های الوند، چمران، طوس و مرودشت در رطوبت اولیه شان مورد بررسی قرار گرفت. بزرگترین طول، عرض و ضخامت به ترتیب برابر ۷/۲۵۶ mm، ۳/۵۸۸ mm و ۲/۸۳۱ mm متعلق به رقم الوند و کمترین آن به ترتیب برابر ۶/۳۹۸ mm، ۲/۹۹۶ mm و ۲/۶۶۱ mm متعلق به رقم چمران بود. بیشترین و کمترین ضریب کرویت به ترتیب به رقم مرودشت به میزان ۵۹/۶٪ و رقم طوس به میزان ۵۷/۳٪ تعلق داشت. دامنه وزن هزار دانه ما بین ۳۵/۷ gr تا ۴۲/۷gr بود. دامنه دانسیته ظاهری ارقام مورد بررسی بین ۷۴۴ kg/m<sup>3</sup> تا ۷۹۴ kg/m<sup>3</sup> و دامنه دانسیته واقعی بین ۱۲۴۵ kg/m<sup>3</sup> تا ۱۲۷۲ kg/m<sup>3</sup> به دست آمد. بیشترین درصد تخلخل به رقم الوند به میزان ۴۱/۶٪ و کمترین درصد تخلخل به رقم چمران به میزان ۳۶/۲٪ مربوط بود. بیشترین و کمترین زاویه ریپوز تخلیه به ترتیب به رقم مرودشت (۲۳ درجه) و طوس (۱۹/۹ درجه) تعلق داشت. در حالی که بیشترین و کمترین زاویه ریپوز پرکردن به ترتیب برای رقم چمران (۲۰/۴ درجه) و رقم مرودشت (۱۸/۶ درجه) به دست آمد. علاوه بر این در تمامی ارقام مورد بررسی، زاویه ریپوز تخلیه بزرگتر از زاویه ریپوز پرکردن مشاهده شد. مقایسه ضرایب اصطکاکی ارقام مورد بررسی بر سطوح مختلف اصطکاکی نیز نشان داد کمترین ضریب اصطکاکی مربوط به شیشه و بیشترین ضریب اصطکاکی مربوط به لاستیک می باشد.

**لغات کلیدی:** گندم، خواص ثقلی، خواص هندسی و خواص اصطکاکی

### ۱- مقدمه

در ایران گندم در سطح ۶۶۰۵۳۲۰ هکتار با تولید سالانه ۱۴۵۶۸۴۸۰ تن کشت می شود (۸). تعیین خواص فیزیکی غلات و از جمله گندم در طراحی تجهیزات برداشت، حمل و فراوری و محاسبه ظرفیت سیلوهای ذخیره سازی و سایر ملزومات آن ضروری می باشد. برای مثال خواص نظیر دانسیته ظاهری، زاویه ریپوز و ابعاد دانه جهت طراحی فضای ذخیره سازی و تجهیزات انتقال مواد ضروری است (۷ و ۱۲). تخلخل توده (فضای خالی بین توده دانه ها)، برای اغلب غلات بین ۳۵ تا ۵۵ درصد حجم توده غله می باشد. طبیعت متخلخل توده غله این امکان را فراهم می کند که تقریباً تمامی دانه ها در تماس با هوا در طی هوادهی باشند. میزان تخلخل از جمله عواملی است که بر قدرت مورد نیاز برای فن هوادهی تاثیر می گذارد (۱۲). زاویه ریپوز مشخصه مناسبی از میزان جریان پذیری (flowability) یک محصول است. به طور کلی هر چه زاویه ریپوز کوچکتر باشد، محصول راحت تر جریان می یابد. طبقه بندی زیر میزان جریان پذیری را بر اساس زاویه ریپوز نشان می دهد (۳).

۱. عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، پست الکترونیکی: s.razavi@um.ac.ir

۲. دانشجویان کارشناسی ارشد رشته علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

Flow Type	Repose Angle
Very free flowing	25-30
Free flowing	30-38
Fair flowing	38-45
Cohesive or Non-easy flowing	45-55
Very cohesive	more than 55

از جمله کاربردهای دیگر زاویه ریپوز در محاسبه شیب کف سیلوها می باشد. طباطبایی فر در سال ۲۰۰۳ خواص فیزیکی پنج رقم گندم ایرانی را در دامنه صفر تا ۲۲ درصد بررسی کرد. او در این تحقیق، دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی، تخلخل، زاویه ریپوز و ضریب اصطکاک استاتیکی را به عنوان تابعی از رطوبت گندم به دست آورد (۱۵). اصطکاک گندم روی سطوح آهن گالوانیزه موج دار و صاف نیز توسط Molend در سال ۲۰۰۲ بررسی شد (۹). در یک تحقیق دیگر، خواص فیزیکی و مکانیکی ارزن (ابعاد هندسی، ضریب کرویت، دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی، تخلخل، زاویه ریپوز و سرعت حد) در دامنه رطوبت ۵ تا ۲۲/۵ درصد مورد مطالعه قرار گرفت (۲). Al-Mahasneh در سال ۲۰۰۶ اثر رطوبت بر خواص فیزیکی گندم سبز را در دامنه رطوبت ۹/۳ تا ۴۱/۵ درصد بررسی کرد. خواص فیزیکی مورد بررسی شامل ابعاد محوری، وزن هزاردانه، حجم، دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی، تخلخل و ضریب اصطکاک استاتیکی بودند (۱). Mani در سال ۲۰۰۴ کارایی آسیاب شدن و خواص فیزیکی کاه گندم و جو و همچنین ساقه ذرت را بررسی نمود (۶). ابعاد هندسی، جرم هزاردانه، کرویت، دانسیته واقعی، تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیکی و سرعت حد دانه ذرت شیرین توسط Coskun در سال ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار گرفت. Mwithiga در سال ۲۰۰۶ خواص فیزیکی (ابعاد دانه، وزن هزار دانه، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی و زاویه ریپوز) سه واریته دانه سورگوم را به دست آوردند (۱۱). بررسی مقالات انتشار یافته نشان می دهد تحقیقات اندکی پیرامون اثر رقم (واریته) بر خواص فیزیکی گندم صورت گرفته است. هدف از این پروژه، مطالعه خواص فیزیکی چهار واریته اصلاح شده گندم شامل ابعاد هندسی، ضریب کرویت، وزن هزار دانه، دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی، تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیکی و زاویه های ریپوز تخلیه و پرکردن بوده است.

## ۲- مواد و روشها

در این مطالعه چهار رقم اصلاح شده گندم ایرانی به نام های الوند، چمران، طوس و مرودشت از مرکز تحقیقات کشاورزی مشهد تهیه شدند و در کیسه های پلاستیکی نگهداری شدند تا میزان رطوبت آنها در طول آزمایش تغییر نکند. گندم ها به صورت دستی بوجاری شدند تا مواد خارجی مثل تخم علف هرز، کاه و کزل، شن و دانه های شکسته از گندم جدا شوند و روی نتایج اثر نامطلوب نداشته باشند. تمام ویژگی های فیزیکی در رطوبت اولیه واریته ها که مابین ۱۲ تا ۱۳ درصد (براساس وزن مرطوب) بود، بررسی شد. رطوبت نمونه ها بر اساس روش وزنی در حداقل ۳ تکرار اندازه گیری شد.

### ۲-۱- اندازه گیری خواص هندسی (ابعاد، قطر هندسی و ضریب کرویت)

برای اندازه گیری ابعاد ابتدا تعداد ۱۰۰ دانه گندم از هر رقم به صورت تصادفی انتخاب شد و با استفاده از میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ میلی متر، ۳ بعد محوری گندم شامل طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) به دست آمد. سپس قطر معادل (یا میانگین قطر هندسی،  $D_g$ ) و ضریب کرویت ( $\phi$ ) با جاگذاری ابعاد به دست آمده در فرمول های زیر محاسبه شد (Mohsenin, 1970):

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

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (2)$$

## ۲-۲- اندازه گیری خواص ثقلی (جرم هزار دانه، دانسیته توده، دانسیته واقعی و درصد تخلخل)

جرم هزار دانه با استفاده از دستگاه شمارنده عددی گندم و وزن کردن ۱۰۰۰ دانه با ترازوی ۰/۰۰۱ اندازه گیری شد. برای اندازه گیری دانسیته توده، مقدار معینی نمونه را از ارتفاع ۵۰ سانتیمتری به داخل یک استوانه به حجم تقریبی ۵۰۰ سانتیمتر مکعب ( $V_b$ ) ریخته می شد. با توزین ظرف در دو حالت پر و خالی، جرم توده گندم ( $M$ ) درون ظرف بدست می آید. نسبت جرم توده گندم به حجم ظرف همان دانسیته توده خواهد بود (Mohsenin, 1970)، یعنی:

$$\rho_{bulk} = \frac{M_b}{V_b} \quad (3)$$

برای اندازه گیری دانسیته واقعی ابتدا تعداد ۳۰ دانه را وزن کرده ( $M$ )، سپس آنها داخل بورت ۵۰ میلی لیتری ریخته می شود. میزان جابجایی آب را از روی ستون مدرج بورت معادل حجم واقعی دانه هاست ( $V_{true}$ ). دانسیته واقعی با جاگذاری مقادیر جرم و حجم در رابطه زیر بدست می آید (Mohsenin, 1970):

$$\rho_{true} = \frac{M}{V_{true}} \quad (4)$$

درصد تخلخل ( $\varepsilon$ ) طبق تعریف نسبت فضای خالی توده گندم به حجم ظرف است و می توان آن را با استفاده از مقادیر دانسیته توده و دانسیته واقعی این چنین محاسبه کرد (Mohsenin, 1970):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{true}}\right) \times 100 \quad (5)$$

## ۲-۳- اندازه گیری خواص اصطکاکی (ضریب اصطکاکی استاتیکی، زاویه ریپوز تخلیه و زاویه ریپوز پرکردن)

برای اندازه گیری ضریب اصطکاکی استاتیکی از پنج سطح اصطکاکی شیشه، فایبر گلاس، آهن گالوانیزه، تخته سه لا و لاستیک استفاده شد. برای این کار از جعبه ای بدون سر و کف به ابعاد ۱۵۰ در ۱۰۰ در ۴۰ (بر حسب میلیمتر) استفاده گردید. نمونه گندم را در جعبه ریخته و سپس جعبه را به اندازه ۲ تا ۳ میلیمتر بالا می کشیم تا هیچ گونه تماسی با سطح اصطکاکی نداشته باشد. حال سطح متحرک را بالا برده و زمانی که جعبه به همراه دانه ها شروع به لغزش می کند، زاویه سطح شیب دار را ( $\alpha$ ) قرائت نموده و با استفاده از معادله زیر، ضریب اصطکاکی استاتیکی ( $\mu_s$ ) سطح اصطکاکی بدست می آید:

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (6)$$

برای اندازه گیری زاویه ریپوز تخلیه از یک جعبه مکعبی به ابعاد ۲۰۰ میلیمتر استفاده شد. این جعبه از یک طرف دارای یک درب کشویی می باشد. نمونه را داخل جعبه ریخته و سطح آن را صاف می کنیم. سپس با سرعت درب کشویی را بالا کشیده تا دانه ها سرازیر شده و به طور طبیعی تشکیل کپه دهد. زاویه ریپوز تخلیه ( $\theta_e$ ) با اندازه گیری ارتفاع و فاصله افقی کپه در دو نقطه دلخواه ( $x$  و  $h$ ) و جاگذاری مقادیر مربوطه در فرمول زیر به دست آمده است:

$$\theta_e = \text{Arc tan} \frac{(h_2 - h_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (7)$$

برای اندازه گیری زاویه ریپوز پرکردن ( $\theta_f$ )، ابتدا استوانه ای با قطر ۱۵۰ میلی متر و ارتفاع ۲۵۰ میلی متر را روی یک سطح صاف قرار داده و استوانه را با دانه های گندم پر و سپس استوانه به آرامی بالا کشیده می شود. در این حالت قطر و ارتفاع کپه کپه گندم تشکیل شده را اندازه گیری کرده و با استفاده از فرمول زیر زاویه ریپوز پر کردن محاسبه می کنیم:

$$\theta_f = \text{Arc tan}\left(\frac{2h}{D}\right) \quad (8)$$

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- خواص هندسی

در جدول (۱) معدل و انحراف معیار ابعاد رقم های گندم مورد بررسی در این تحقیق آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، طول، عرض و ضخامت ارقام مختلف گندم در دامنه ۶/۳۹۸-۷/۲۵۶، ۲/۹۹۶-۳/۵۸۸ و ۲/۸۳۱-۲/۶۶۱ میلی متر متغیر است. بزرگترین طول، عرض و ضخامت مربوط به گندم رقم الوند و کمترین ابعاد مربوط به رقم چمران بوده است. در ضمن بیشترین ضریب کرویت برای گندم رقم مرودشت و کمترین آن برای گندم رقم طوس به دست آمده است، اگر چه اختلاف بین ضریب کرویت آنها بسیار ناچیز است.

جدول ۱: ابعاد، قطر هندسی و ضریب کرویت ارقام مختلف گندم اصلاح شده

رقم	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	قطر معادل (mm)	ضریب کرویت
الوند	۷/۲۵۶±۰/۵۵۹	۳/۵۸۸±۰/۲۶۸	۲/۸۳۱±۰/۲۴۸	۴/۱۹۳	۰/۵۷/۸
چمران	۶/۳۹۸±۰/۵۰۶	۲/۹۹۶±۰/۳۹۷	۲/۶۶۱±۰/۳۱۴	۳/۷۰۸	۰/۵۸
طوس	۶/۸۵۵±۰/۴۶۱	۳/۲۰۴±۰/۲۸۵	۲/۷۵۸±۰/۲۵۸	۳/۹۲۷	۰/۵۷/۳
مرودشت	۶/۴۱۶±۰/۴۷۸	۳/۱۷۶±۰/۳۴۷	۲/۷۴۲±۰/۲۷۱	۳/۸۲۳	۰/۵۹/۶

#### ۳-۲- خواص ثقلی

جدول (۲) خواص ثقلی چهار واریته الوند، چمران، طوس و مرودشت را نشان می دهد. با ملاحظه نتایج می توان دریافت دامنه دانسیته واقعی و ظاهری ارقام مختلف گندم به ترتیب بین ۷۹۴-۷۴۴ و ۱۳۵۹-۱۳۰۹ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است. بیشترین وزن هزار دانه، دانسیته واقعی و درصد تخلخل مربوط به واریته الوند بود، در حالی که بیشترین دانسیته ظاهری مربوط به ارقام الوند و چمران است. کمترین وزن هزار دانه، دانسیته واقعی و درصد تخلخل برای رقم چمران است و کمترین دانسیته ظاهری هم مربوط به رقم مرودشت می باشد.

جدول ۲: نتایج جرم هزار دانه، دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی و تخلخل ارقام مختلف گندم اصلاح شده

رقم گندم	دانسیته ظاهری ( $\text{Kg/m}^3$ )	دانسیته واقعی ( $\text{Kg/m}^3$ )	درصد تخلخل	جرم هزار دانه (gt)
الوند	۷۹۳±۶/۱۴۶	۱۳۵۹±۱۲۶/۲۴	۴۱/۶	۴۲/۷
چمران	۷۹۴±۲/۶۸۳	۱۲۴۵±۷۰/۶۸	۳۶/۲	۳۵/۷
طوس	۷۹۰±۸/۷۸۶	۱۲۷۲±۱۴۵/۰۳	۳۷/۹	۴۰/۱۵
مرودشت	۷۴۴±۳/۴۲۱	۱۲۵۳±۱۲۳/۲۲	۴۰/۶	۳۶/۵

### ۳-۳- خواص اصطکاکی

در جدول (۳) معدل پنج تکرار ضریب اصطکاک استاتیکی رقم های گندم مورد بررسی در این تحقیق آورده شده است. نتایج نشان می دهند دامنه مقادیر ضریب اصطکاک استاتیکی ارقام مختلف گندم برابر ۰/۴۰۴-۰/۱۶۶ می باشد. در تمامی ارقام مورد بررسی بیشترین و کمترین ضریب اصطکاکی به ترتیب مربوط به سطوح لاستیک و شیشه بود. در ضمن بیشترین ضریب اصطکاک استاتیکی برای رقم گندم الوند و کمترین آن برای گندم رقم چمران به دست آمده است.

جدول ۳: نتایج ضریب اصطکاک استاتیکی چهار رقم گندم اصلاح شده

رقم گندم	شیشه	آهن گالوانیزه	فایبر گلاس	تخته سه لا	لاستیک
الوند	۰/۱۹۰	۰/۲۱۳	۰/۲۲۴	۰/۳۷۸	۰/۴۰۴
طوس	۰/۲۰۰	۰/۳۱۰	۰/۲۷۴	۰/۳۶۲	۰/۳۶۹
مرو دشت	۰/۳۰۸	۰/۲۵۳	۰/۲۴۶	۰/۳۶۵	۰/۴۰۰
چمران	۰/۱۶۶	۰/۲۴۶	۰/۲۴۹	۰/۳۴۸	۰/۳۹۲

جدول (۴) نتایج زاویه های ریپوز چهار رقم گندم الوند، چمران، طوس و مرو دشت را نشان می دهد. در تمامی ارقام مورد بررسی، زاویه ریپوز تخلیه بزرگتر از زاویه ریپوز پر کردن است. بیشترین و کمترین مقدار زاویه ریپوز تخلیه به ترتیب مربوط به ارقام مرو دشت و طوس بوده است. در حالی که، بیشترین و کمترین زاویه ریپوز پر کردن به ترتیب برای رقم چمران و مرو دشت به دست آمده است.

جدول ۴: نتایج زاویه ریپوز تخلیه و پر کردن چهار واریته گندم اصلاح شده

رقم گندم	زاویه ریپوز تخلیه	زاویه ریپوز پر کردن
الوند	۲۲/۶	۱۹/۲
چمران	۲۲/۲	۲۰/۴
طوس	۱۹/۹	۱۹/۷
مرو دشت	۲۳	۱۸/۶

بطباطبایی فر در سال ۲۰۰۳ خواص فیزیکی پنج رقم گندم ایرانی را در دامنه صفر تا ۲۲ درصد بررسی کرد. او نشان داد با افزایش میزان رطوبت دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی کاهش و تخلخل توده و زاویه ریپوز افزایش می یابد. ضریب اصطکاک استاتیکی با افزایش محتوای رطوبت در تمام سطوح مورد بررسی افزایش یافت. بیشترین ضریب اصطکاک استاتیکی مربوط به تخته چند لا و کمترین میزان به ورق استیل ضد زنگ مربوط بود (۱۵). اصطکاک گندم روی سطوح آهن گالوانیزه موج دار و صاف توسط Molend در سال ۲۰۰۲ بررسی شد (۹). در بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی ارزن در دامنه رطوبت ۵ تا ۲۲/۵ درصد، با افزایش محتوای رطوبت، ابعاد هندسی، ضریب کروی، دانسیته واقعی، زاویه ریپوز و سرعت حد افزایش یافت. اما دانسیته ظاهری با افزایش میزان رطوبت تا ۱۰ درصد افزایش و پس از آن کاهش نشان داد. تخلخل نیز با افزایش محتوای رطوبت تا ۷/۵ درصد کاهش و پس از آن افزایش یافت (۲). Al-Mahaseneh در سال ۲۰۰۶ اثر رطوبت بر خواص فیزیکی گندم سبز را در دامنه رطوبت ۹/۳ تا ۴۱/۵ درصد بررسی کرد. ابعاد محوری، وزن هزاردانه، حجم و ضریب اصطکاک استاتیکی با افزایش میزان رطوبت افزایش، ولی دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی و تخلخل کاهش یافت (۱). Mani (۲۰۰۴) کارایی آسیاب شدن و خواص فیزیکی گندم و جو و همچنین ساقه ذرت را بررسی نمود (۶). ابعاد هندسی، جرم هزاردانه،

کرویت، دانسیته واقعی، تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیکی و سرعت حد دانه ذرت شیرین توسط Coskun (۲۰۰۵) بررسی شد. Mwithiga (۲۰۰۶) خواص فیزیکی سه وارسته دانه سورگوم را بررسی کرد با افزایش محتوای رطوبت ابعاد دانه و قطر هندسی افزایش یافت، ولی ضریب کرویت نسبتاً ثابت ماند. وزن هزار دانه و زاویه ریپوز در دامنه مورد بررسی افزایش و دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی کاهش یافت (۱۱).

#### ۴- نتیجه گیری:

در میان چهار رقم مورد بررسی الوند بیشترین و چمران کمترین مقادیر ابعادی را دارا می باشد. در این تحقیق، به طور متوسط ضریب کرویت ۰/۵۸/۱۷٪ برای ارقام گندم بدست آمد. همچنین معدل دانسیته ظاهری گندم  $۷۸۰ \text{ Kg/m}^3$  و معدل دانسیته واقعی گندم  $۱۲۸۲ \text{ Kg/m}^3$  تعیین گردید. از بررسی ضرایب اصطکاک مشخص شد کمترین میزان مربوط به شیشه و بیشترین میزان مربوط به لاستیک می باشد. در تمام رقم های مورد بررسی زاویه ریپوز تخلیه بزرگتر از زاویه ریپوز پر کردن بود.

#### تقدیر و تشکر:

با تشکر از کارکنان مرکز تحقیقات کشاورزی اداره جهاد کشاورزی خراسان رضوی که در امر تهیه نمونه ارقام گندم کمال همکاری را داشته اند.

#### منابع:

- 1) Al-Mahasneh, M.A (2006) Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. J of Food Eng.
- 2) Baryeh, E.A. (2002) Physical Properties of Millet. J of Food Eng. 51, 39-46
- 3) Boumans, G. (1985) Grain Handling & Storage. Elsevier Sci, Pub.
- 4) Cenkowski, S. & et al. (1995) Engineering properties of grains and oilseeds. In: Stored-grain ecosystems, D.S. Jayas, N.D.G. White and W.E. Muir (ed.), New York: Marcel Dekker, Inc. 411-463.
- 4) Chung, D.S. & et al. (1971) Effect of moisture content on some physical properties of grains. Trans. ASAE 14: 612-614, 620.
- 5) Coskun, M.B. & et al. (2005) Physical properties of sweet corn seed-Zea mays saccharata Sturt. J of Food Eng.
- 6) Mani, S. & et al. (2004) Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass. Biomass and Bioenergy, 27, 339-352
- 7) McLean, K.A. (1989) Drying & Storing Combinable Crops. Farming Press
- 8) Ministry of Jihad-e-Agriculture (2004) Statistical Year Book.
- 9) Molenda, M. & et al. (2002) Friction of Wheat on Corrugated and Smooth Galvanized Steel Surfaces. J. agric. Engng Res, 77, 209-219
- 10) Muir, W.E. and R.N. Sinha (1988) Physical properties of cereal and oilseed cultivars grown in western Canada. Can. Agric. Eng. 30(1): 51-55.
- 11) Mwithiga, G. & et al. (2006) Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. J of Food Eng. 75, 480-486
- 12) Navarro, S. & et al. (2002) The Mechanics & Physics of Modern Grain Aeration Management. CRC press
- 13) Nelson, S.O. (1980) Moisture dependent kernel and bulk density relationship for wheat and corn. Trans. ASAE 23: 139-143.
- 14) Rameshbabu, M. & et al. (1996) Bulk and handling properties of hullless barley. Can. Agric. Eng. 38(1): 31-35.
- 15) Tabatabaefar, A. (2003) Moisture-dependent physical properties of wheat. International Agrophysics, 17, 2