تعیین چگالی، تخلخل و حجم منافذ داخلی دانه‌های غلات (گندم و ذرت) بوسیلهٔ پیکنومتر گازی

احمد رضا صالحیون [۱]، محمد هادی خوش تقاضا [۲*] و سید عیسی هاشمی پور [۱]

۱- دانش آموختگان کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس khoshtag@modares.ac.ir

چکیده

در این تحقیق چگالی‌های واقعی، ظاهری و کنترل سه محصول گندم سخت (واریتهٔ بزوستایا)، نرم (لاین C7916) و ذرت (لاین SC704) با دستگاه پیکنومتر گازی تعیین شد. برای تعیین حجم ظاهری، نمونه‌ها به وسیله روغن جلا پوشش داده شد و برای اندازه-گیری حجم واقعی، از آسیاب چکشی استفاده شده و حجم آنها توسط دستگاه اندازه‌گیری شد. با قرار دادن نمونه‌های بدون پوشش روغن در مخزن نمونه دستگاه، حجم کنترل که همراه با نفوذ مقداری هوا به درون بذر است، تعیین شد. فشار اولیه مناسب دستگاه پیکنومتر گازی با توجه به کمترین اختلاف چگالی ظاهری و کنترل برای نمونه مورد آزمایش مشخص گردید و برای تمام بذور، ۸۰kPa بدست آمد. میانگین چگالی‌های واقعی، ظاهری و کنترل برای سه محصول گندم سخت، گندم نرم و ذرت به ترتیب برابر با ۱/۵۱۱ ، ۱/۵۲۴ و ۱/۴۶۰gcm^{-3}؛ ۱/۴۲۱ ، ۱/۴۱۸ و ۱/۳۱۵ gcm^{-3} ؛ و ۱/۴۶۴ ، ۱/۴۸۲ و ۱/۳۳۵ gcm^{-3} اندازه‌گیری شد. میانگین درصد تخلخل داخلی برای سه محصول گندم سخت، گندم نرم و ذرت به ترتیب برابر با ۵/۷، ۶/۸ و ٪۱۱/۴۵ و میانگین درصد تخلخل خارجی به ترتیب برابر با ۴۵/۰۲، ۴۵/۷۵ و ٪۴۴/۰۳ به دست آمد. درصد هوای نفوذی که به صورت درصد هوای ورودی به داخل فضای خالی درون دانه‌ها که توسط دستگاه پیکنو متر قابل دسترسی است، برای سه محصول نامبرده برابر ۳/۶۶، ۴/۹۶ و ٪۱/۷۹ اندازه‌گیری شد. حدود ٪۸۰ فضاهای خالی ذرت از محیط خارج ایزوله بود، اما ۶۰ و ٪۷۰ فضاهای خالی گندم سخت و نرم قابل دسترس هوا است.

واژه‌های کلیدی: پیکنومتر گازی، چگالی، گندم نرم و سخت، درصد هوای نفوذی، تخلخل

مقدمه

چگالی دانه‌های غلات پارامتر مهمی است که روی سختی، قابلیت شکستن، آسیاب کردن، سرعت خشک کردن و مقاوم بودن غلات در برابر رشد قارچ‌ها تأثیر می‌گذارد. به خاطر بی‌نظمی در اندازه، شکل و ساختار غلات و همچنین طبیعت متخلخل اکثر مواد کشاورزی و بیولوژیکی، اندازه‌گیری حجم آنها با مشکلاتی روبرو است. بـه طور کلی دو روش عمده برای اندازه‌گیری حجم محصولات کشاورزی بـه کار می‌رود: ۱- روش جابجایی مایع ۲- روش جابجایی گاز. در روش اول به دلیل تشکیل حباب‌های هوا اطراف دانه‌های غلات، به خصوص دانه‌های کرک دار (مانند گندم و جودوسر) و ایجاد خطا، استفاده از آن را محدود کرده است. از طرفی بعضی از

محصولات به علت سبک بودن، روی سطح مایع می‌مانند و در نتیجه اندازه‌گیری حجم این نوع محصولات با این روش وقت‌گیر و مشکل می‌باشد. همچنین مواد پودری به دلیل حل شدن قسمت یا بخش زیادی از آنها در مایع، امکان اندازه‌گیری حجم این نوع مواد به کمک این روش وجود ندارد (Stoshaine,1998). به همین دلیل استفاده از روش جابجایی گاز مناسب‌تر از روش اول می‌باشد.

در سال ۱۹۶۴ یک پیکنومتر گازی توسط Day برای اندازه‌گیری حجم مواد بیولوژیکی و کشاورزی طراحی و استفاده گردید (Urena et al., 2002). تامپسون و ایزاک (۱۹۶۷) چگالی تودهٔ غلات و بذور مختلفی را به وسیلهٔ یک دستگاه پیکنومتر گازی (هوا) تعیین کردند (Diehl et al., 1988). در سال ۱۹۶۹، چگالی واقعی غلات به وسیلهٔ پیکنومتر گازی توسط Chung و Converse و در سال ۱۹۷۲ توسط Gustafson و Hall اندازه‌گیری شد (Chang, 1988). در این دو تحقیق برای تعیین چگالی واقعی از یک آسیاب کوچک برای خرد کردن نمونه مورد آزمایش استفاده کردند. در سال ۱۹۸۷ Turner دستگاهی را طراحی کرد که در فشار ثابت، حجم را محاسبه می‌نمود و توانست با این دستگاه حجم و تخلخل مواد پودری و مواد فشرده را با دقتی مناسب محاسبه کند. در سال ۱۹۸۶، Diehl و Garwood جهت اندازه‌گیری چگالی طیور زنده، از دستگاه پیکنومتر استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که این روش برای اندازه‌گیری حجم مواد بیولوژیکی بسیار سریع و با تکرار پذیری بالا می‌باشد. از طرفی بدون صدمه زدن به مواد بیولوژیکی قادر به اندازه-گیری حجم و چگالی آنها می‌باشد. در سال ۱۹۸۸، Chang برای اندازه‌گیری درصد تخلخل، چگالی‌های واقعی و ظاهری ذرت، گندم و سورگوم، از دستگاه پیکنومتر گازی استفاده کرد. او از آزمایش‌های خود به این نتیجه رسید که چگالی واقعی سه محصول نامبرده تقریبا به هم نزدیک می‌باشند. چگالی ظاهری گندم بیشتر از ذرت و سورگوم بود. درصد تخلخل داخلی ذرت نیز بیشتر از گندم و سورگوم بدست آمد. در سال ۲۰۰۰ برای اندازه‌گیری مقدار گاز نفوذی، Lee و همکاران از یک پیکنومتر گازی مخصوص استفاده نمودند. آنها بعد از قرار دادن نمونه‌ها در فشارهای مختلف حجم را اندازه‌گیری کردند. چون به مرور زمان گاز کم کم به داخل جسم نفوذ می‌کرد در نتیجه حجم محاسبه شده در فشار های مختلف متفاوت بود، لذا این تفاوت حجم را به عنوان شاخصی برای تعیین مقدار گاز نفوذی بیان نمودند.

یکی از مباحث مهم در تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی و بخصوص مواد پودری اندازه‌گیری حجم آنهاست. میزان حجم در بسیاری از خصوصیات دیگر محصولات از قبیل چگالی و درصد تخلخل تأثیر دارد. از طرفی درصد تخلخل، چگالی و درصد هوای قابل نفوذ در دانه‌های غلات پارامترهای مهمی هستند که روی دیگر خواص فیزیکی و حرارتی تأثیر می‌گذارد. بنابراین اهمیت اندازه‌گیری حجم محصولات کشاورزی با روش مناسب در آزمایشگاه لازم و ضروری است.

اهداف اصلی این مقاله عبارت اند از: تعیین فشار اولیه مناسب دستگاه پیکنومتر گازی برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری سه محصول گندم سخت (واریته بزوستایا)، گندم نرم (لاین C7916) و ذرت (لاین SC704)، اندازه‌گیری چگالی‌های ظاهری، کنترل و

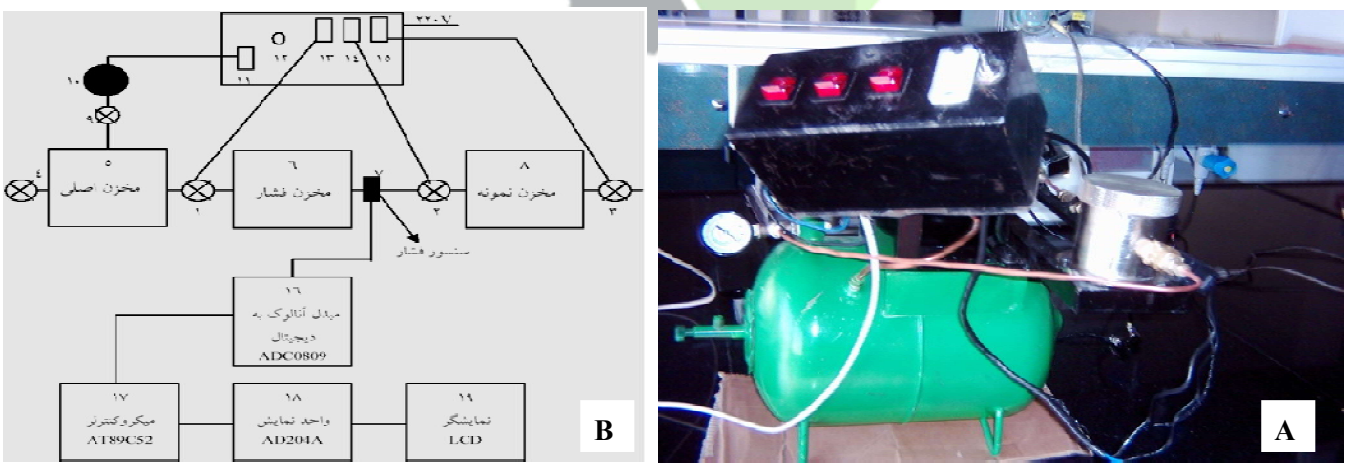
واقعی (محصول پودر شده) و نیز محاسبه درصد تخلخل داخلی، تخلخل خارجی، درصد هوای نفوذی و منافذ غیرقابل نفوذ برای سه محصول مورد آزمایش.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها روی دو واریته از گندم یعنی سخت (واریتهٔ بزوستایا) و نرم (لاین C7916) و یک واریته از ذرت (لاین SC704) انجام شد. علت انتخاب این بذور، اختلاف در ساختمان فیزیکی آنها بود، به این صورت که گندم سخت به علت داشتن کرک‌های خیلی ریز و پوسته نسبتاً سخت و گندم نرم به علت نازکی پوسته آن، هوا زودتر از گندم سخت در آن نفوذ می‌کند. ذرت نیز به دلیل درشت بودن دانه و سفت بودن پوست آن انتخاب گردید.

از یک دستگاه پیکنومتر گازی برای تعیین حجم و چگالی نمونه‌ها استفاده شد. این دستگاه بر اساس قانون گاز ایده‌آل کار می‌کند و با تغییر فشار اولیه، حجم نمونه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. تصویر دستگاه در شکل (۱–A) و شماتیک کار آن در شکل (۱–B) نشان داده شده است. اجزای دستگاه عبارت اند از: مخزن نمونه و فشار، سوپاپ‌های الکتریکی، لوله‌های رابط، سنسور فشار، مخزن اصلی هوا، فشارسنج مخزن و دستگاه الکترونیکی اندازه‌گیر فشار. با توجه به شکل (۱–B)، با باز کردن سوپاپ (۱) و بستن سوپاپ (۲) هوا وارد مخزن فشار شده و بعد از به تعادل رسیدن فشار اولیه، توسط دستگاه الکترونیکی اندازه‌گیر فشار ثبت می‌شود. بعد از آن سوپاپ (۳) بسته شده و سوپاپ (۲) باز می‌شود. در این حالت سیستم بعد از مدت زمانی به تعادل می‌رسد و فشار ثانویه نیز ثبت می‌گردد. سپس این دو سیگنال فشار اولیه و ثانویه به میکروکنترلر فرستاده شده و بعد از محاسبهٔ حجم توسط فرمول کالیبرهٔ دستگاه (۱)، نتیجه در صفحهٔ نمایش کریستالی نشان داده می‌شود:

$$V_S = 610.98 - \frac{314.42P_1}{P_2} \qquad (۱)$$



شکل ۱ – تصویر واقعی دستگاه پیکنومتر گازی (A) و دیاگرام کار آن (B)

در این تحقیق چهار نوع چگالی واقعی، ظاهری، کنترل و توده و درصد تخلخل داخلی و خارجی، درصد هوای نفوذی و درصد هوای غیر قابل دسترسی برای نمونه‌های بذر اندازه‌گیری و محاسبه گردید. چگالی واقعی از نسبت وزن نمونه به حجم واقعی نمونه بدون در نظر گرفتن فضا های خالی درون دانه تعریف می‌شود. به این چگالی، چگالی جامد نیز می‌گویند. چگالی ظاهری، از نسبت وزن دانه به حجم ظاهری دانه‌های غلات تعیین می‌شود که همه فضاهای خالی درون دانه‌ها را شامل می‌شود. به چگالی ظاهری، چگالی دانه یا چگالی واحد نیز می‌گویند. چگالی کنترل، از نسبت وزن دانه به حجم دانه بدون پوشش روغن جلا محاسبه می‌گردد. برای اندازه‌گیری چگالی ها برای هر محصول، ۱۰ تکرار در نظر گرفته شد. چگالی ظاهری و کنترل بذور از روش جابجایی مایع (آب) نیز برای مقایسه با روش پیکنومتر بدست آورده شدند.

برای انجام آزمایش نیاز به تعیین درصد رطوبت اولیه نمونه‌ها می‌باشیم، زیرا داده‌های موجود در منابع در رطوبت‌های خاص اندازه‌گیری شده‌اند وتغیر رطوبت دانه باعث تغییر در چگالی مواد می‌شود. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت دانه‌ها از روش آون استفاده شد (ASAE, 2001). میزان رطوبت بر پایه تر برای دانه‌های گندم سخت، گندم نرم و ذرت به ترتیب برابر با ۸/۰۲۶، ۸/۲۷، ٪۷/۴۳ بدست آمد.

برای به دست آوردن حجم واقعی نمونه، ابتدا نمونه را به وسیلهٔ آسیاب چکشی خرد کرده و از الک ۰/۲۵ میلیمتری (کوچکترین درجه پودری در این آزمایش توسط الک با شماره (mesh) ۶۰) عبور داده شد. سپس نمونهٔ خرد شده را در مخزن نمونه قرار داده و حجم واقعی توسط دستگاه پیکنومتر گازی اندازه‌گیری شد. با تقسیم وزن نمونه بر حجم واقعی چگالی واقعی به دست می‌آید. این آزمایش را ده بار تکرار کرده و میانگین چگالی‌های واقعی به دست آمده از هر تکرار محاسبه شد. برای تعیین تأثیر اندازه ذرات پودر شده روی چگالی واقعی، هر سه محصول که توسط آسیاب به صورت آرد در آورده شده بود، بوسیله غربال با درجات مختلف به سه اندازه متفاوت پودری به ترتیب با شماره‌های مش ۴۰ (۰/۴۲۵ mm)، ۵۰ (۰/۳ mm) و ۶۰ (۰/۲۵ mm) تقسیم شد (ابن جلال و شفاعی بجستان، ۱۳۷۶) و چگالی هر کدام با ایجاد فشار اولیه مناسب (۸۰ kPa که نحوه انتخاب آن در نتایج خواهد آمد)، بدست آورده شد.

برای تعیین چگالی ظاهری ابتدا نمونه به وسیلهٔ لایه‌ای نازک از روغن جلا پوشش داده می‌شود. وزن نمونه قبل و بعد از پوشش روغن جلا اندازه‌گیری شده و از تفاضل این دو مقدار وزن لایهٔ جلا محاسبه می‌گردد. با داشتن وزن لایهٔ جلا، برای تعیین حجم لایه‌ای که نمونه را در بر گرفته باید چگالی این لایه محاسبه شود. برای تعیین چگالی لایه، نمونه‌ای فلزی بـه حجم معین را ($۳۰/۰۴۹۵ cm^3$) با این لایه پوشش داده و درون مخزن نمونه دستگاه قرار می‌گیرد. قبل و بعد از پوشش دادن نمونه با لایهٔ جلا، وزن آن به دست می‌آید. سپس حجم نمونهٔ فلزی پوشش‌دار اندازه‌گیری و با کم کردن حجم اولیهٔ نمونهٔ فلزی از حجم ثانویهٔ آن، حجم لایهٔ جلا به دست می‌آید. با تقسیم وزن بر حجم لایهٔ جلا، چگالی آن به دست آمد. حال با داشتن چگالی لایهٔ جلا و وزن آن در اطراف بذور، حجم لایه پوشش

داده شده، به دست می‌آید. با کم کردن حجم لایهٔ جلا از حجم نمونهٔ پوشش‌دار، حجم ظاهری محاسبه می‌شود. با داشتن حجم ظاهری و وزن نمونه، چگالی ظاهری به دست می‌آید. برای اندازه‌گیری چگالی کنترل، نمونه را وزن کرده و بدون هیچ پوششی درون مخزن نمونه قرار داده می‌شود. در تعیین چگالی کنترل به این نکته باید توجه شود که حجم فضاهای خالی قابل دسترس هوا جزء حجم نمونه محسوب نمی‌شوند.

برای تعیین تخلخل خارجی نیاز به چگالی توده و برای تعیین تخلخل داخلی نیاز به چگالی واقعی و ظاهری می‌باشد. چگالی توده ازطریق استوانه مدرج و دو چگالی دیگر از طریق دستگاه پیکنومتر گازی اندازه‌گیری شد. درصد تخلخل خارجی (P٪) از نسبت حجم فضای خالی خارج نمونه دانه‌ها به کل حجم توده مورد نظر، تعریف شده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\%P = \frac{D_a - D_b}{D_a} \times 100 \quad (۲)$$

که D_b چگالی توده (gcm^{-3}) و D_aچگالی ظاهری (gcm^{-3}) می‌باشد. درصد تخلخل داخلی (P_0٪) به صورت حجم منافذ داخلی یک دانه غلات به حجم ظاهری دانه تعریف شده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\%P_0 = \frac{D_t - D_a}{D_t} \times 100 \quad (۳)$$

که D_t چگالی واقعی (gcm^{-3}) است.

درصد هوای نفوذی بصورت نسبت حجم هوای ورودی به منافذ داخلی دانه به حجم ظاهری دانه تعریف شده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\%B = \frac{D_c - D_a}{D_c} \times 100 \quad (۴)$$

که D_c چگالی کنترل و D_a چگالی ظاهری می‌باشد. درصد منافذ قابل دسترسی هوا ، A٪ به صورت نسبت حجم فضای خالی درون دانه که توسط گاز دستگاه پیکنومتر قابل دسترسی است، تعریف می‌شود. با کم کردن این مقدار از صد درصد منافذ غیر قابل دسترسی هوا، C٪ بدست می‌آید. درصد منافذ قابل دسترسی و غیر قابل دسترس هوا طبق رابطه زیر بیان می‌گردد (chang,1988):

$$A = \frac{B}{P_0} \times 100 \quad (۵)$$

$$\%C = 100 - A \quad (۶)$$

در اکثر آزمایش جهت تسریع در اندازه‌گیری چگالی ظاهری دانه با پیکنومتر گازی، سعی می‌شود آزمایشات بدون پوشش دادن نمونه‌ها با روغن انجام شود. چون فشار اولیه پیکنومتر در میزان نفوذ هوا به داخل دانه تأثیر دارد، لذا میزان فشار اولیه باید در حدی باشد که چگالی کنترل و ظاهری کمترین اختلاف نسبت به هم داشته باشند. برای بدست آوردن فشار اولیه مناسب، آزمایش در چهار سطح فشار۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ kPa انجام شد. برای دریافت اختلاف معنی دار در مقایسه چگالی کنترل و ظاهری سه محصول انتخابی از روش

پیکنومتر گازی و روش جابجایی مایع و نیز مقایسه چگالی ظاهری و کنترل سه محصول از روش پیکنو متر، از آزمون t (در صورتیکه اعضای دو نمونه کمتر از ۳۰ ($n<30$) باشد) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج چگالی واقعی، ظاهری و کنترل برای سه محصول نامبرده در جدول (۱) آورده شده‌اند. چگالی واقعی برای سه محصول گندم سخت، گندم نرم و ذرت با دستگاه پیکنو متر به ترتیب برابر با ۱/۵۱۱، ۱/۵۲۴ و ۱/۴۶۰ gcm^{-3}، چگالی ظاهری به ترتیب برابر با ۱/۴۲۱، ۱/۴۱۸ و ۱/۳۱۵ gcm^{-3}، چگالی کنترل به ترتیب برابر با ۱/۴۶۴، ۱/۴۸۲ و ۱/۳۳۵ gcm^{-3} و چگالی توده با استوانه مدرج به ترتیب ۰/۷۸۱۳، ۰/۷۶۹۲و ۰/۷۳۶ gcm^{-3} و درصد تخلخل داخلی (P_0) برای سه محصول برابر با ۵/۷، ۶/۸ و ۱۱/۴۵٪ بدست آمد. در جدول (۲) داده‌های موجود در منابع برای سه نوع محصول انتخابی آورده شده است. چگالی واقعی، ظاهری و کنترل دو نوع واریته گندم تقریباً نزدیک به هم بودند. اختلاف کم بین چگالی ظاهری و واقعی دو گندم سخت و نرم نشان دهنده این است که تخلخل داخلی آنها اندک است. طبق جداول (۱) و (۲) چگالی ظاهری و کنترل اندازه‌گیری شده برای سه محصول با دستگاه پیکنو متر گازی نسبت به روش مایع به داده‌های منابع در جدول (۲) نزدیکتر است. درصد تخلخل داخلی گندم سخت و نرم از ذرت کمتر بود. چانگ طی تحقیقاتی بر روی سه محصول گندم سخت (واریته Newoton)، گندم نرم (واریته Pike) و ذرت (واریته Bojac) چگالی واقعی، کنترل و ظاهری و درصد تخلخل داخلی آنها را بدست آورد. مقادیر چگالی‌های بدست آمده در این تحقیق مقداری با نتایج این آزمایش اختلاف داشت که به علت اختلاف در میزان رطوبت و واریته‌های گندم و ذرت در دو آزمایش بود. ولی به طور کلی در این تحقیق نیز چگالی واقعی، ظاهری و کنترل گندم نرم و سخت تقریباً به هم نزدیک و همچنین چگالی‌های ذرت کمتر از گندم بدست آمد و نیز تخلخل داخلی گندم سخت، کمتر از گندم نرم و ذرت بیشتر از دو واریته گندم اندازه‌گیری گردید.

جدول ۱- چگالی و تخلخل‌های اندازه‌گیری شده غلات

غلات	درصد رطوبت (w.b.)	چگالی واقعی gcm^{-3}	چگالی ظاهری gcm^{-3}	چگالی کنترل gcm^{-3}	چگالی ظاهری (روش جابجایی مایع) gcm^{-3}	چگالی کنترل (روش جابجایی مایع)	درصد تخلخل داخلی (٪)	درصد تخلخل خارجی (٪)
گندم سخت(hard wheat)	۸/۰۲۸	۱/۵۱۱±۰/۰۱۳۸	۱/۴۲۱±۰/۰۱۲۵	۱/۴۶۴±۰/۰۰۱۵	۱/۲۸۱	۱/۲۶۶	۵/۷	۴۵/۰۲
گندم نرم (soft wheat)	۸/۲۷	۱/۵۲۴±۰/۰۳۸۱	۱/۴۱۸±۰/۰۰۸۲	۱/۴۸۲±۰/۰۰۲۲	۱/۲۵۷	۱/۲۸۲	۶/۸	۴۵/۷۵
ذرت (corn)	۷/۴۳	۱/۴۶۰±۰/۰۳۷۸	۱/۳۱۵±۰/۰۰۵۵	۱/۳۳۵±۰/۰۰۱۶	۱/۲۰۵	۱/۱۴۷	۱۱/۴۵	۴۴/۰۳

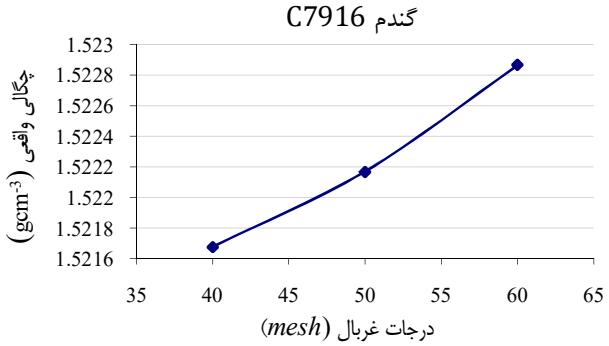
جدول ۲- چگالی و تخلخل‌های اندازه‌گیری شده غلات در منابع (chang,1988; Stroshine,1998)

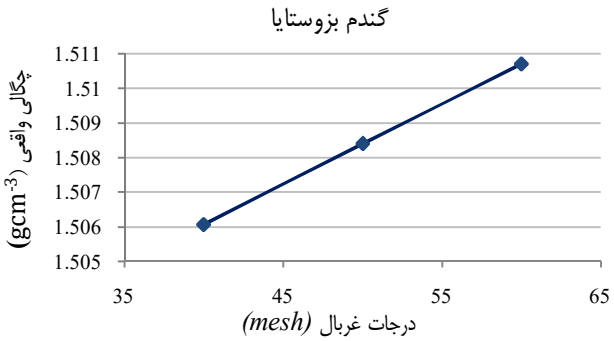
غلات	چگالی واقعی gcm^{-3}	چگالی ظاهری gcm^{-3}	چگالی کنترل gcm^{-3}	چگالی توده gcm^{-3}	درصد تخلخل داخلی	درصد تخلخل خارجی
گندم سخت (hard wheat)	۱/۴۶۹-۱/۴۷۶	۱/۴۱۱-۱/۴۳۲	۱/۴۶۰	۰/۷۷۲-۰/۷۹۸	۴- ۳/۶	۴۴/۵۸ -۴۲/۲۵
گندم نرم (soft wheat)	۱/۴۶۳-۱/۴۷۸	۱/۴۳۷-۱/۴۱۰	۱/۴۴۸	۰/۷۷۲-۰/۷۹۸	۷- ۵/۳	۴۲/۶ -۴۰/۱
ذرت (corn)	۱/۴۵۲-۱/۴۵۰	۱/۲۸۰-۱/۳	۱/۳۰۵	۰/۷۲۱-۰/۷۴۴	۱۱/۷- ۱۳/۳	۴۴- ۴۰

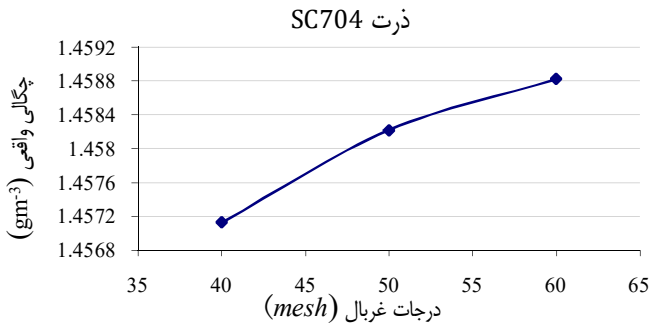
درصد تخلخل خارجی گندم سخت، نرم و ذرت به ترتیب برابر با ۴۵/۰۲، ۴۵/۷۵ و ۴۴/۰۳٪ بدست آمد (جدول ۱). درصد تخلخل گندم سخت‌نرم تقریباً به هم نزدیک بودند و این مسئله نشان دهنده یکسان بودن اندازه و شکل این دو واریته گندم است. همانطور که مشاهده می‌شود درصد تخلخل خارجی دو واریته گندم از ذرت بیشتر است که به نتایج گزارش شده نزدیک است (mohsenin,1977 و Stroshine,1998). طبق نتایج جدول (۱)، درصد تخلخل خارجی بدست آمده از دستگاه ۱۰ تا ۱۵٪ بیشتر از مقادیر بدست آمده از مقادیری است که بوسیله روش جابجایی مایع بدست آمد. چون چگالی حاصل از روش مایع به علت تشکیل حباب هوا اطراف بذور، کمتر از روش پیکنومتر گازی است لذا درصد تخلخل خارجی از روش پیکنو متر بیشتر و دقیق تر است.

تأثیر اندازه ذرات پودر شده بر چگالی واقعی

شکل‌های (۲) رابطه بین تغییرات درجات غربال و چگالی واقعی سه محصول در فشار اولیه ۸۰kPa پیکنومتر را نشان می‌دهد. با افزایش درجه غربال و ریز شدن ذرات، چگالی واقعی هر سه محصول به علت کاهش منافذ داخلی افزایش می‌یابد. پیش بینی می‌شود سیر صعودی چگالی واقعی در سه محصول دائمی نبوده و بعد از یک درجه پودری معین حالت ثابتی به خود می‌گیرد. زیرا با افزایش درجه پودری منافذ داخلی تقریباً حذف می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود برای بدست آوردن چگالی واقعی محصولات دانه‌ای، نمونه تا ریزترین حد ممکن آسیاب و درجه بندی شود.







شکل ۲- تأثیر اندازه ذرات پودر شده بر چگالی واقعی سه محصول گندم نرم، گندم سخت و ذرت

درصد هوای نفوذی و منافذ غیر قابل دسترسی

نتایج مقدار هوای نفوذی در دانه و درصد هوای غیر قابل نفوذ در غلات برای سه محصول در جدول (۳) آورده شده است. حجم نمونه‌ها بعد از نفوذ هوا در آن در فشار ماکسیمم ۱۶۰kPa پس از گذشت ۶۵ ثانیه بدست آمد و از روابط (۳) تا (۶) استفاده شد. طبق این جدول درصد هوای نفوذی در گندم سخت کمتر از گندم نرم بود، اما این درصد برای ذرت خیلی کمتر از دو نوع گندم بود. درصد منافذ غیر قابل دسترس هوا برای گندم سخت بیشتر از گندم نرم بود، درحالیکه این مقدار در ذرت خیلی بیشتر از دو محصول دیگر است. این بدین علت است که پوست ذرت از پوست گندم سخت تر بوده و هوای کمتری در آن نفوذ می‌کند. بیش از ۸۰٪ فضاهای خالی ذرت از خارج ایزوله بودند. حدود ۶۰ و ۷۰٪ فضاهای خالی گندم سخت و نرم توسط هوای دستگاه قابل دسترس بودند.

جدول ۳- نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری درصد هوای نفوذی (منابع از chang,1988)

نمونه	درصد هوای نفوذی(٪)		منافذ غیر قابل دسترس هوا(٪)	
	دستگاه	منابع	دستگاه	منابع
گندم سخت (hard wheat)	۳/۶۶	۳/۱۹-۲/۵۳	۳۶/۵۴	۲۹-۳۶
گندم نرم (soft wheat)	۴/۹۶	۴/۱۱-۳/۶۸	۲۷/۴۱	۲۷-۳۱
ذرت (corn)	۱/۷۹	۱/۹۲-۱/۰۲	۸۴/۳۷	۸۴-۹۲

نتایج مقایسه داده‌ها

مقدار t برای دریافت اختلاف معنی دار درمقایسه چگالی کنترل سه محصول انتخابی از روش پیکنومتر گازی و روش جابجایی مایع در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به جداول (۱) و (۴) مقادیر چگالی کنترل بدست آمده از دستگاه با مقادیر بدست آمده از روش جابجایی مایع در سطح ۱ درصد اختلاف معنا دار دارد، یعنی میانگین چگالی کنترل بدست آمده از دستگاه با روش مایع برابر نیست که علت آن افزایش حجم قرائت شده به روش مایع به دلیل تشکیل حباب هوا اطراف بذر و شناور شدن نمونه‌ها روی سطح مایع به

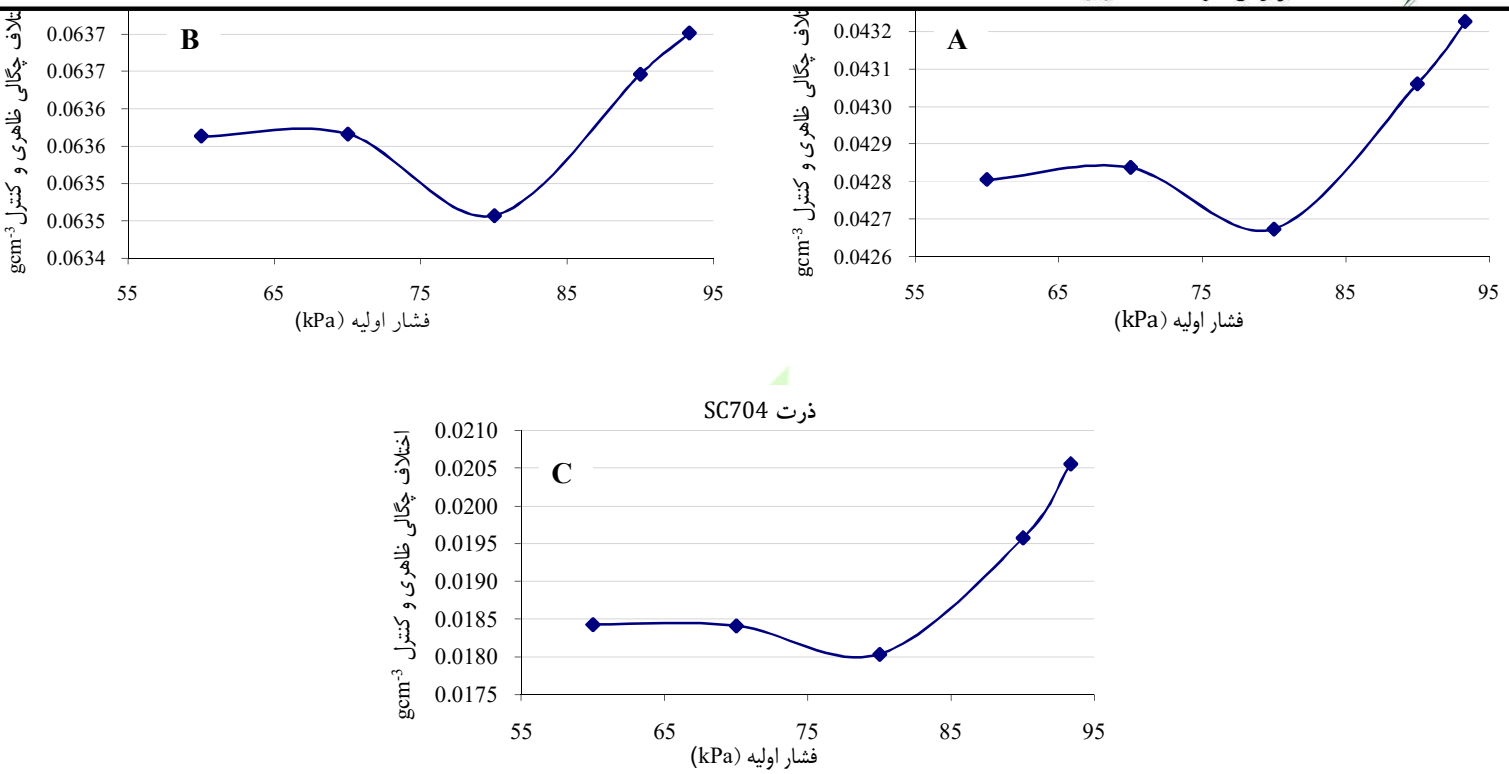
علت داشتن کرک‌های زیاد است. نفوذ هوا به به داخل دانه‌ها در موقع اندازه‌گیری حجم با دستگاه پیکنومتر از دلایل دیگر است. همچنین برای سه محصول انتخابی چگالی ظاهری بدست آمده از دستگاه با مقادیر بدست آمده از روش جابجایی مایع در سطح ۱ درصد اختلاف معناداری دارد که نشان می‌دهد چگالی ظاهری بدست آمده از دو روش یکسان نیست که علت آن همان مشکلات ذکر شده است. بین چگالی ظاهری و کنترل سه محصول انتخابی در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی دار وجود دارد. این نتیجه نشان می-دهد که چگالی کنترل بدست آمده برای سه محصول با چگالی ظاهری در همان فشار (۸۰kPa) برابر نیست که علت این اختلاف در مقدار نفوذ هوا به درون دانه است.

جدول ۴- مقایسه آماری داده‌های دستگاه با منابع

نمونه	مقایسه چگالی کنترل (دستگاه و روش جابجایی آب)	مقایسه چگالی ظاهری (دستگاه و روش جابجایی آب)	مقایسه چگالی کنترل و ظاهری دستگاه
	t (سطح احتمال ۱ درصد)	t (سطح احتمال ۱ درصد)	t (سطح احتمال ۵ درصد)
گندم سخت (hard wheat)	۲/۹۵**	۲/۸۵**	۲/۰۶۵*
گندم نرم (soft wheat)	۲/۹۵۲**	۱/۲۵۷**	۲/۰۷۲*
ذرت (corn)	۲/۸۹۸**	۱/۲۰۵**	۲/۰۶۹*

تعیین فشار اولیه مناسب

در صورتیکه اختلاف بین چگالی کنترل و ظاهری اندک باشد می‌توان بدون پوشش دادن نمونه توسط لایه روغن جلا، چگالی ظاهری نمونه را با دقت زیاد بدست آورد. با توجه به شکل‌های (۳) برای سه محصول گندم سخت، گندم نرم و ذرت در فشار اولیه ۸۰kPa کمترین اختلاف بین چگالی ظاهری و کنترل مشاهده می‌شود. در فشارهای اولیه پایین به دلیل نفوذ کم هوا در محصول، این اختلاف کم و در فشارهای زیاد به علت نفوذ زیاد هوا در محصول اختلاف بیشتر است. ضمناً در فشارهای پایین، فشار کمی به دانه آغشته به روغن وارد شده و چگالی ظاهری کمتری نسبت به فشار ۸۰kPa بدست می‌آید. با توجه به نمودارها، اختلاف بین چگالی کنترل و ظاهری در فشارهای بیش از ۸۰kPa افزایش می‌یابد، اما این روند افزایش همیشگی نبوده و ثابت می‌شود. زیرا هوای دستگاه پیکنومتر در فشارهای خیلی بالا دیگر قادر به نفوذ نبوده و نمونه شبیه جسم صلب عمل می‌کند و چگالی کنترل ثابت می‌ماند. در فشار اولیه ۸۰kPa ، می‌توان چگالی کنترل را به علت حداقل بودن اختلاف آن با چگالی ظاهری با تقریب کمتر از ۰/۰۵ برای گندم سخت، با تقریب کمتر از ۰/۱ برای گندم نرم و با تقریب کمتر از ۰/۲۵ برای ذرت بابر چگالی ظاهری نمونه قرار داد. با توجه به شکل‌های ۳- B و ۳-C اختلاف چگالی کنترل وظاهری دو نوع گندم در مقایسه با ذرت خیلی بیشتر است که نشان از نفوذ ناپذیری ذرت در برابر هوا دارد.



شکل ۳ – تعیین فشار اولیه مناسب دستگاه پیکنومتر برای سه محصول

نتیجه‌گیری

روش اندازه‌گیری حجم توسط پیکنومتر گازی، روشی سریع و دقیق برای اندازه‌گیری حجم، چگالی، میزان تخلخل و حجم منافذ محصولات کشاورزی و مواد متخلخل نظیر دانه‌ها، علوفه و مواد پودری درکشاورزی است. چگالی واقعی دو محصول گندم سخت (۱/۵۱۱ gcm^{-3}) و گندم نرم (۱/۵۲۴) تقریباً نزدیک به چگالی واقعی ذرت (۱/۴۶۰) بود. چگالی ظاهری گندم سخت (۱/۴۲۱) و گندم نرم (۱/۴۱۸) بیشتر از ذرت (۱/۳۱۵) بود. چگالی کنترل گندم نرم (۱/۴۸۲) وگندم سخت (۱/۴۶۴) بیشتر از مقدار مربوط به ذرت(۱/۳۳۵) بود. چگالی واقعی، ظاهری و کنترل دو گندم سخت (۱/۵۱۱، ۱/۴۲۱ و ۱/۴۶۴) و گندم نرم (۱/۵۲۴، ۱/۴۱۸ و ۱/۴۸۲) تقریباً نزدیک به هم بودند و اختلاف اندکی داشتند. چگالی کنترل، ظاهری و واقعی بدست آمده از دستگاه پیکنومتر نسبت به روش مایع، به مقادیر موجود در منابع نزدیک تر بود. با افزایش درجهٔ پودری محصول (ریز شدن ذرات محصول آسیاب شده)، چگالی واقعی برای هر محصول افزایش پیدا می‌کند.

درصد تخلخل داخلی دو محصول گندم سخت (۵/۷٪) و گندم نرم (۶/۸٪) از درصد تخلخل داخلی ذرت (۱۱/۴۵٪) کمتر بود. درصد تخلخل خارجی دو محصول گندم سخت (۴۵/۰۲٪) و نرم (۴۵/۷۵٪) تقریباً نزدیک به هم بود و از مقدار ذرت (۴۴/۰۳٪) بیشتر بود.

یکی از پارامترهای مهم دستگاه پیکنومتر، تعیین فشار اولیه مناسب برای هر محصول است که برای هر سه محصول kPa ۸۰ بدست آمد. در این فشار کمترین اختلاف بین چگالی ظاهری و کنترل بدست می‌آید. بیش از ۸۰٪ منافذ داخلی دانه‌های ذرت از محیط خارج ایزوله بود، اما بیش از ۶۰ و ۷۰٪ منافذ داخلی گندم سخت و نرم در دسترس هوای دستگاه بودند.

منابع

۱- ابن جلال، ر و شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۶. اصول نظری و عملی مکانیک خاک. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۷۲۹.

۲- هاشمی پور، ع. ۱۳۸۳. اصلاح دستگاه پیکنومتر گازی و اندازه‌گیری حجم مواد پودری و منافذ داخلی محصولات کشاورزی. پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

3- ASAE. 1997. Moisture measurement-unground grain and seeds. ASAE S352.2 DEC92.

4- Batchelor, R.L., and T.J.Lynch. 1978. Pycnometer. United States Patent, No. 4, 095, 473.

5- Chang, C.S. 1988. Measuring density and porosity of grain kernels using a gas pycnometer. American Association of Cereal Chemists. 65(1): 13-15.

6- Chung, D.S., and H.H. Converse. 1969. Effect of moisture content on some physical properties of grains. American Society Agricultural Engineering. 69-811.

7- Day, C.L. 1964. Device for measuring voids in porous materials. American Society Agricultural Engineering. 45(1): 36-37.

8- Diehl, K.C., V.A. Garwood, and C.G. Haugh. 1988. Volume measurement using the air-comparison pycnometer. American Society of Agricultural Engineers. Transactions of ASAE. 31(1): 284-292.

9- Garwood, V.A., and K.C. Diehl. 1986. Relationships of body volume, density, growth and lipid content in Coturnix coturnix japonica.

10- Gustafson, R.J., and G.E. Hall. 1972. Density and porosity changes of shelled corn during drying. Transactions of ASAE. 15:523.

11- Lee, C.E., S. Dell, and D. John. 2000. Apparatus and method for determining the amount of entrapped gas in a material. United States Patent, No. 6, 082, 174.

12- Stroshine, R., and D. Hamann. 1998. Physical Properties ol Agricultural Materials and Food Products, Publisher : R. Stroshine.

13- Thompson, R.A., and G.W. Isaacs. 1967. Porosity determination of grains and seeds with an air-comparison pycnometer. Transactions of ASAE. 10(5): 693-696.

14- Turner, P.L. 1978. Method and apparatus for determining the volume of a condensed material sample. United States Patent, No. 4, 112, 738.

15- Urena, M. A., M.G. Galvan, and A.A. Teixeira. 2002. Measurement of aggregate true particle density to estimate grain mixture composition. American Society of Agricultural Engineers. Transactions of the ASAE. 45(6): 1925-1928.

Determination of density, porosity and internal pore volume of grains (wheat and corn) by gas pycnometer

Ahmad Reza Salehion[1], Mohammad Hadi Khoshtaghaza[2,*], Seyed Easa Hashemipour[1]

1 AM, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University
2* Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, khoshtag@modares.ac.ir

Abstract

In this study, the true, apparent and control densities of three produced hard wheat (variety Bezostaja), soft wheat (line C7916) and corn (line SC704) was determined with gas pycnometer. To determine the apparent volume, the samples was covered by varnishes and for measuring the actual size volume of grains used a hammer mill and the volume was measured by the device. By placing uncoated samples in the reservoir of device, the volume control that comes with some air penetrating into the seed was determined. The appropriate initial pressure of the gas pycnometer devices due to the lower differences between controls and bulk density were determined 80 kPa for all samples tested. The densities values were obtained 1.464, 1.421 and 1.508 for hard wheat, 1.481, 1.418 and 1.522 for soft wheat and 1.334, 1.315 and 1.458 for corn, respectively. The external and internal porosity percentage, penetrated air and inaccessible pore spaces to air percentage values were obtained 5.7, 45.02, 3.66 and 63.54% for hard wheat, 6.8, 45.75, 4.96 and 27.41% for soft wheat and 11.45, 44.03, 1.79 and 84.37% for corn, respectively. Based on the experiments results, more than 80% of pore spaces in corn kernels and less than 30 and 40% of pore spaces in soft and hard wheat were inaccessible to the air, respectively. In other words, air could penetrate in major portion of pore spaces of wheat.

Key Words: Gas pycnometer, soft and hard wheat, Control, apparent and true density, Penetrated air percentage, porosity.