مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۵ شماره ۱، تابستان ۱۳۹۱

تعیین برخی خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دو رقم دانه عدس

عزت اله عسکری اصلی اردە*[۱]، زهرا بساطی[۲] و احمد محسنی منش[۳]

۱*- **نویسنده مسئول:** استادیار دانشگاه محقق اردبیلی(ezzataskari@yahoo.co.uk)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی

۳- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۹

چکیده:

ویژگی‌های فیزیکی محصولات کشاورزی به ویژه خواص آیرودینامیکی دانه ها در طراحی ماشین‌های فرآوری، کاشت و برداشت مورد استفاده می گیرد. در این تحقیق برخی خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دو رقم دانه عدس (کیمیا و گچساران) بر اساس تغییر محتوای رطوبتی دانه از ۸ تا ۲٤w.b.٪ مورد ارزیابی قرار گرفت. این خواص شامل: ابعاد دانه، قطر هندسی، سطح، ضریب کرویت، وزن هزار دانه، زاویه استقرار، چگالی واقعی، چگالی توده، ضریب اصطکاک استاتیکی و سرعت حد دانه بود. ابتدا نمونه‌های دو رقم عدس (کیمیا و گچساران) بر اساس ابعاد به سه گروه ریز، متوسط و درشت تقسیم شدند. سرعت حد دانه ها در ٥ سطح محتوای رطوبتی (۸، ۱۲، ۱٦، ۲۰ و ۲٤w.b.٪) با استفاده از تونل باد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش محتوای رطوبت از ۸ الی ۲٤w.b.٪، طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، سطح، وزن هزار دانه و زاویه شیب طبیعی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابند؛ در حالیکه چگالی واقعی و چگالی توده با افزایش محتوای رطوبت کاهش می‌یابند. با افزایش محتوای رطوبت از ۸ تا ۲٤ w.b.٪، ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی کلیه سطوح تماس (چوب چند لایه، ورق گالوانیزه، آلومینیم، شیشه و ورقه سیاه) در هر دو رقم به‌طور خطی افزایش می‌یافت و در آزمایش‌های با دو رقم کیمیا و گچساران، ورق گالوانیزه دارای بیش‌ترین مقدار میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی بود. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که میانگین سرعت حد دانه رقم کیمیا (۷/۲۰٤ m/s) بالاتر ازمیانگین سرعت حد رقم گچساران (٦/۹۸۷ m/s) است. با تغییر محتوای رطوبت دانه از ۸ الی ۲٤ w.b.٪، میانگین سرعت حد از ٦/۷٥۱ الی ۷/۳۹٦ m/s افزایش معنی‌داری داشت. همچنین با تغییر ابعاد دانه از اندازه ریز به درشت، میانگین سرعت حد از ٦/۳٤٥ تا ۷/۷۹۲ m/s افزایش معنی‌داری داشت.

کلید واژه‌ها: دانه عدس، خواص فیزیکی، سرعت حد، ضریب اصطکاک استاتیکی، محتوای رطوبتی

مقدمه

در طراحی مناسب فرآیندها، تجهیزات و سیستم‌های تولید و فرآوری محصولات کشاورزی، شناخت خواص فیزیکی محصولات ضروری است. از جمله این خصوصیات می‌توان به خواصی از قبیل ابعاد، وزن هزار دانه، چگالی ظاهری، چگالی واقعی، درصد تخلخل، ضریب اصطکاک استاتیکی، زاویه استقرار و خواص آئرودینامیکی محصولات که در انتقال و فرآوری آنها نقش عمده‌ای دارند اشاره کرد. در مورد بررسی و تعیین خواص فیزیکی و آیرودینامیکی محصولات کشاورزی

تحقیقات فراوانی انجام شده است. امین و همکاران[1] (۲۰۰۴) اثر محتوای رطوبت بر برخی خواص فیزیکی دانه عدس را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش محتوای رطوبت، ابعاد دانه، تخلخل، جرم هزار دانه و زاویه شیب طبیعی افزایش می‌یابد در حالیکه چگالی توده و چگالی واقعی کاهش می‌یابد. توسط گورسوی و گوزل[2] (۲۰۱۰) ویژگی‌های فیزیکی دو رقم دانه عدس (Firat-87, Syran-96) و دو رقم دانه نخود(ILC-482, Diyar-95) متداول در ترکیه در محتوای رطوبتی برداشت تعیین شده است. در این تحقیق از یک تونل باد برای اندازه‌گیری سرعت حد دانه بطور عملی استفاده شد و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از روش تئوری مورد مقایسه قرار گرفت. غریب-زاهدی و همکاران[3](۲۰۱۱)، دریافتند تمامی خواص فیزیکی دانه عدس قرمز[4] بطور معنی‌دار تحت تاثیر محتوای رطوبت دانه قرار می‌گیرند. بطوریکه با افزایش محتوای رطوبت دانه عدس قرمز از ۹/۵ الی .w.b ۲۱/۱٪ ، کلیه خواص مورد بررسی شامل جرم هزار دانه، کرویت، مساحت سطح، تخلخل، سرعت حد، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک استاتیکی (سطوح تماس شامل ورق فولادی، تخته چندلا و شیشه) بجز جرم حجمی توده و جرم حجمی حقیقی، افزایش خطی با ضریب تبیین بیش‌تر از ۰/۹۵ داشته است. باتاچاریا و همکاران[5](۲۰۰۵) در بررسی تاثیر محتوای رطوبت دانه بر خواص فیزیکی دانه عدس و لپه آن مدلی را برای پیش بینی خواص فیزیکی ارائه داد و سپس دریافت که در بین خواص فیزیکی مورد بررسی (اندازه، کرویت، گردی، متوسط مساحت سطح، جرم حجمی توده و تخلخل) فقط جرم حجمی توده با افزایش محتوای رطوبت دانه (از ۷ الی .w.b ۱۹٪)کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحقیق صادقی و همکاران (۱۳۸۹) روی خواص فیزیکی دانه لوبیا چیتی در سه سطح رطوبتی ۸، ۱۲و .w.b ۱۶٪ حاکی از آن است که محتوای رطوبت دانه لوبیا چیتی تاثیر معنی داری بر خواص فیزیکی (قطر بزرگ، کوچک، متوسط، قطر متوسط هندسی، کرویت، ضریب اصطکاک استاتیکی وسرعت حد) داشته است. میانگین سرعت حد معادل ۱۳/۷۹ m/s و بیش‌ترین ضریب اصطکاک استاتیکی در آزمایش با سطح تماس ورق گالوانیزه (۰/۴۴) بدست آمد. کاگاتای سلوی و همکاران[6](۲۰۰۶) در بررسی خواص فیزیکی دانه برزک[7] در محدوده محتوای رطوبتی دانه ۸/۲۵ الی .d.b ۲۲/۲۵، به این نتیجه رسیدند که در بین خواص فیزیکی مورد مطالعه شامل ابعاد دانه، میانگین قطر هندسی، کرویت، مساحت سطح دانه، وزن هزار دانه، جرم حجمی حقیقی و جرم حجمی توده دانه، زاویه استقرار، سرعت حد و تخلخل) به این نتیجه رسید که فقط کرویت دانه تحت تاثیر معنی دار محتوای رطوبت قرار نمی‌گیرد. همچنین با افزایش محتوای رطوبت دانه، زاویه استقرار و سرعت حد بطور خطی افزایش می‌یابند.

خواص فیزیکی یک رقم بادام درختی و مغز آن توسط آیدین[8] (۲۰۰۳) به عنوان تابعی از محتوای رطوبت، خواص فیزیکی پسته و مغز آن توسط کاشانی‌نژاد و همکاران[9](۲۰۰۶)، توسط آل‌محسنه و راباباً[10] (۲۰۰۷)

---

1 - Amin *et al.*
2 - Gursoy & Guzel
3 – Gharibzahedi *et al.*
4 - Red lentil seed
5 - Bhattacharya *et al.*

6 - Cagatay Selvi *et al.*
7- Linseed
8 – Aydin
9 - Kashaninejad *et al.*
10- Al- Mahasneh & Rababah

خصوصیات فیزیکی دانه‌های گندم سبز[1] در محتوای رطوبتی ۹/۳ الی ۴۱/۵ w.b. ٪ ، توسط معصومی و همکاران[2](۲۰۰۳) خصوصیات اصطکاکی و سرعت حد دو نوع بذر سیر بر حسب رطوبت، توسط رجبی پور و همکاران[3] (۲۰۰۶) اثر محتوای رطوبتی دانه روی سرعت حد دانه سه رقم دانه گندم در محدودهٔ محتوای رطوبتی ۸ الی ۲۲٪ w.b. با استفاده از روش تعلیق دانه ، توسط گوپتا و همکاران[4] (۲۰۰۷) سرعت حد و ضریب کشش دانه سه رقم دانه آفتابگردان به عنوان تابعی از محتوای رطوبت محصول و توسط تاباک و ولف[5] (۱۹۹۸) سرعت حد و خواص آئرودینامیکی دانه پنبه با استفاده از تونل بادی با مقطع دایره‌ای شکل به قطر ۲۰ cm و پخش کننده‌ای به ارتفاع ۱۰ cm و زاویه انحراف ۳ ° مورد بررسی قرار گرفته است.

از بررسی منابع مذکور میتوان نتیجه گرفت که بررسی خواص فیزیکی محصولات کشاورزی همواره از اهمیت خاصی برخوردار است.

در این تحقیق برخی از خصوصیات فیزیکی و آئرودینامیکی دو رقم عدس (کیمیا و گچساران) در ۵ سطح محتوای رطوبتی(۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ w.b. ٪) تعیین و اثر عوامل محتوای رطوبت و رقم بر روی آنها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ارقام دانه‌های عدس از ارقام متداول کشت شده در استان کرمانشاه (کیمیا و گچساران) انتخاب و از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرارود تهیه گردید. برای تعیین رطوبت اولیه دانه‌ها، سه نمونه به جرم ۱۶gr گرم انتخاب و به مدت ۲۴ ساعت در آون آزمایشگاهی با دمای ۱۳۰° C قرار داده شده است (ASAE, 1998). مقدار رطوبت اولیه بر پایه تر به کمک رابطه (۱) به‌دست آمد:

$$M_c = \frac{M_o - M_s}{M_o} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه M_o ، وزن اولیه نمونه (gr)، M_s، وزن خشک نمونه (gr)، M_c، محتوای رطوبت نهایی نمونه برحسب درصد بر پایه تر (w.b.) می‌باشد. لازم به ذکر است که محتوای رطوبت اولیه ارقام عدس مورد استفاه قدری بیش‌تر از ۸٪ w.b. بود که با قرار دادن آنها در آون آزمایشگاهی رطوبت آنها به ۸٪ w.b. رسانده شد. به منظور تأمین سطوح رطوبتی مورد نیاز (۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴٪w.b.)، مقدار آب مقطر لازم(gr) برای اضافه کردن به نمونه ها (Q) از رابطه (۲) بدست آمد (کاگاتای سلوی و همکاران، ۲۰۰۶).

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{(100 - M_f)} \qquad (۲)$$

در این رابطه W_i، وزن اولیه نمونه با محتوای رطوبت اولیه (gr)، M_i ، محتوای رطوبت اولیه نمونه بر پایه خشک و M_f، درصد محتوای رطوبت نهایی بر پایه خشک می‌باشد. سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و دهانه آنها کاملا مسدود شد و به مدت ۴۸ ساعت در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا به سطوح رطوبتی مطلوب و یکنواخت برسند. به منظور تعیین ابعاد دانه شامل: طول (L)، عرض (W) و ضخامت (t) از کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلیمتر استفاده گردید. سپس قطر هندسی (d_g) ، ضریب کرویت (φ) و سطح دانه‌ها (S) در سطوح رطوبتی

1-Green wheat
2- Masoumi *et al.*
3- Rajabpour *et al.*
4- Gupta *et al.*
5- Tabak & Wolf

مختلف طبق روابط (۳) تا (۵) زیر محاسبه شدند (گاگاتای سلوی و همکاران، ۲۰۰۶).

$$d_g = (LWt)^{\frac{1}{3}} \quad (۳)$$

$$\varphi = \frac{(Lwt)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (۴)$$

$$S = \pi d_g^2 \quad (۵)$$

برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه نمونه‌های ۱۰۰ تایی از دو رقم مختلف عدس در ۵ سطح محتوای رطوبتی جدا شد و در ۵ تکرار، وزن آنها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت gr ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری چگالی توده، دانه‌ها از ارتفاع mm ۱۵۰ به داخل یک ظرف استوانه‌ای با حجم ml ۵۰۰ و جرم مشخص ریخته شدند. سپس چگالی توده (ρ_b) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\rho_b = \frac{m}{v} \quad (۶)$$

که در این رابطه m، جرم دانه‌ها (gr) و v، حجم ظرف (cm^3) می‌باشد. از روابط زیر به منظور محاسبه چگالی واقعی دانه‌ها با روش جابجایی مایع (تولوئن) استفاده شد (۱۵).

$$V_t = \frac{\left(M_{tp} - M_p\right) - \left(M_{pts} - M_{ps}\right)}{\rho_t} \quad (۷)$$

$$\rho_s = \frac{M_{ps} - M_p}{V_t} \quad (۸)$$

که در آنها V_t، حجم جسم جامد (cm^3)، M_{tp}، جرم تولوئن و پیکنومتر (gr)، M_p، جرم پیکنومتر (gr)، M_{tps}، جرم تولوئن، پیکنومتر و جسم (gr)، M_{ps}، جرم پیکنومتر و جسم (gr)، ρ_t، چگالی تولوئن معادل $0/87(gr/cm^3)$ و ρ_s چگالی جسم جامد (gr/cm^3) می‌باشند.

درصد تخلخل توده دانه (ε) به کمک چگالی توده و چگالی واقعی دانه‌ها با استفاده از رابطهٔ (۹) محاسبه گردید.

$$\varepsilon = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}) \times 100 \quad (۹)$$

زاویه اصطکاک استاتیکی دانه‌های عدس بر روی پنج سطح تماس شامل ورق سیاه (آهنی)، ورق گالوانیزه، ورق آلومینیم، شیشه و چوب، در پنج سطح رطوبتی(۸، ۱۲، ۱۶،۲۰ و ۲۴ w.b.٪) و در ۵ تکرار تعیین گردید. در این آزمایشات دانه‌ها در یک ظرف استوانه‌ای بدون سر و انتها با قطر mm ۵۰ و ارتفاع mm ۷۵ ریخته شدند و سپس ظرف بر روی یک صفحه با زاویه قابل تنظیم قرار گرفت (ایزلیک[1]، ۲۰۰۷).

ابتدا استوانه به اندازه ۱ الی ۲ میلیمتر بالابرده شد تا با سطح آزمایشی تماس نداشته باشد؛ سپس زاویه تمایل سطح توسط یک پیچ به همراه فلکه به تدریج افزایش داده شد تا این‌که استوانه شروع به سرخوردن کند (شکل۱).

در این حالت زاویه سطح شیب‌دار توسط زاویه‌سنج دیجیتالی با دقت ۰/۱ درجه اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری زاویه (α)، از طریق رابطه (۱۰) ضریب اصطکاک استاتیکی برای هر نمونه محاسبه شد(محسنین[2]، ۱۹۸۶).

$$\mu = \tan(\alpha) \quad (۱۰)$$

1-Islik
2- Mohsenin

شکل ۱- دستگاه اندازه گیری ضریب اصطکاک استاتیکی

برای اندازه گیری زاویهٔ استقرار، از یک استوانهٔ فاقد سر و ته به قطر $15\ cm$ و ارتفاع $50\ cm$ استفاده شد که در مرکز یک ظرف فلزی دایره‌ای شکل به قطر $70\ cm$ قرار می‌گرفت (۹). در ابتدا، استوانه از دانه های عدس کاملا" پر گردید و استوانه به آرامی به طرف بالا کشیده شد تا یک کپه مخروطی شکل از دانه‌ها روی سطح صفحه دایره‌ای ایجاد شود. آزمایش‌ها در پنج سطح رطوبتی (۸، ۱۲، ۱۶،۲۰ و ۲۴ w.b.٪) با ۵ تکرار انجام شد. در این حالت قطر و ارتفاع مخروط ایجاد شده توسط یک گونیا و کولیس اندازه‌گیری شد و زا ویه θ (زاویه استقرار) با استفاده از رابطه زیر استخراج گردید.

$$\theta = \arctan\left(\frac{2H}{D}\right) \qquad (11)$$

H در این رابطه، ارتفاع مخروط (mm) و D، قطر مخروط (mm) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری سرعت حد و بررسی تأثیر ابعاد دانه بر روی آن، برای هر دو رقم تعداد ۱۰۰۰ دانه به‌طور تصادفی انتخاب و سپس خصوصیات فیزیکی دانه شامل طول، عرض و ضخامت آنها اندازه‌گیری شد. به علت اختلاف زیاد در میانگین قطر بزرگ دانه‌ها، قطر بزرگ دانه ها معیاری برای گروه بندی قرار گرفت. در نهایت سه گروه ابعادی ریز، متوسط و درشت مطابق جدول ۱ بطور دقیق تفکیک شدند. برای اندازه‌گیری سرعت حد دانه‌ها، تونل بادی عمودی که بر اساس معیارهای استاندارد با مقطع مربعی به ابعاد $10\ cm \times 10\ cm$ و طول $70\ cm$ ساخته شده بود، استفاده شد(شکل ۲). این دستگاه شامل ناحیه خطی ساز (به منظور جلوگیری از آشفتگی جریان) متشکل از ۵ لایه توری (۲ لایه با مش ۱۰ و سه لایه با مش ۱۵)، یک شبکه لانه زنبوری (سلول-های به قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۷/۲ سانتی‌متر) و نازلی به طول ۲۲/۵ سانتی‌متر (طراحی شده به روش مورل[1]) بود. این نازل سرعت کم هوا را به سرعت مورد نیاز در مقطع آزمایش تبدیل می‌کرد. علاوه براین، نازل غیر یک‌نواختی سرعت جریان هوا را به دلیل کاهش تدریجی مقطع، کاهش می‌داد (مورل، ۱۹۷۵). برای تأمین جریان هوای مورد نیاز تونل باد از دمنده سمپاش پشتی موتوری اتومایزر مدل ۴۲۳ طرح سولوی آلمان استفاده شد. برای تغییر سرعت جریان هوا یا دور موتور از گاز دستی سمپاش استفاده شد. با قرارگیری توده دانه (۵ الی ۱۰ دانه در ازای هر آزمایش) در مسیر جریان هوا روی توری و تغییر سرعت جریان هوا بطور تدریجی از طریق گازدستیی موتور سپاش، دانه‌ها در مقطع آزمایش

1 - Morel

معلق می‌شدند. با اندازه‌گیری سرعت هوا توسط سرعت سنج دیجیتالی سیم داغ (مدل testo 405-V)در لحظه تعلیق دانه، سرعت حد دانه عدس ثبت می‌شد. برای هر دو رقم کیمیا و گچساران، آزمایش‌ها در ۵ سطح محتوای رطوبتی دانه(۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴w.b.٪) برای سه گروه ابعادی مورد نظر در ۵ تکرار انجام شد. برای انجام هر آزمایش چهار قرائت سرعت در چهار نقطه مختلف در مقطع آزمایش صورت گرفته و میانگین آنها به عنوان سرعت نهایی مربوط به هر آزمایش ثبت - گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا" تصادفی و برای مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل عوامل مستقل از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

جدول ۱- دامنه اندازه دسته‌های انتخابی عدس

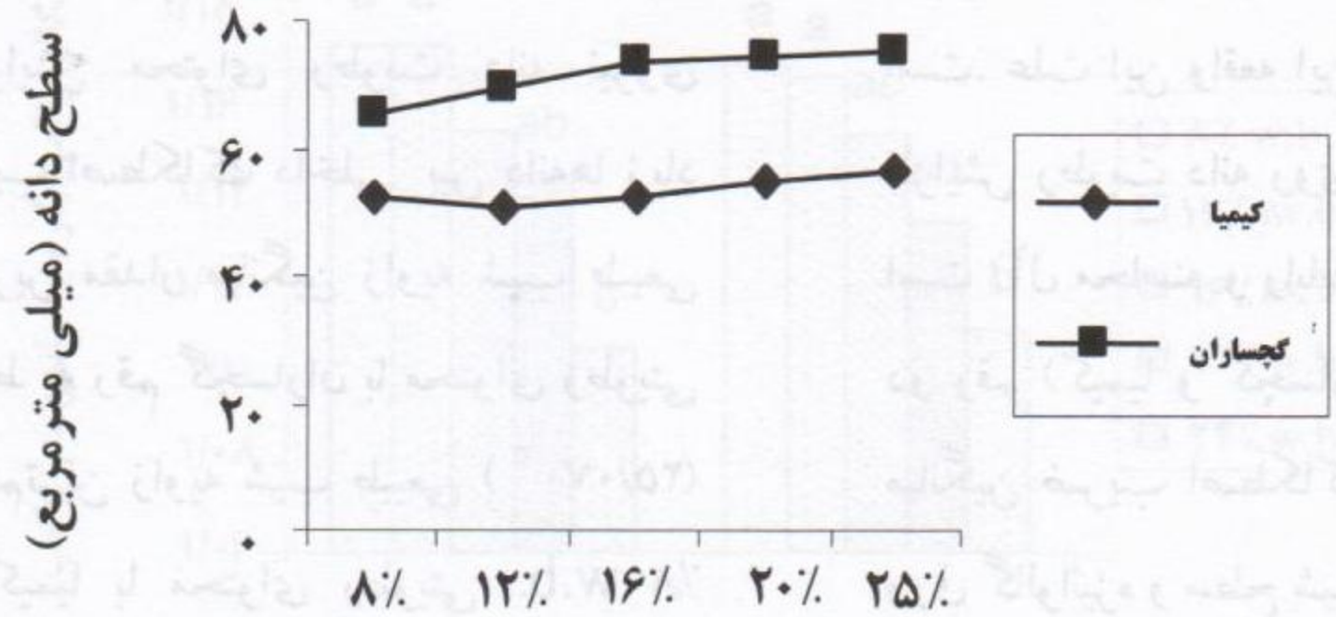
رقم	دامنه اندازه دانه (میلی متر)		
	دسته ریز	دسته متوسط	دسته درشت
کیمیا	۴-۴/۵	۴/۷-۵/۱	۵/۳-۵/۷
گچساران	۵/۱-۵/۷	۵/۹ -۶/۵	۶/۷-۷/۳

شکل ۲- وسیله ساخته شده برای اندازه‌گیری سرعت حد دانه

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری برخی خواص فیزیکی دانه‌های عدس (جدول ۲) نشان داد که اثرات رطوبت و رقم بر طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، تخلخل، وزن هزار دانه چگالی توده، چگالی واقعی (حقیقی) و سطح دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد؛ ولی اثرات رقم بر زاویه استقرار و اثر رطوبت دانه بر کرویت معنی دار نمی‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ تا .w.b ۲۴٪، میانگین طول، عرض و ضخامت به ترتیب از ۵/۵۷۶ تا ۶/۳۱۹ mm ، ۵/۳۹۱ تا ۶/۱۳۴ mm و ۲/۵۶۵ تا ۲/۹۶۲ mm به طور معنی‌داری افزایش یافت. دلیل افزایش ابعاد با افزایش محتوای رطوبت دانه، جذب آب به‌وسیله دانه‌ها و در نتیجه انبساط دانه می‌باشد. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده توسط امین و همکاران (۲۰۰۴) برای دانه عدس، کاملا مطابقت دارد. بیش‌ترین مقدار میانگین طول(۷/۰۹۲ mm) و عرض(۶/۸۷۳mm) مربوط به رقم گچساران، بیش‌ترین مقدار میانگین ضخامت برای رقم کیمیا (۳/۰۶۲ mm) در سطح رطوبتی ۲۴٪ به‌دست آمد. با افزایش محتوای رطوبت، ضریب کرویت تغییر معنی‌داری پیدا نکرد. علت آن ممکن است افزایش تمام ابعاد دانه در اثر افزایش محتوای رطوبت دانه باشد. این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط امین و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. با افزایش محتوای رطوبت دانه عدس از ۸ تا .w.b ۲۴٪ قطر هندسی و سطح دانه به ترتیب از ۴/۲۲ تا mm ۴/۸۲۹ و ۵۷/۰۰۹ تا mm^2 ۷۳/۸۶۴ و درصد تخلخل از ۳۰/۳۰۱٪ تا ۳۳/۵۴۵٪ به طور معنی‌داری افزایش یافت. اشکال ۳ و ۴ تاثیر محتوای رطوبت دانه را برمیانگین قطر هندسی دانه و سطح دانه در آزمایش با دو رقم کیمیا و گچساران نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار میانگین تخلخل (۳۳/۸۴۳٪) مربوط به رقم گچساران با محتوای رطوبتی .w.b ۲۴٪ و کم‌ترین مقدار میانگین تخلخل (۲۹/۸۸۷٪) مربوط به رقم کیمیا با محتوای رطوبتی .w.b ۸٪ حاصل شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (شکل ۵) که با افزایش محتوای رطوبت دانه، وزن هزار دانه در دو رقم کیمیا و گچساران افزایش یافت و علت آن جذب آب توسط دانه‌های عدس می‌باشد. همچنین با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ تا .w.b ۲۴٪، میانگین وزن هزار دانه از ۵۱/۱۳۱ تا gr ۶۱/۳۱۹ به طور معنی‌داری افزایش یافت. در هر دو رقم کیمیا و گچساران با افزایش محتوای محتوای رطوبت دانه چگالی توده و چگالی واقعی کاهش یافت (شکل ۶). علت آن این بوده است که تاثیر انبساط دانه بیش‌تر از افزایش وزن دانه بوده است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ تا .w.b ۲۵٪ چگالی توده و چگالی واقعی به ترتیب از ۰/۸۱۷ تا (gr/cm^3 ۰/۷۴۰ و ۱/۱۷۱ تا (gr/cm^3 ۱/۱۱۳ به طور معنی‌داری کاهش یافتند.

شکل۳- تأثیر محتوای رطوبت بر قطر هندسی دانه



شکل٤- تأثیر محتوای رطوبت بر سطح دانه عدس

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به برخی خواص فیزیکی دانه دو رقم عدس (کیمیا و گچساران)

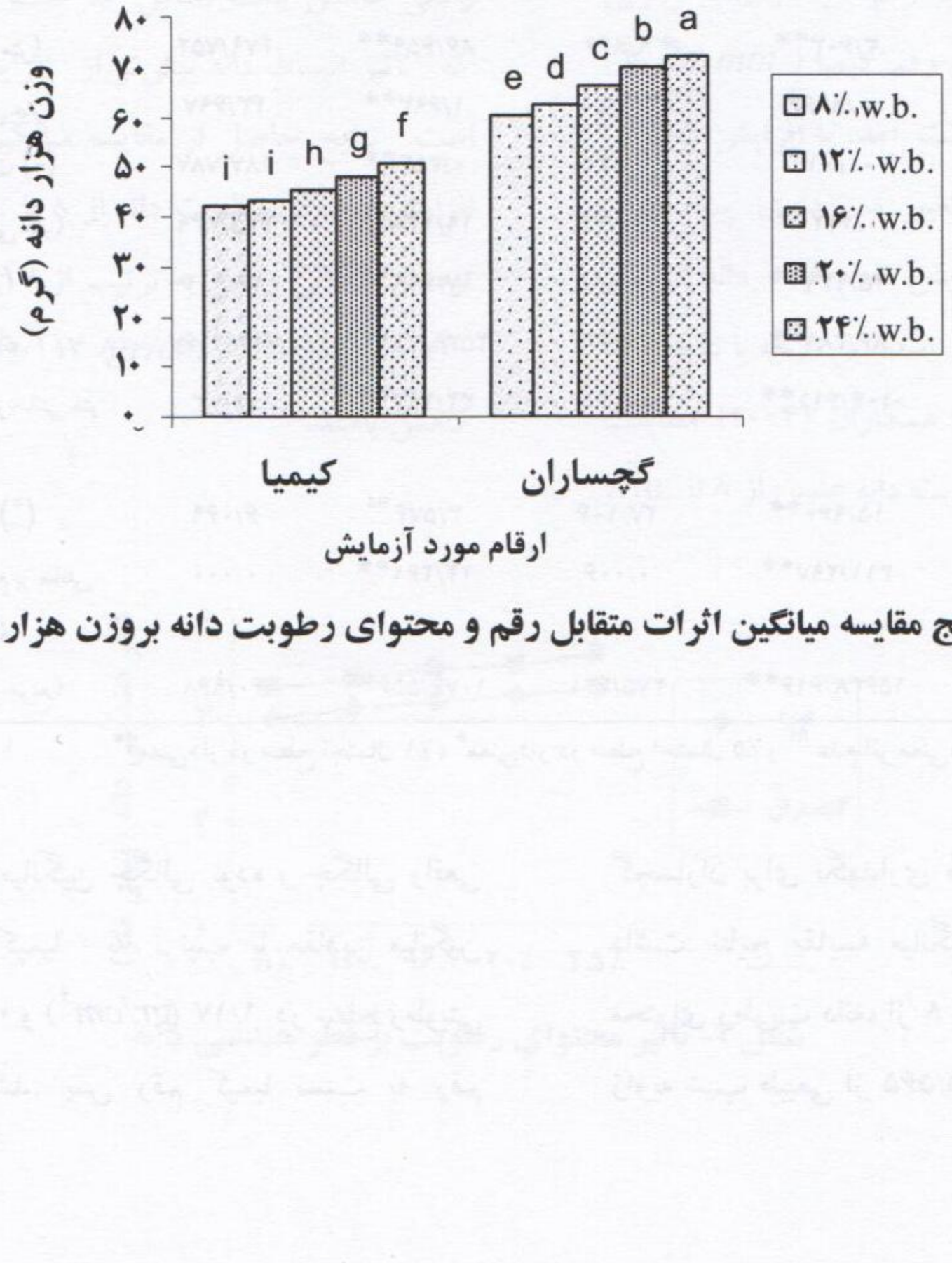
عوامل وابسته	منابع تغییرات: رقم		رطوبت		رطوبت × رقم	
	میانگین مربعات (MS)	مقدار F	میانگین مربعات (MS)	مقدار F	میانگین مربعات (MS)	مقدار F
طول(میلی متر)	۶۳۱/۴۴۳	۶۸/۶۷۸**	۲۰/۱۷۹	۳/۴۷۳**	۰/۲۹۸	۰/۵۰۱ ns
عرض (میلی متر)	۴۷۹/۷۵۲	۸۶/۶۵۹**	۹/۹۴۶	۳/۶۰۳**	۰/۵۷۲	۰/۱۰۳ ns
ضخامت (میلی متر)	۴۳/۶۹۷	۱/۶۹۳**	۲۲/۳۵۰	۰/۸۶۶*	۱/۵۴۵	۰/۰۳۹ ns
ضریب کرویت (-)	۴۸۷/۷۸۷	۰/۳۵۴**	۰/۵۴۲	۰/۰۰۱ ns	۱/۲۳۲	۰/۰۰۱ ns
قطرهندسی(میلی متر)	۳۳۵/۳۳۹	۱۹/۲۳۶**	۳۸/۷۳۳	۰/۲۲۲**	۰/۵۳۴	۰/۰۳۱ ns
تخلخل (٪)	۱۲/۶۱۲	۱۷/۶۹۹**	۱۷/۹۸۵	۲۵/۲۳۹**	۱/۴۵۲	۲/۰۳۸ ns
وزن هزاردانه	۷۲۲۹/۱۶۷	۲۵۳۱/۷۱۹**	۱۷۶/۶۴۰	۸۶/۴۸۹**	۴/۸۸۰	۲/۳۶۳ ns
چگالی توده(گرم بر سانتی متر مکعب)	۰/۰۰۳	۳۲/۲۹۲**	۰/۰۱۰	۱۰۶/۴۱۱**	۰/۰۰۰	۱/۸۳۷ ns
زاویه استقرار(°)	۶/۰۶۹	۳/۵۷۴ ns	۲۷/۱۰۶	۱۵/۹۶۰**	۰/۳۵۱	۲/۲۰۷ ns
چگالی واقعی(گرم بر سانتی متر مکعب)	۰/۰۰۰	۲۲/۲۶۱**	۰/۰۰۶	۳۱۱/۲۹۷**	۰/۰۰۰	۱/۲۹۲ ns
سطح (میلی متر مربع)	۴۰/۹۶۸	۱۰۷۶/۵۵۶**	۳۷۵/۴۲۱	۱۵۶۳۸/۶۱۶**	۰/۸۹۰	۳۷/۰۷۱ ns

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، *معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ns عدم اثر معنی‌دار

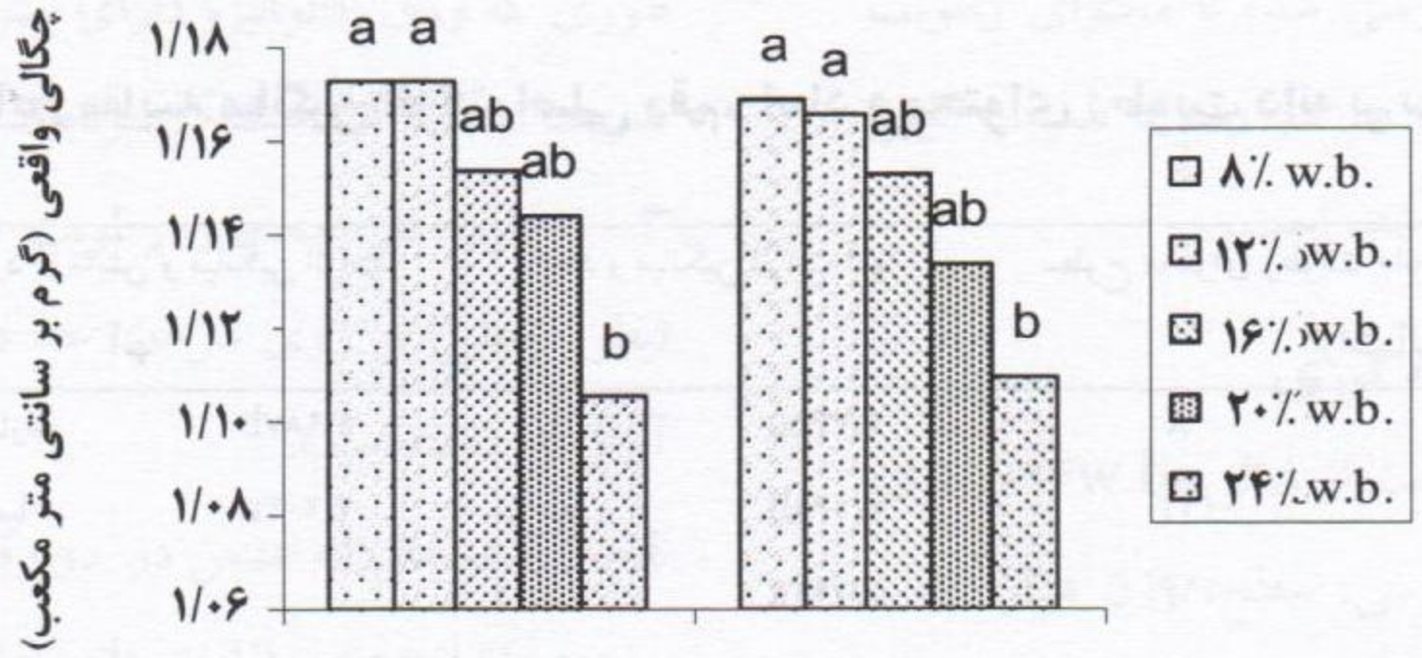
بیش‌ترین مقدار میانگین چگالی توده و چگالی واقعی مربوط به رقم کیمیا به ترتیب با مقادیر میانگین ۰/۸۲۳ (gr/cm^3) و ۱/۱۷ (gr/cm^3) در سطح رطوبتی ۸٪ w.b. می‌باشد. پس رقم کیمیا نسبت به رقم گچساران برای نگهداری فضای کم‌تری را نیز خواهد داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش محتوای رطوبت دانه، از ۸ تا ۲۴٪ w.b.، مقدار میانگین زاویه شیب طبیعی از ۲۵/۵۶۵ تا °۲۹/۹۶۹ به طور معنی

داری افزایش یافته است. علت این واقعه ممکن است این باشد که با افزایش محتوای رطوبت دانه نیروی چسبندگی و ضریب اصطکاک داخلی بین دانه‌ها زیاد شده باشد. بیش‌ترین مقدار میانگین زاویه شیب طبیعی (°۳۰/۰۷۰) مربوط به رقم گچساران با محتوای رطوبتی ۲۴٪ w.b. و کم‌ترین زاویه شیب طبیعی (°۲۵/۰۷۰) مربوط به رقم کیمیا با محتوای رطوبتی ۸٪ w.b. می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی (جدول ۳) نشان داد که اثرات عوامل اصلی رطوبت، رقم و سطح تماس و نیز اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبت دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در آزمایش‌ها با کلیه سطوح تماس با افزایش محتوای رطوبت از ۸ تا ۲۴٪ w.b. ضریب اصطکاک استاتیکی به طور معنی‌داری افزایش یافته است. علت این واقعه این است که نیروی چسبندگی با افزایش رطوبت دانه روی سطوح تماس با افزایش یافته است (آل محاسنه و راباباه، ۲۰۰۷؛ محسنین، ۱۹۸۶). در دو رقم (کیمیا و گچساران) بیشترین و کم‌ترین مقدار میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی به ترتیب بر روی ورق گالوانیزه و سطح شیشه به‌دست آمده است. کم‌ترین (۰/۲۷۰) و بیشترین (۰/۳۶۵) مقدار میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی به ترتیب مربوط به رقم گچساران با محتوای رطوبتی ۸٪ و رقم کیمیا با محتوای رطوبتی ۲۴٪ می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری سرعت حد دانه‌های عدس (جدول ۴) نشان داد که اثرات اصلی رقم، ابعاد دانه، رطوبت و اثرات متقابل مربوطه (بجز اثرات متقابل ابعاد دانه و رطوبت) بر سرعت حد دانه معنی دار می‌باشد.



شکل ۵ – نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبت دانه بروزن هزار دانه



شکل ٦- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و رطوبت بر چگالی واقعی

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی رقم، ابعاد و محتوای رطوبت دانه (جدول ۵) نشان داد که مقدار میانگین سرعت حد در دو رقم مورد آزمایش دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. به طوری‌که بیشترین مقدار میانگین سرعت حد (m/s ۷/۲۰۴) به رقم کیمیا و کم‌ترین مقدار میانگین سرعت حد (m/s ۶/۹۸۷) به رقم گچساران اختصاص دارد. علت این تفاوت ، وجود اختلاف در جرم حجمی یا چگالی واقعی دانه در دو رقم باشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ضریب اصطکاک استاتیکی

منابع تغییرات	درجه آزادی(df)	میانگین مربعات(MS)	مقدار F
رقم(V)	۱	۰/۰۱۳	۱۴۰/۰۹۷**
رطوبت(M)	۴	۰/۰۶۲	۳۵/۹۲۶**
اثرات متقابل (V×M)	۴	۰/۰۰۲	۸/۵۲۴**
سطح تماس(S)	۴	۰/۱۴۶	۱۴۸۶/۹۸۶**
اثرات متقابل(V×S)	۴	۰/۰۰۱	۳/۴۲۷ ns
اثرات متقابل(M×S)	۱۶	۰/۰۰۲	۴۹/۷۲۶**
اثرات متقابل (V×M×S)	۱۶	۰/۰۰۱	۲/۳۳۴ ns
خطا	۲۰۰	۰/۰۰۱	

ns اثرات غیر معنی‌دار و ** اثرات معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ٤ – نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سرعت حد دانه دو رقم عدس مورد آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی(DF)	میانگین مربعات(MS)	مقدار F
رقم (V)	۱	۱/۷۶۷	۴۷/۵۴۴**
ابعاد(D)	۲	۲۶/۲۸۰	۷۰۷/۱۲۳**
رطوبت(M)	۴	۰/۲۶۸	۵۱/۰۸۶**
اثرات متقابل (V×D)	۲	۱/۸۹۹	۷/۲۰۵**
اثرات متقابل(V×M)	۴	۰/۰۰۹	**۲/۲۵۳
اثرات متقابل(D×M)	۸	۰/۰۴۶	۱/۲۲۸ ns
اثرات متقابل (V×D×M)	۸	۰/۰۹۴	۲/۵۳۱*
خطا	۱۲۰	۰/۰۳۷	

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۵ – نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی رقم، ابعاد و محتوای رطوبت دانه بر سرعت حد (متر بر *ثانیه*)

ارقام مورد آزمایش و میانگین اثرات آنها		ابعاد و میانگین اثرات آنها		سطوح محتوای رطوبت دانه (w.b.٪) و میانگین اثرات آنها	
گچساران	۶/۹۸۷b	ریز	۶/۳۴۵c	۸	۶/۷۵۱e
کیمیا	۷/۲۰۴a	متوسط	۷/۱۴۹b	۱۲	۶/۹۵۶d
		درشت	۷/۷۹۲a	۱۶	۷/۱۲۵c
				۲۰	۷/۲۵۰b
				۲۴	۷/۳۹۶a

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میانگین اثرات (سطح احتمال ۵٪) می‌باشد.

با افزایش ابعاد دانه از اندازه ریز به درشت میانگین سرعت حد از ۶/۳۴۵ تا ۷/۷۹۲*m/s* به طور معنی‌داری افزایش داشته است که این یافته با نتایج معصومی و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. همچنین با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ تا .w.b ۲۴٪ میانگین سرعت حد از ۶/۷۵۱ تا ۷/۳۹۶ *m/s* به طور متوالی افزایش معنی‌داری داشته است. محققان دیگر نیز به مقادیر نزدیک مقادیر مذکور دست یافته اند، به طوری که در محدوده محتوای رطوبتی ۱۱/۳۶ تا ۲۵/۰۸٪ سرعت حد دانه‌های نوعی عدس توسط ایزلیک (۲۰۰۷)، ۵/۹ تا ۷/۱ *m/s* و در محدوده رطوبتی ۷/۶ الی ۱۹٪ سرعت حد دانه عدس رقم دیگر توسط گانر[1] (۲۰۰۶)، ۶/۹۹ تا ۷/۷۲*m/s* گزارش شده است. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و ابعاد دانه بر سرعت حد دانه (شکل ۷) نشان داد که در آزمایش‌های با رقم گچساران با تغییر ابعاد دانه از اندازه ریز به درشت سرعت حد دانه از ۶/۲۶۷ تا ۷/۶ *m/s* و در آزمایشات با رقم کیمیا از ۶/۴۲۴ تا ۷/۹۸۴*m/s* افزایش معنی‌داری داشته است.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبتی دانه بر سرعت حد دانه (شکل ۸) نشان داد که در هر دو رقم مورد آزمایش با افزایش محتوای رطوبت دانه از ۸ الی .w.b ۲۴٪ افزایش معنی‌داری در سرعت حد دانه بوجود آمده است. در آزمایش‌های با رقم گچساران با تغییر محتوای رطوبتی دانه از ۸ الی .w.b ۲۴٪، سرعت حد دانه از ۶/۶۳۹ تا ۷/۲۷۱ *m/s* و در آزمایش‌های با رقم کیمیا از ۶/۸۶۴ تا ۷/۵۲۲ *m/s* تغییر معنی‌داری داشته است.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که به طور کلی رقم کیمیا از بیشترین (۷/۲۰۴ m/s)و رقم گچساران از کم‌ترین (۶/۹۸۷ m/s) مقدار میانگین سرعت حد دانه برخوردارند. با تغییر محتوای رطوبت دانه از ۸ الی .w.b ۲۴٪، میانگین سرعت حد از ۶/۷۵۱ الی ۷/۳۹۶ m/s افزایش معنی‌داری داشت. همچنین با تغییر ابعاد دانه از اندازه ریز به درشت، میانگین سرعت حد از ۶/۳۴۵ الی ۷/۷۹۲ m/s افزایش معنی داری داشت. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه رقم، محتوای رطوبت دانه و ابعاد دانه نشان داد که بیش‌ترین مقدار میانگین سرعت حد (۷/۴۶۴ m/s) در آزمایش با رقم کیمیا، اندازه دانه درشت و محتوای رطوبتی .w.b ۲۴٪ و کم‌ترین مقدار میانگین سرعت حد (۶/۶۹۴ m/s) در آزمایش با رقم گچساران، اندازه دانه ایز و محتوای رطوبتب دانه .w.b۸٪ حاصل شده است.

1 - Guner

ارتباط عوامل فیزیکی بررسی شده با محتوای رطوبت دانه به طور جداگانه برای هر دو رقم با ضریب تبیین نسبتا" بالا در جدول۶ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

۱- با افزایش محتوای رطوبت از ۸ الی .۲۴w.b٪، طول، عرض، ضخامت، قطر هندسی، سطح، وزن هزار دانه و زاویه شیب طبیعی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابند؛ در حالی که چگالی واقعی و چگالی توده با افزایش محتوای رطوبت کاهش می‌یابند.

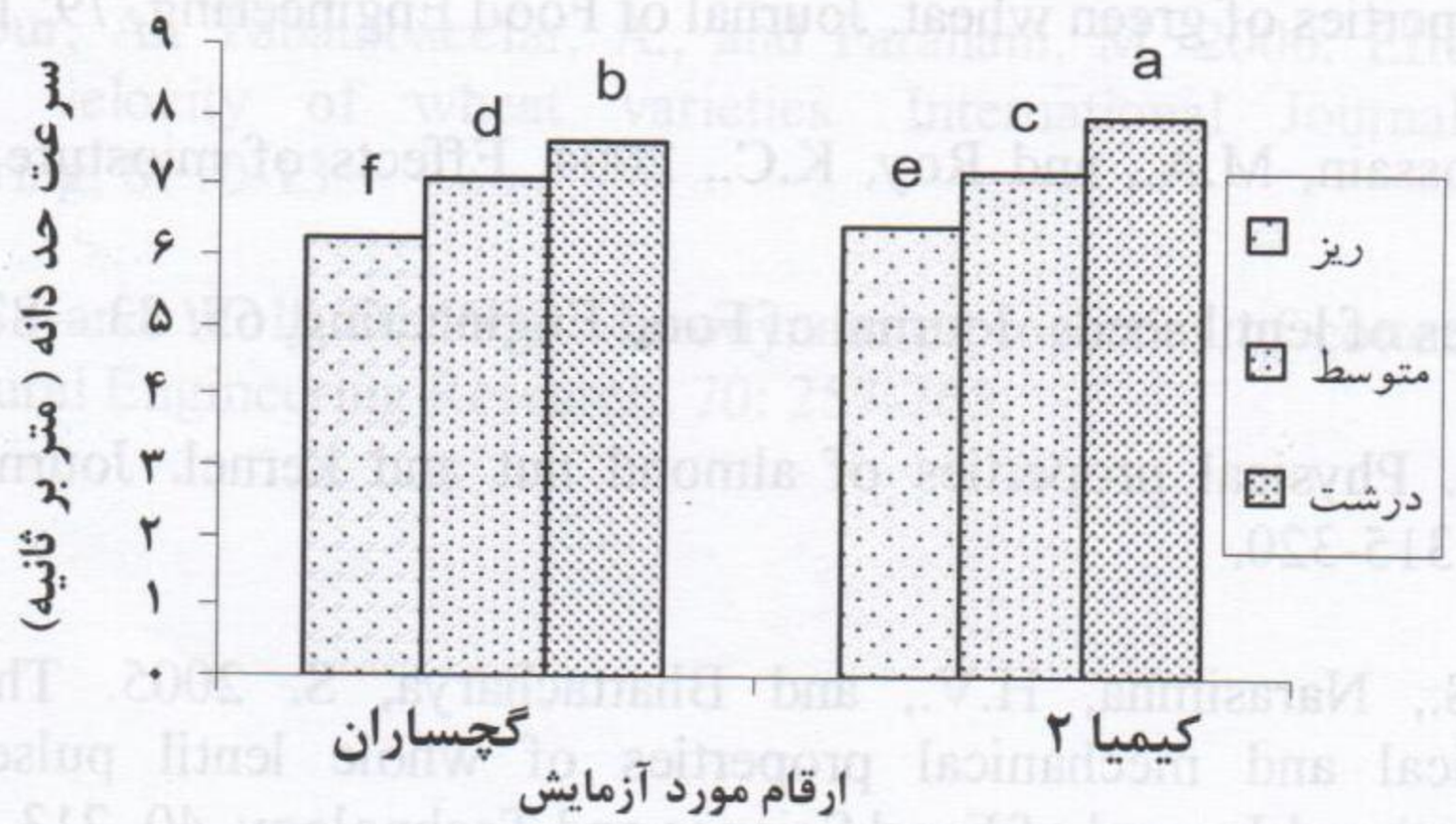
۲- همچنین با افزایش محتوای رطوبت از ۸ تا .w.b ۲۴٪، ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی کلیه سطوح تماس (چوب چند لایه، ورق گالوانیزه، آلومینیم، شیشه و ورقه سیاه) در هر دو رقم به طور خطی افزایش می‌یابد به طوری که ورق گالوانیزه دارای بیش‌ترین مقدار میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی بوده است.

۳- به طور کلی محتوای رطوبت دانه اثر قابل توجهی (بطور خطی) بر روی سرعت حد دانه در دو رقم مورد آزمایش داشته است.

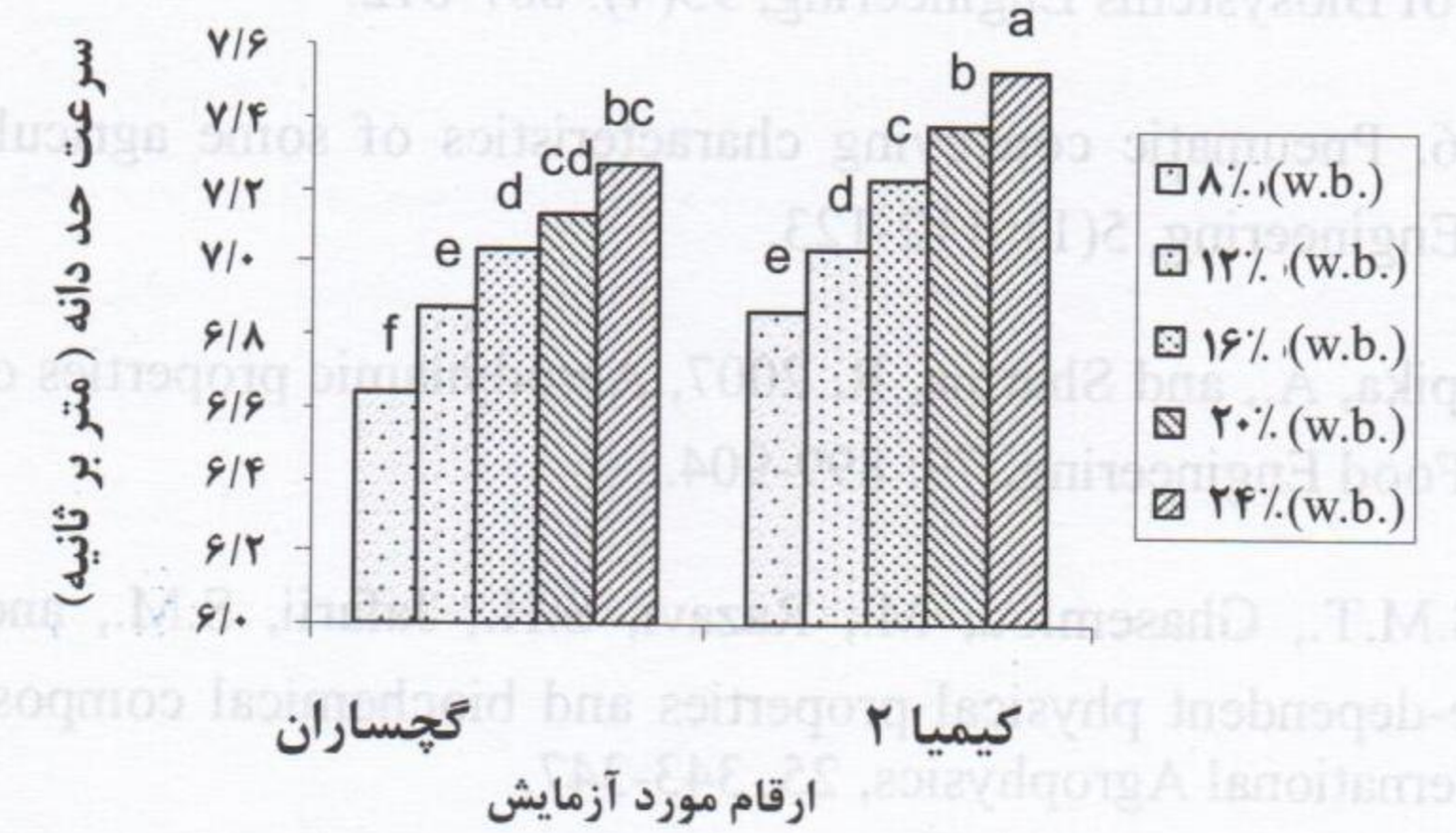
٤- سرعت حد دانه عدس در دو رقم گچساران و کیمیا، و نیز در اندازه های متفاوت دانه، تفاوت قابل ملاحظه ای داشته است.

۵- رقم کیمیا و گچساران به ترتیب از بیش‌ترین و کم-ترین مقدار سرعت حد دانه برخوردار بوده اند.

٦- پس در تجهیزات به کار رفته برای تمیز کردن و یا انتقال دانه (دو رقم مورد مطالعه)، باید امکان تغییر سرعت جریان هوا وجود داشته باشد



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و ابعاد دانه عدس بر میانگین سرعت حد



شکل۸- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و محتوای رطوبت دانه عدس بر میانگین سرعت حد

جدول ٦- معادلات رگرسیونی و ضرایب تبیین برخی خواص فیزیکی دانه عدس

عوامل	کیمیا		گچساران	
	روابط خطی	ضریب تبیین (R^2)	روابط خطی	ضریب تبیین (R^2)
قطرهندسی(mm)	d_g=۳/۲۵۷M+۳/۶۹۹	۰/۹۷۹	d_g=۳/۷۷۸M+ ۴/۲۳۴	۰/۹۷۸
سطح (mm^2)	S=۸۶/۸۹۵M+۴۲/۳۳۸	۰/۹۸۸	S=۱۰۵/۳۵M+۵۶/۳۸۵	۰/۹۸۹
وزن هزاردانه(gr)	W_{1000}=۵۳/۷۰۹M+۳۷/۱۲۵	۰/۹۸۷	W_{1000}=۷۲/۶۷۴M+۵۴/۶	۰/۹۸۷
چگالی واقعی(gr/cm^3)	ρ_t=-۰/۳۴۴M+۱/۲۰۸	۰/۹۳۱	ρ_t=۰/۳۶M+۱/۲۱	۰/۹۴۸
چگالی توده (gr/cm^3)	ρ_b=-۰/۴۵۵M+۰/۸۶۳	۰/۹۸۳	ρ_b=۰/۴۸۴M+۰/۸۵۲۴	۰/۹۶۵
زاویه شیب طبیعی(°)	θ =۲۴/۷۹۷M+۲۳/۷۷۷	۰/۸۸۹	θ =۲۲/۰۸۸M+۲۴/۹۱	۰/۸۸۶
سرعت حد (m/s)	V= ۴/۱۲۵ M +۶/۵۴۴	۰/۹۹۸	V= ۳/۳۸M+ ۳/۷۹۸	۰/۹۷۷

منابع

۱- صادقی، م.، عباسی، م. و معصومی، ا. ۱۳۸۹. اثر رطوبت بر خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دانه لوبیای چیتی. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۱(۲): ۱۵۲-۱۴۵.

2- Al-Mahasneh, M.A., and Rababah, T.M. 2007. Effect of moisture content on some engineering properties of green wheat. Journal of Food Engineering, 79: 1467-1473.

3-. Amin, M.N., Hossain, M.A., and Roy, K.C., 2004. Effects of miosture content on some
physical properties of lentil seeds. Journal of Food Engineering, 65: 83 – 87.

4- Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. Journal of Food Engineering, 60, 315-320.

5- Bhattacharya, S., Narasimha, H.V., and Bhattacharya, S. 2005. The moisture dependent physical and mechanical properties of whole lentil pulse and split cotyledon. International Journal of Food Science and Technology, 40, 213-221.

6- Çağatay Selvi, K., Pinar, Y., and Yesiloğlu, E., 2006. Some physical properties of Linseed. Journal of Biosystems Engineering, 95(4): 607-612.

7- Guner, M., 2006. Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds, Journal of Food Engineering, 5(1): 112-123.

8- Gupta, R.K., Gopika, A., and Sharma, R. 2007, Aerodynamic properties of sunflower seed, Journal of Food Engineering, 79: 899-904.

9- Gharibzahedi, S.M.T., Ghasemlou, M., Razavi, S.H., Jafarii, S.M., and Faraji, K. 2011. Moisture-dependent physical properties and biochemical composition of red lentil seeds. International Agrophysics, 25, 343-347.

10- Gursoy, S., and Guzel, E. 2010. Determination of physical properties of some agricultural grains. Research Journal of Applied Science, Engineering and Technology, 2(5):495-498.

11- Islik, E. 2007. Moisture dependent physical and Mechanical properties of green laird lentil grain, Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(3): 474-480.

12- Kashaninejad, M. Mortazavi, A. Safekordi, A., and Tabil, L.G. 2006. Some physical properties of pistachio (*pistacia vera* L.) nut and its kernel. Journal of Food Engineering 72: 1405-1409.

13- Masoumi, A.A., Rajabipour, A., Tabil, L., and Akram, A.A. 2003. Terminal velocity and frictional properties of garlic (*Allium sativam* L.). The Canadian Society for Engineering in Agricultural, Food and Biological Systems, 03-330.

14- Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials, 2nd edition, Gordon and Breach Science Publishers.

15- Morel, T., 1975. Comprehensive design of asymmetric wind tunnel contractions. Journal of Fluid Engineering, 97: 225-233.

16- Rajabipour, A., Tabatabaeefar, A., and Farahani, M. 2006. Effect of moisture on terminal velocity of wheat varieties. International Journal of Agricultural Engineering, 8: 10-13

17- Tabak, S., and Wolf, D. 1998. Aerodynamic properties of cotton seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 70: 257-265.

Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 35(1), Summer, 2012

Determination of Physical and Aerodynamic Properties of Two Varieties of lentil Seed

E. Askari Asli Ardeh[1*], Z. Basati[2] and A. Mohseni Manesh[3]

1. ***Corresponding Author**: Assistant Professor of Mohaghegh Ardebili University, Ardebil, Iran (ezzataskari@yahoo.co.uk)
2. M. Sc. Student of Mohaghegh Ardebili University, Ardebil, Iran
3. Academic Staff of Agricultural Engineering Research Institute

Received: 17 December 2011 Accepted: 19 September 2012

Abstract

Physical properties of agricultural products, especially aerodynamic properties of grains, are used in designs of processing, planting and harvesting machines. In this study, some physical and aerodynamic properties for two varieties of lentil seeds (*Kimya* and *Gachsaran*) were evaluated as a function of grain moisture content in the range of 8-25% (w.b.). These properties included length, width, thickness, geometric mean diameter, surface area, sphericity, thousand seed mass, angle of repose, the bulk density, true density, static coefficient of friction and terminal velocity. At first, grains of two lentil varieties based on their dimensions were divided into three categories including small, medium and large grains. Grains terminal velocity were determined in five moisture content levels (8, 12, 16, 20, 24% w.b.) by using a wind tunnel. Results showed that by increasing the grain moisture content from 8 to 24% (w.b.), the mean values of grain length, width, thickness, geometric mean diameter, surface area, thousand seed mass and angle of repose increased significantly. While the bulk and true densities were decreased significantly. The static coefficient of friction linearly increased by increaing the grain moisture content from 8 to 24% (w.b.) for all contact surfaces (plywood, galvanized sheet, and glass, aluminum and black sheet). At tests with each two varieties, maximum mean of grain static friction coefficient was obtained for contact surface of galvanized sheet. Also, the results showed that *Kimya* and *Gachsaran* varieties have the highest (7.204 m/s) and lowest (6.987 m/s) mean value of terminal velocity, respectively. By increasing the grain moisture content from 8 to %25 (w.b.), the mean value of grain terminal velocity significantly increased from 6.751 to 7.396 ms^{-1}. Also, by increasing the grain size from small to large, the mean value of grain terminal velocity significantly increased from 6.345 to 7.792 m/s.

Keyword: *Lentil seed, Physical properties, Terminal velocity, Static coefficient of friction, Moisture content*