

اثر رطوبت بر خواص فیزیکی و آئرودینامیکی دانه لوبیای چیتی

مرتضی صادقی^{۱*}، مهدی عباسی^۲ و امین اله معصومی^۳^۱ استادیار، ^۲ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و ^۳ استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۲/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۸/۲۵)

چکیده

طراحی مکانیزم‌های برداشت و پس از برداشت محصولات کشاورزی مستلزم دانستن خواص فیزیکی و آئرودینامیکی محصول است. در این تحقیق خواص فیزیکی و آئرودینامیکی لوبیای چیتی بومی استان فارس شامل مشخصه‌های ابعادی و شکل (قطرهای بزرگ، متوسط، کوچک، قطر متوسط هندسی و درجه کرویت)، ضریب اصطکاک استاتیکی، سرعت حد، ضریب بادبردگی و عدد رینولدز جریان هوا در شناورسازی دانه لوبیا در سه سطح رطوبتی ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد بر مبنای تر تعیین گردید. ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی ۴ سطح شیشه، چوب، ورق گالوانیزه و پلکسی‌گلاس با استفاده از روش سطح شیب‌دار اندازه‌گیری شد. خواص آئرودینامیکی به روش شناورسازی برای ۳ گروه اندازه تعیین شدند. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی انجام شدند. بر اساس نتایج تجزیه آماری، مقادیر خواص فیزیکی و آئرودینامیکی اندازه‌گیری و محاسبه شده به طور معنی‌داری تحت تأثیر محتوای رطوبتی قرار داشتند ($P < 0.01$)، به طوری که کمترین مقادیر خواص آئرودینامیکی مربوط به رطوبت ۸ درصد بر پایه تر بودند. لیکن گروه‌های ابعادی مختلف اختلاف معنی‌داری از نظر خواص آئرودینامیکی نشان ندادند. جنس سطح اثر معنی‌داری بر ضریب اصطکاک استاتیکی داشت و بیشترین مقدار این فراسنجه (۰/۴۴) مربوط به ورق گالوانیزه به دست آمد. ضریب اصطکاک استاتیکی بر روی تمامی سطوح طبق یک رابطه خطی برازش شده با ضریب تعیین بالا (۰/۸۳ تا ۰/۹۳) با رطوبت افزایش یافت. میانگین سرعت حد، ضریب بادبردگی و عدد رینولدز جریان به ترتیب برابر با ۱۳/۷۹ متر بر ثانیه، ۰/۷۴ و ۸۴۳۸/۸۸ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پس از برداشت، خواص فیزیکی و آئرودینامیکی، لوبیای چیتی، محتوای رطوبتی

مقدمه

خواص فیزیکی محصولات کشاورزی از قبیل اندازه، شکل، حجم، چگالی، تخلخل، ضریب اصطکاک و زاویه پایداری در طراحی مکانیزم‌های برداشت و تجهیزات مختلف فرآیندهای پس از برداشت شامل دستگاه‌های تمیزکن، درجه‌بند، جداساز، سیلوهای انبارداری، مخازن و همچنین تعیین رفتار محصول طی فرآیند انتقال آن اهمیت دارند. خواص آئرو و هیدرودینامیکی این محصولات نیز در طراحی ماشین‌های برداشت و تجهیزات جداسازی و مکانیزم‌های انتقال بادی و آبی مورد نیاز هستند (Sahay and Singh, 1994).

در انتقال مواد، انتخاب روش به ماهیت عمل و نوع ماده‌ای که باید منتقل شود بستگی دارد. جابه‌جایی مواد به طور کلی با استفاده از روش‌های مکانیکی، آئرودینامیکی و استفاده از نیروی ثقل انجام می‌گیرد. در طراحی و به کارگیری روش مناسب برای انتقال محصولات کشاورزی برداشت شده دانه‌ای باید عواملی از قبیل ریزش غلاف و دانه‌ها و صدمه مکانیکی وارده به دانه‌ها در حین انتقال مورد نظر قرار گیرد. آسیب‌های مکانیکی وارد شده به دانه‌ها در زمان برداشت، فرآیند انتقال و خرمکوبی نگرانی اصلی کشاورزان و متخصصین صنایع غذایی می‌باشد (Khazaei, 2002). همچنین تمام فرآیندهای انتقال بادی، شناورسازی و

حبوبات دومین منبع مهم تامین غذای بشر هستند (Majnoon Hoseini, 1994). سطح زیر کشت لوبیا به عنوان مهمترین عضو خانواده حبوبات در ایران ۱۰۶۵۷۳ هکتار و میزان تولید آن ۱۴۰/۲۱۰ هزار تن می‌باشد (Anon., 2000). در جریان برداشت مکانیکی بوته خشک لوبیا در اثر تنش‌های اعمال شده، مقداری از غلاف، دانه و برگ لوبیا ریزش می‌کند. این مواد سهم قابل توجهی از محصول تولید شده را به خود اختصاص می‌دهند. از سوی دیگر برداشت لوبیا در کشور هنوز بصورت دستی صورت می‌گیرد که بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. بنابراین ضروری است که مراحل برداشت و پس از برداشت این محصول از نظر مکانیزاسیون و بخش ماشین‌هایی که در این مراحل به کار می‌روند به صورت علمی مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا، اولین گام تعیین خواص مهندسی محصول می‌باشد.

بوته‌هایی که خود به طور تصادفی از مزرعه برداشت شده بودند، انتخاب شدند. محتوای رطوبتی اولیه نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASAE برابر با ۷/۹۴ (در حدود ۸) درصد بر پایه تر به دست آمد (Anon., 1996). برای رساندن نمونه‌ها به سطوح رطوبتی مورد نظر (۱۲ و ۱۶ درصد بر پایه تر)، ابتدا جرم آبی که باید به هر نمونه اضافه می‌شد بر اساس رابطه محتوای رطوبتی بر پایه تر با جرم کل و جرم آب موجود در ماده محاسبه شد. سپس عمل مرطوب کردن نمونه‌ها با آب مقطر به آرامی توسط افشانه آب‌پاش در دمای ۴ درجه سلسیوس انجام شد. برای اطمینان از توزیع یکنواخت رطوبت، دانه‌ها پس از رسیدن به رطوبت مورد نظر به مدت ۷ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس در پلاستیک دربسته قرار داده شدند (Aydin and Ozcan, 2002). توزین نمونه‌ها توسط یک ترازوی دیجیتال سارتوریوس (Sartorius) مدل ۱۸۱۰۰P با دقت ۰/۰۱ گرم صورت پذیرفت. لازم به توضیح است به دلیل تبخیر مقداری از آب اضافه شده و همچنین جذب مقدار ناچیزی از آن توسط ظرف پلاستیکی حاوی نمونه، رطوبت نمونه‌ها در مراحل اول و دوم برابر با ۱۱/۸۹ (در حدود ۱۲) و ۱۵/۸۲ (در حدود ۱۶) درصد بر پایه تر اندازه‌گیری شد. از هر سطح رطوبتی ۲۷ دانه به صورت تصادفی انتخاب شد که به منظور بررسی اثر اندازه بر خواص مورد نظر، دانه‌ها بر اساس قطر بزرگ در نرم‌افزار Excel به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم بندی شدند (Masoumi et al., 2004).

ابعاد، قطر متوسط هندسی و درجه کرویت

ابعاد دانه‌ها شامل قطرهای بزرگ، متوسط و کوچک توسط یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. قطر متوسط هندسی و درجه کرویت به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه گردید:

$$d_e = (a \times b \times c)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{d_e}{a} \quad (2)$$

در این روابط، d_e قطر متوسط هندسی (متر)، ϕ درجه کرویت (بدون بعد) و a ، b و c به ترتیب قطرهای بزرگ، متوسط و کوچک جسم (متر) در ۳ راستای عمود بر هم می‌باشند.

ضریب اصطکاک استاتیکی

ضریب اصطکاک استاتیکی دانه‌های لوبیا در ۳ سطح محتوای رطوبتی ذکر شده بر روی ۴ سطح شیشه، چوب، ورق گالوانیزه و پلکسی‌گلاس با استفاده از روش سطح شیب‌دار اندازه‌گیری شد. مطابق این روش روی سطح شیب‌دار جعبه‌ای با ابعاد ۴×۱۰×۱۵ سانتی‌متر قرار داده شد. بذور از ارتفاع ۱۵

جداسازی مخلوط‌های بذور و کاه و کلش و یا مخلوط‌های بذر با بذر، بستگی به رفتار ذرات در جریان باد دارند. بنابراین تعیین خواص فیزیکی و آئروپدینامیکی مواد و اجزاء گیاه همواره مورد توجه محققین بوده است.

نتایج مطالعه انجام شده نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی، ضریب اصطکاک دانه کاکائو افزایش پیدا کرد (Bart-Plange and Baryeh, 2003). در تحقیقی دیگر نشان داده شد که ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی لوبیای قرمز با افزایش رطوبت افزایش یافتند و روند این افزایش در مورد ضریب استاتیکی بیشتر بود (Chung and Verma, 1989). ضریب اصطکاک دینامیکی گندم، کتان، دو گونه عدس و لوبیا در یک مکانیزم مخصوص طراحی شده بر روی ۳ سطح عمودی (۲ سطح از جنس چوب و یک سطح از جنس فولاد گالوانیزه) به دست آمدند (Irvine et al., 1992). ضریب اصطکاک در راستای حرکت و عمود بر جهت حرکت در ۴ سطح محتوای رطوبتی اندازه‌گیری شد. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی ضریب اصطکاک افزایش یافت. همچنین در مورد چوب و در حالتی که شیارهای سطح عمود بر راستای حرکت بذور بود، ضریب اصطکاک بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد.

در یک روش به منظور پیش‌بینی سرعت حد دانه‌ها، برای هر نوع بذر یک عامل بدون بعد شکل تعریف شد (Song and Litchfield, 1991). این عامل برای دانه‌های کروی شکل مانند ذرت و سویا درجه کرویت بود و برای دانه‌های استوانه‌ای شکل مانند گندم و جو، از تقسیم قطر معادل بر قطر هندسی به دست می‌آمد. بر مبنای این عوامل سرعت حد ۵ نوع بذر اندازه‌گیری شد. عدد رینولدز به دست آمده برای بذور بین ۱۳۰۰ تا ۲۷۰۰ بود که نشان دهنده جریان متلاطم بود. با اندازه‌گیری خواص آئروپدینامیکی دانه‌های گندم و بذر علف هرز ماستونک (*Turgenia latifolia*) که معمولاً با این دانه‌ها مخلوط است، نشان داده شد که اختلاف آماری معنی‌داری بین سرعت حد و ضریب بادبردگی گندم و بذر علف هرز وجود داشت (Nalbandi et al., 2010). همچنین ایشان نشان دادند که رطوبت اثر معنی‌داری بر سرعت حد دانه‌های گندم داشت.

در این تحقیق خواص مهم فیزیکی و آئروپدینامیکی دانه لوبیای چیتی استان فارس که یکی از استان‌های مهم کاشت گیاه لوبیا در کشور است، در سطوح رطوبتی مختلف تعیین و مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

در تحقیق حاضر، لوبیای مورد آزمایش از شهرستان اقلید در استان فارس تهیه شد. غلاف‌ها به صورت تصادفی از بین

با استفاده از افت فشار اندازه‌گیری شده و جایگذاری مقدار آن در رابطه (۳) سرعت جریان هوا در محل لوله پیتوت اندازه‌گیری شد (Matin, 1992):

$$V = 125 \times 10^5 \sqrt{\Delta P_t} \quad (3)$$

در این رابطه، V سرعت جریان هوا (متر بر ثانیه) و ΔP_t فشار سرعت جریان (پاسکال) می‌باشد. پس از اندازه‌گیری سرعت جریان در محل لوله پیتوت و با توجه به ثابت بودن دبی هوا، سرعت جریان در مقطعی که نمونه در آن معلق می‌شد، محاسبه شده و به عنوان سرعت حد دانه منظور گردید.

ضریب بادبردگی

محاسبه ضریب بادبردگی با جایگذاری مقادیر سرعت حد اندازه‌گیری شده در رابطه (۴) صورت پذیرفت (Stroshine and Hamann, 1998):

$$C_d = \frac{2mg(\rho_p - \rho_f)}{A \cdot V_t^2 \cdot \rho_p \cdot \rho_f} \quad (4)$$

در این رابطه، C_d ضریب بادبردگی (بدون بعد)، m جرم دانه (کیلوگرم)، g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)، ρ_p چگالی دانه (کیلوگرم بر متر مکعب)، ρ_f چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب)، A سطح مقطع تصویر شده (متر مربع) و V_t سرعت حد (متر بر ثانیه) می‌باشند.

طبق رابطه (۴)، برای محاسبه ضریب بادبردگی نیاز به مشخص بودن سطح مقطع تصویر شده است. سطح مقطع تصویر شده معمولاً با استفاده از مساحت یک بیضی به اقطار بزرگ و متوسط دانه برآورد می‌شود (Nalbandi et al., 2010). در این تحقیق سطح مقطع تصویر شده، با استفاده از روش ماشین بینایی اندازه‌گیری شد. برای این کار از یک پوینده که به رایانه متصل بود استفاده گردید. پوینده با تاباندن نور به جسم و تحلیل نور بازتابیده شده مساحت آنرا به دست می‌آورد. اندازه‌گیری مساحت توسط نرم‌افزار تحلیل‌گر Delta-TSCAN در محیط MS-Dos و تحت Windows 98 صورت گرفت. ابتدا لپه‌های لوبیا از یکدیگر جدا شده و سطح مقطع تک‌لپه اندازه‌گیری شد. سپس لپه‌ها با چسب چوب به یکدیگر متصل شده و دانه در راستای عمود بر صفحه لپه‌ها و تا نیمه لپه با ماشین سنگ‌زنی براده برداری گردید. مساحت لوبیای برش داده شده دوباره با همین روش اندازه‌گیری شد. میانگین مساحت‌های به دست آمده به عنوان سطح مقطع لوبیا در نظر گرفته شد.

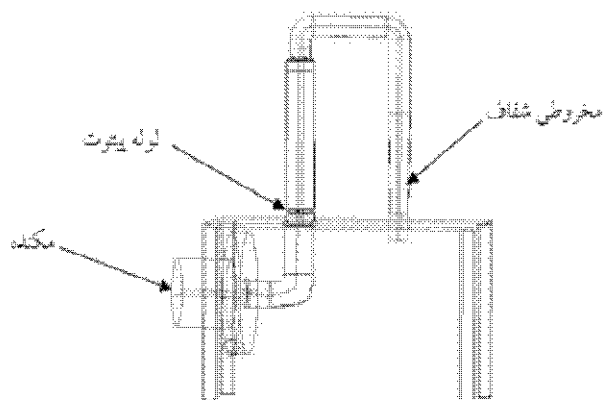
عدد رینولدز

به منظور مشخص نمودن نوع جریان طی شناورسازی دانه‌های لوبیا، عدد رینولدز با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986):

سانتی‌متری توسط قیف داخل جعبه ریخته شده، سپس دانه‌های سطح رویی جعبه توسط یک خط‌کش صاف گردید. فاصله سطح جعبه از سطح شیب‌دار مورد آزمایش به اندازه ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد تا اثر اصطکاک جعبه با سطح از بین برود. سپس سطح شیب‌دار به آرامی توسط فرقه محرک سطح به سمت بالا حرکت داده شد. درست در لحظه‌ای که جعبه شروع به سرش می‌کرد، زاویه سطح با افق به وسیله یک زاویه‌سنج قرائت شد. این عمل برای هر کدام از سطوح رطوبتی در ۳ تکرار انجام شد (Amin et al., 2004).

سرعت حد

مطابق شکل (۱)، سرعت حد دانه‌های لوبیا به روش شناورسازی توسط یک دستگاه مکنده با منبع توان الکتریکی ۴ اسب بخار که به این منظور طراحی و ساخته شده بود، اندازه‌گیری شد. جریان باد به صورت مکش عمودی و به سمت بالا بود. اختلاف فشار کل و فشار استاتیکی جریان باد به وسیله یک لوله پیتوت که به صورت عرضی در مقطع کانال هوا نصب شده بود، اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در قسمت پائین (دهانه باز) لوله مخروطی شفاف از جنس پلکسی‌گلاس با دست نگهداشته شده و سپس با تنظیم سرعت مکنده از طریق یک اینورتر به حالت معلق در می‌آمدند. ارتفاع لوله مخروطی شفاف برابر با ۶۰ سانتی‌متر، قطر داخلی مقطع کوچک آن برابر با ۹ سانتی‌متر و قطر داخلی مقطع بزرگ آن برابر با ۱۲ سانتی‌متر بود. با این هندسه قسمت شفاف مخروطی گستره مناسبی از سرعت‌ها را ارائه می‌داد. بدین ترتیب که هر نمونه با فرار گرفتن در ارتفاعی خاص از قسمت شفاف که به صورت مخروط ناقص ساخته شده بود به تعادل دینامیکی رسیده و فشار مربوط به آن توسط یک فشارسنج تفاضلی دیجیتالی تستو (Testo) مدل ۵۱۲ قرائت می‌شد.



شکل ۱- طرحواره دستگاه طراحی و ساخته شده برای اندازه‌گیری سرعت حد

$$Re = \frac{d_e \cdot V_t \cdot \rho_f}{\mu} \quad (5)$$

در این رابطه، μ لزجت یا گرانروی دینامیکی سیال (پاسکال ثانیه) و Re عدد رینولدز (بدون بعد) است. در محاسبه عدد رینولدز، از مقادیر چگالی و گرانروی دینامیکی هوا در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با ۱/۲۰۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب و $10^{-5} \times 1/816$ پاسکال ثانیه استفاده شد.

آنالیز آماری

داده‌های حاصل از آزمایش‌های تعیین خواص فیزیکی و آنرویدینامیکی بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی تحلیل شدند که در آن رطوبت و گروه‌های اندازه به عنوان متغیر مستقل و خواص اندازه‌گیری و محاسبه شده به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. اثر تیمارها با استفاده از برنامه ANOVA PROC در نرم‌افزار SAS تحلیل شد و در صورت معنی‌دار بودن مقدار $F (P < 0/05)$ ، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ابعاد، قطر متوسط هندسی و درجه کرویت

تجزیه آماری اثر رطوبت بر مقادیر خواص فیزیکی اندازه‌گیری و محاسبه شده شامل قطرهای بزرگ، متوسط، کوچک و قطر متوسط هندسی نشان داد که بین این خواص فیزیکی در رطوبت‌های مختلف در سطح آماری ۱ درصد اختلاف

معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/01$) (جدول ۱).

با توجه به کل داده‌ها مقادیر میانگین مشخصه‌های فیزیکی قطرهای بزرگ، متوسط، کوچک و قطر متوسط هندسی به ترتیب برابر با ۱۲/۱۱، ۹/۲۶، ۶/۹۵ و ۹/۱۹ میلی‌متر و میانگین درجه کرویت برابر با ۰/۷۵ به دست آمد. جدول (۲) توزیع اندازه و میانگین خواص فیزیکی ابعادی و شکل لوبیای چیتی استان فارس را در سطوح رطوبتی و اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود و انتظار می‌رود با افزایش رطوبت (جذب آب و متورم شدن دانه)، سه بعد اصلی قطر بزرگ، کوچک و متوسط و همچنین قطر متوسط هندسی به طور معنی‌داری افزایش یافتند. به ترتیب برای این چهار مشخصه ابعادی، مقدار کمی این افزایش با تغییر رطوبت از ۸ به ۱۶ درصد بر پایه تر، در حدود ۱۱، ۱۰، ۱۲ و ۱۱ درصد بود. اما در اثر تغییر رطوبت، درجه کرویت با توجه به رابطه آن با سه بعد اصلی (رابطه ۲) تغییر معنی‌داری نشان نداد.

رابطه مشخصه‌های فیزیکی ابعادی و شکل شامل قطر بزرگ، قطر متوسط، قطر کوچک، قطر متوسط هندسی و درجه کرویت با محتوای رطوبتی در جدول (۳) نشان داده شده است.

ضریب اصطکاک استاتیکی

نتایج تجزیه واریانس اثر رطوبت و سطح بر ضریب اصطکاک استاتیکی نشان داد که بین ضریب اصطکاک استاتیکی اندازه‌گیری شده در رطوبت‌های مختلف و بر روی سطوح متفاوت در سطح آماری ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < 0/01$) (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس اثر منابع تغییرات بر مشخصه‌های فیزیکی ابعادی، شکل، ضریب اصطکاک استاتیکی و خواص آنرویدینامیکی دانه لوبیای چیتی استان فارس.

میانگین مربعات					
منابع تغییر					
درجه آزادی	اندازه	رطوبت	اندازه × رطوبت	سطح	سطح × رطوبت
۲	۲	۲	۴	۳	۶
مشخصه فیزیکی					
قطر بزرگ	۵/۶۰۱۷ ^{***}	۱/۲۳۵۰ ^{***}	۰/۶۱۵۹ ^{***}	-	-
قطر متوسط	۱/۳۲۶۵ ^{***}	۰/۲۵۰۲ ^{***}	۰/۲۸۴۴ ^{***}	-	-
قطر کوچک	۱/۲۸۵۵ ^{***}	۰/۳۶۸۸ ^{***}	۰/۳۱۹۲ ^{***}	-	-
درجه کرویت	۰/۰۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۳۶ ^{ns}	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	-	-
قطر متوسط هندسی	۰/۳۶۶۸ ^{ns}	۲/۰۱۷۰ ^{***}	۰/۰۸۷۱ ^{ns}	-	-
سرعت حد	۰/۱۸۸۷ ^{ns}	۱۶/۲۶۴۱ ^{***}	۰/۲۸۰۶ ^{ns}	-	-
ضریب بادبردگی	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۱۸۵۵ ^{***}	۰/۰۰۹۵ ^{ns}	-	-
عدد رینولدز	۶۴۲۵۴۳/۹۷ ^{ns}	۱۲۳۹۹۱۵۸/۸۸ ^{***}	۲۳۲۴۵۲/۹۲ ^{ns}	-	-
ضریب اصطکاک	-	۰/۴۸۴۸ ^{***}	-	۰/۰۱۵۳ ^{***}	۰/۰۰۶۹ ^{***}

جدول ۲- میانگین مشخصه‌های فیزیکی ابعادی و شکل لوبیای چیتی استان فارس تحت تاثیر اندازه و رطوبت.

اندازه*				مشخصه فیزیکی	رطوبت (% بر پایه تر)
بزرگ	متوسط	کوچک	درجه بندی نشده		
> ۱۲ mm	۱۱/۲۵ - ۱۲mm	< ۱۱/۲۵mm			۸
۲۹/۶۳	۳۷/۰۴	۳۳/۳۳	۱۰۰	درصد نمونه (تعداد)	
				ابعاد (mm)	
۱۲/۷۳ ^c ± ۰/۲۴	۱۱/۵۷ ^c ± ۰/۰۷	۱۰/۷۱ ^b ± ۰/۱۸	۱۱/۶۲ ^c ± ۰/۱۷**	قطر بزرگ	
۹/۳۵ ^c ± ۰/۲۵	۸/۷۹ ^c ± ۰/۰۷	۸/۴۵ ^c ± ۰/۱۴	۸/۸۴ ^c ± ۰/۱۱	قطر متوسط	
۷/۰۰ ^c ± ۰/۱۲	۶/۵۰ ^c ± ۰/۰۷	۶/۲۸ ^c ± ۰/۱۵	۶/۵۸ ^c ± ۰/۰۸	قطر کوچک	
۹/۰۳ ^c ± ۰/۲۸	۹/۰۸ ^c ± ۰/۲۰	۸/۷۸ ^c ± ۰/۱۳	۸/۷۲ ^c ± ۰/۱۵	قطر متوسط هندسی (mm)	
۰/۷۶ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۳ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۶ ^{b,c} ± ۰/۰۱	۰/۷۵ ^a ± ۰/۰۱	درجه کرویت	
> ۱۲/۶ mm	۱۱/۴ - ۱۲/۶mm	< ۱۱/۴mm			۱۲
۲۹/۶۳	۴۰/۷۴	۲۹/۶۳	۱۰۰	درصد نمونه (تعداد)	
				ابعاد (mm)	
۱۳/۴۷ ^b ± ۰/۲۹	۱۲/۰۹ ^b ± ۰/۱۱	۱۰/۶۷ ^b ± ۰/۱۸	۱۲/۰۸ ^b ± ۰/۲۳	قطر بزرگ	
۹/۸۴ ^b ± ۰/۳۳	۹/۱۳ ^b ± ۰/۱۸	۸/۸۴ ^b ± ۰/۱۷	۹/۲۶ ^b ± ۰/۱۴	قطر متوسط	
۷/۵۸ ^b ± ۰/۳۰	۶/۸۶ ^b ± ۰/۰۹	۶/۵۹ ^b ± ۰/۲۶	۶/۹۹ ^b ± ۰/۱۳	قطر کوچک	
۹/۷۵ ^b ± ۰/۲۷	۹/۲۵ ^b ± ۰/۲۶	۹/۳۲ ^b ± ۰/۰۱	۹/۲۱ ^b ± ۰/۱۶	قطر متوسط هندسی (mm)	
۰/۷۶ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۴ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۷ ^{a,b} ± ۰/۰۱	۰/۷۶ ^a ± ۰/۰۱	درجه کرویت	
> ۱۳/۲۵ mm	۱۱/۷۵ - ۱۳/۲۵mm	< ۱۱/۷۵mm			۱۶
۳۳/۳۳	۳۷/۰۴	۲۹/۶۳	۱۰۰	درصد نمونه (تعداد)	
				ابعاد (mm)	
۱۴/۳۵ ^a ± ۰/۲۹	۱۲/۷۰ ^a ± ۰/۱۷	۱۱/۴۸ ^a ± ۰/۰۸	۱۲/۸۷ ^a ± ۰/۲۵	قطر بزرگ	
۱۰/۵۸ ^a ± ۰/۲۵	۹/۶۶ ^a ± ۰/۱۸	۹/۰۹ ^a ± ۰/۲۱	۹/۷۵ ^a ± ۰/۱۶	قطر متوسط	
۷/۹۳ ^a ± ۰/۱۶	۷/۳۰ ^a ± ۰/۱۹	۶/۹۱ ^a ± ۰/۱۲	۷/۳۸ ^a ± ۰/۱۲	قطر کوچک	
۱۰/۱۳ ^a ± ۰/۴۵	۹/۷۵ ^a ± ۰/۴۶	۹/۹۷ ^a ± ۰/۱۲	۹/۶۷ ^a ± ۰/۱۹	قطر متوسط هندسی (mm)	
۰/۷۵ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۴ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۸ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۶ ^a ± ۰/۰۱	درجه کرویت	

در هر ستون تفاوت میانگین‌های دارای حروف انگلیسی غیر مشترک برای یک مشخصه فیزیکی در رطوبت‌های مختلف با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است، * بر اساس قطر بزرگ، ** اعداد جدول بیانگر میانگین ± یک خطای استاندارد (S.E.) هستند.

اصطکاک استاتیکی لوبیای قرمز بر روی ورق گالوانیزه و چوب به ترتیب در محدوده‌های (۰/۳۲۳ - ۰/۳۵۶) و (۰/۳۶۷ - ۰/۳۲۹) تعیین شدند (Chung and Verma, 1989). ضریب اصطکاک استاتیکی سویا نیز بر روی سطوح بتن، چوب و ورق گالوانیزه به ترتیب برابر با ۰/۵۲، ۰/۳۵ و ۰/۲۲ گزارش شده است (Stroshine and Hamann, 1998).

نتایج مقایسه میانگین‌های ضریب اصطکاک استاتیکی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی بر اساس آزمون LSD در جدول (۴) آورده شده است. بر اساس نتایج، با افزایش رطوبت ضریب اصطکاک استاتیکی به طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد افزایش پیدا کرد. مقدار این افزایش با تغییر رطوبت از ۸ به ۱۲ و از ۱۲ به ۱۶ درصد بر پایه تر به ترتیب در حدود ۱۳۵ و ۱۵ درصد بود. در بین سطوح اصطکاک مورد آزمایش نیز بیشترین مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی (۰/۴۴) مربوط به ورق گالوانیزه بود. ضریب اصطکاک بر روی چوب نسبت به شیشه، پلکسی گلاس نسبت به چوب و ورق گالوانیزه نسبت به پلکسی گلاس به ترتیب در حدود ۱۸، ۵ و ۷ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. ضریب اصطکاک استاتیکی لوبیای روغنی بر روی سطوح گالوانیزه، شیشه و چوب به ترتیب در محدوده‌های (۰/۳۴۴ - ۰/۳۲۵)، (۰/۳۰۶ - ۰/۲۸۷) و (۰/۳۸۴ - ۰/۳۶۴) گزارش شده است (Oje and Ugbor, 1991). همچنین ضریب

جدول ۳- رابطه مشخصه‌های فیزیکی ابعادی و شکل لوبیای چیتی استان فارس با محتوای رطوبتی.

مشخصه فیزیکی و آئروپنایمی	ضریب تعیین رابطه با محتوای رطوبتی (R ^۲)
قطر بزرگ	۰/۹۹۱
قطر متوسط	۰/۹۹۹
قطر کوچک	۰/۹۹۱
قطر متوسط هندسی	۰/۹۹۹
درجه کرویت	۰/۴۳۰

$$a = 13/44 MC + 10/52^*$$

$$b = 10/26 MC + 8/02$$

$$c = 8/98 MC + 5/88$$

$$d_e = 11/82 MC + 7/78$$

$$\phi = 0/05 MC + 0/75$$

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های ضریب اصطکاک استاتیکی لوبیای چیتی استان فارس تحت تأثیر سطح و رطوبت.

عامل آزمایشی	ضریب اصطکاک استاتیکی
سطح اصطکاک	
چوب	$0.39^b \pm 0.04^*$
شیشه	$0.33^c \pm 0.06$
ورق گالوانیزه	$0.44^a \pm 0.07$
پلکسی گلاس	$0.41^b \pm 0.05$
رطوبت (% بر پایه تر)	
۸	$0.20^c \pm 0.01$
۱۲	$0.47^b \pm 0.02$
۱۶	$0.54^a \pm 0.01$

برای هر عامل آزمایشی تفاوت میانگین‌های دارای حروف انگلیسی غیر مشترک با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است، * اعداد جدول بیانگر میانگین \pm یک خطای استاندارد (S.E.) هستند.

در جدول (۵) رابطه رگرسیونی برازش شده بین ضریب اصطکاک استاتیکی و محتوای رطوبتی برای سطوح مختلف به همراه ضریب تعیین رابطه نشان داده شده است. همان طور که روابط نشان می‌دهند، برای تمام سطوح با افزایش رطوبت ضریب اصطکاک استاتیکی افزایش پیدا کرد. به طوری که با افزایش رطوبت از ۸ به ۱۶ درصد بر پایه تر، برای سطوح شیشه، چوب، ورق گالوانیزه و پلکسی‌گلاس ضریب اصطکاک استاتیکی به ترتیب در حدود ۰.۳۰۵، ۱.۳۳، ۱۰.۵ و ۱۲.۹ درصد افزایش یافت. تغییر ضریب اصطکاک با محتوای رطوبتی از آنجا ناشی می‌شود که لایه سطحی رطوبت احاطه کننده ذرات، توده غله را به وسیله کشش سطحی با یکدیگر نگه می‌دارد (Sahay and Sing, 1994).

جدول ۵- رابطه ضریب اصطکاک استاتیکی و محتوای رطوبتی برای سطوح مختلف.

نوع سطح	ضریب تعیین (R^2)	رابطه با محتوای رطوبتی
شیشه	۰/۹۳	$C_T = 5/445 MC - 0/293^*$
چوب	۰/۸۳	$C_T = 3/638 MC - 0/072$
ورق گالوانیزه	۰/۹۲	$C_T = 3/407 MC - 0/014$
پلکسی‌گلاس	۰/۸۳	$C_T = 4/409 MC - 0/082$

* در روابط برازش شده، C_T ضریب اصطکاک استاتیکی و MC محتوای رطوبتی اعشاری بر مبنای تر می‌باشند.

خواص آئروودینامیکی

تجزیه آماری اثر اندازه و محتوای رطوبتی بر خواص آئروودینامیکی نشان داد که اثر اندازه و همچنین اثر متقابل اندازه و محتوای رطوبتی بر هیچ یک از خواص آئروودینامیکی معنی‌دار نبود. لیکن اثر رطوبت بر خواص آئروودینامیکی اندازه‌گیری و

محاسبه شده شامل سرعت حد، ضریب بادبردگی و عدد رینولدز در سطح ۱ درصد معنی‌دار نشان داد ($P < 0.01$) (جدول ۱).

جدول (۶) نتایج مقایسه میانگین‌های خواص آئروودینامیکی اندازه‌گیری و محاسبه شده را برای دانه لوبیا نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، کمترین مقدار میانگین سرعت حد (۱۲/۲۶ متر بر ثانیه) در محتوای رطوبت ۸ درصد بر پایه تر به دست آمد و با مقادیر مربوطه در رطوبت‌های ۱۲ و ۱۶ درصد بر پایه تر (به ترتیب برابر با ۱۴/۷۵ و ۱۴/۳۷ متر بر ثانیه) اختلاف معنی‌دار داشت. دلیل تغییر در سرعت حد با تغییر رطوبت را می‌توان به تغییر جرم دانه نسبت به تغییر سطح جبهه^۲ با تغییر رطوبت ذکر کرد. همچنین با توجه به دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه، دلیل دیگر را می‌توان تغییر ضریب بادبردگی با تغییر رطوبت دانست (Kashaninejad et al., 2005). بر اساس نتایج حاصل مقدار میانگین سرعت حد دانه لوبیای چیتی در محدوده رطوبتی مورد آزمایش برابر با ۱۳/۷۹ متر بر ثانیه به دست آمد. سرعت حد لوبیا برابر با ۱۳/۳ و سرعت حد سویا برابر با ۱۴ متر بر ثانیه گزارش شده است (Gorial and Ocallaghan, 1990). همچنین در تحقیقی دیگر سرعت حد لوبیا در محدوده (۱۲ - ۱۱/۲) متر بر ثانیه به دست آمد (Stroshine and Hamann, 1998). در مورد عدد رینولدز نیز مشابه سرعت حد، کمترین مقدار میانگین آن (۷۰۸۹) در سطح رطوبتی ۸ درصد بر پایه تر محاسبه شد و با مقادیر مربوط به رطوبت‌های ۱۲ و ۱۶ درصد بر پایه تر (به ترتیب برابر با ۹۰۰۹ و ۹۲۱۹) از نظر آماری متفاوت بود. بطور کلی میانگین عدد رینولدز برابر با ۸۴۳۸/۸۸ به دست آمد. اعداد رینولدز حاصل بیانگر متلاطم بودن جریان بودند.

در مورد ضریب بادبردگی بیشترین مقدار میانگین برابر با ۰/۸۹ در رطوبت ۸ درصد بر پایه تر به دست آمد و بر طبق آزمون LSD تفاوت معنی‌داری نسبت به مقادیر مربوط به سطوح رطوبتی ۱۲ و ۱۶ درصد بر پایه تر (به ترتیب برابر با ۰/۶۶ و ۰/۷۰) نشان داد. میانگین ضریب بادبردگی لوبیای چیتی مورد آزمایش در تحقیق حاضر برابر با ۰/۷۴ به دست آمد. ضریب بادبردگی لوبیا برابر با ۰/۸ و ضریب بادبردگی سویا برابر با ۰/۵ گزارش شده است (Gorial and Ocallaghan, 1990).

جدول (۷) رابطه خواص آئروودینامیکی لوبیا شامل سرعت حد، ضریب بادبردگی و عدد رینولدز را با محتوای رطوبتی نشان می‌دهد.

جدول ۶- میانگین خواص آئروپنایمیکی لوبیای چیتی استان فارس تحت تاثیر اندازه و رطوبت.

اندازه*		اندازه*		درجه بندی نشده	خاصیت آئروپنایمیکی	رطوبت (% بر پایه تر)
بزرگ	متوسط	کوچک	متوسط			
> ۱۲ mm	۱۱/۲۵ - ۱۲mm	< ۱۱/۲۵mm	< ۱۱/۲۵mm	درجه بندی نشده	خاصیت آئروپنایمیکی	۸
۱۲/۲۲ ^c ± ۰/۳۸	۱۲/۲۷ ^b ± ۰/۱۶	۱۱/۹۷ ^b ± ۰/۳۹	۱۱/۹۷ ^b ± ۰/۳۹	** ۱۲/۲۶ ^b ± ۰/۲۰	سرعت حد (m/s)	
۰/۸۷ ^a ± ۰/۱۰	۰/۹۰ ^a ± ۰/۱۶	۰/۸۷ ^a ± ۰/۱۰	۰/۸۷ ^a ± ۰/۱۰	۰/۸۹ ^a ± ۰/۱۴	ضریب بادبردگی	
۷۳۲۶ ^b ± ۴۵۷	۷۳۹۳ ^b ± ۳۶۲	۶۹۶۸ ^b ± ۱۲۰	۶۹۶۸ ^b ± ۱۲۰	۷۰۸۹ ^b ± ۱۷۶	عدد رینولدز	
> ۱۱ mm	۸ - ۱۱mm	< ۸mm	< ۸mm	درجه بندی نشده	خاصیت آئروپنایمیکی	۱۲
۱۵/۲۸ ^a ± ۰/۳۸	۱۴/۶۸ ^a ± ۰/۰۸	۱۴/۸۴ ^a ± ۰/۸۴	۱۴/۸۴ ^a ± ۰/۸۴	۱۴/۷۵ ^a ± ۰/۲۰	سرعت حد (m/s)	
۰/۶۵ ^b ± ۰/۱۳	۰/۶۷ ^b ± ۰/۱۴	۰/۶۵ ^b ± ۰/۱۰	۰/۶۵ ^b ± ۰/۱۰	۰/۶۶ ^b ± ۰/۱۳	ضریب بادبردگی	
۹۸۷۰ ^a ± ۲۹	۹۰۰۴ ^a ± ۲۰۱	۹۱۷۴ ^a ± ۵۱۴	۹۱۷۴ ^a ± ۵۱۴	۹۰۰۹ ^a ± ۲۲۵	عدد رینولدز	
> ۱۳/۲۵ mm	۱۱/۷۵ - ۱۳/۲۵mm	< ۱۱/۷۵mm	< ۱۱/۷۵mm	درجه بندی نشده	خاصیت آئروپنایمیکی	۱۶
۱۴/۴۲ ^b ± ۰/۳۲	۱۴/۳۴ ^b ± ۰/۳۰	۱۴/۸۳ ^a ± ۰/۸۴	۱۴/۸۳ ^a ± ۰/۸۴	۱۴/۳۷ ^a ± ۰/۱۹	سرعت حد (m/s)	
۰/۷۱ ^b ± ۰/۱۱	۰/۷۰ ^b ± ۰/۱۵	۰/۶۸ ^b ± ۰/۱۲	۰/۶۸ ^b ± ۰/۱۲	۰/۷۰ ^b ± ۰/۱۰	ضریب بادبردگی	
۹۶۷۵ ^a ± ۳۱۵	۹۲۸۲ ^a ± ۶۳۵	۹۷۹۹ ^a ± ۴۴۰	۹۷۹۹ ^a ± ۴۴۰	۹۲۱۹ ^a ± ۲۴۵	عدد رینولدز	

در هر ستون تفاوت میانگین‌های دارای حروف انگلیسی غیر مشترک برای یک خاصیت آئروپنایمیکی در رطوبت‌های مختلف با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است، * بر اساس قطر بزرگ، ** اعداد جدول بیانگر میانگین ± یک خطای استاندارد (S.E.) هستند.

۱۱، ۱۰، ۱۲ و ۱۱ درصد بود.

برای تمام سطوح مورد آزمایش با افزایش رطوبت ضریب اصطکاک استاتیکی به طور خطی افزایش پیدا کرد. مقدار این افزایش با تغییر رطوبت در محدوده مورد آزمایش، برای سطوح شیشه، چوب، ورق گالوانیزه و پلکسی‌گلاس به ترتیب در حدود ۳۰۵، ۱۳۳، ۱۰۵ و ۱۲۹ درصد بود.

اثر اندازه بر هیچ یک از خواص آئروپنایمیکی اندازه‌گیری و محاسبه شده شامل سرعت حد، ضریب بادبردگی و عدد رینولدز معنی‌دار نبود. لیکن اثر رطوبت بر این خواص معنی‌دار نشان داد.

میانگین سرعت حد، ضریب بادبردگی و عدد رینولدز جریان به ترتیب برابر با ۱۳/۷۹ متر بر ثانیه، ۰/۷۴ و ۸۴۳۸/۸۸ بدست آمد اعداد رینولدز حاصل بیانگر متلاطم بودن جریان طی آزمایش‌های تعیین خواص آئروپنایمیکی بودند.

REFERENCES

Anonymous. (1996). *Moisture measurement-unground grain and seeds*. ASAE Standard. S352.2DEC92.

Anonymous. (2000). *Agriculture basic information* (1st ed.). Agricultural ministry, Administration of statistics and informatics, 78/02. (in Farsi)

Amin, M. N., Hossain, M. A. and Roy, K. C. (2004). Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*, 65, 83-87.

Aydin, C. and Ozcan, M. (2002). Some physico mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus L*) fruits. *Journal of Food Engineering*, 53, 97-101.

Bart-Plange, A. and Baryeh, E. A. (2003). The physical properties of category b cocoa beans. *Journal of Food Engineering*, 60, 219-227.

جدول ۷- رابطه خواص آئروپنایمیکی لوبیای چیتی استان فارس با

محتوای رطوبتی.		
رابطه با محتوای رطوبتی	ضریب تعیین (R ²)	خاصیت آئروپنایمیکی
$V_t = 0.26 MC + 10.61$	۰/۶۲۰	سرعت حد
$C_d = -199/10 MC + 96/87$	۰/۴۰۰	ضریب بادبردگی
$Re = 294/60 MC + 5186/00$	۰/۸۲۴	عدد رینولدز

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق برای لوبیای چیتی استان فارس می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد: به غیر از درجه کرویت، تمامی خواص فیزیکی اندازه‌گیری و محاسبه شده شامل قطرهای بزرگ، متوسط، کوچک و قطر متوسط هندسی به طور معنی‌داری تحت تأثیر رطوبت قرار داشتند. برای این چهار مشخصه ابعادی مقدار کمی این افزایش با تغییر رطوبت در محدوده مورد آزمایش، در حدود

Chung, J. H. and Verma, L. R. (1989). Determination of friction coefficients of beans and peanuts. *Transactions of the ASAE*, 32, 745-750.

Gorial, B. Y. and Ocallaghan, J. R. (1990). Aerodynamic properties of grain/straw materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46, 275- 290.

Irvine, D. A., Jayas, D. S., Britton, M. G. and White, N. D. G. (1992). Dynamic friction characteristics of bulk seeds against flat vertical surfaces. *Transactions of the ASAE*, 35 (2), 665- 669.

Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi A., and Tabil, L. (2005). Some physical properties of pistachio (*Pistachio vera L.*) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72 (1), 30-38.

Khazaei, J. (2002). *Determination of chickpea pod resistance and its mechanical resistance to*

- threshing*. Ph. D. dissertation. University of Tehran, College of Agriculture. (in Farsi)
- Majnoon Hoseini, N. (1994). *Grains in Iran*. Jahad-e-Daneshgahi of University Tehran Publications. (in Farsi)
- Masoumi, A. A., Tabil, L. and Anthony, O. (2004). Determining drag coefficient and terminal velocity of garlic (*Allium sativum L*) in vertical wind tunnel. In: *ASAE Annual International Meeting*. Ottawa, Ontario, Canada. Paper No 046041.
- Matin, A. R. (1992). Industrial Ventilation. Design and computations guidelines for industrial health specialists. (1st ed.) Jahad-e-Daneshgahi Publications. (in Farsi)
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of Plant and animal materials* (2nd ed.). New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Nalbandi, H., Seiedlou, S. and Ghassemzadeh, H. R. (2010). Aerodynamic properties of turgenia latifolia seeds and wheat kernels. *Int. Agrophysics*, 24, 57-61.
- Oje, K. and Ugbor, E. C. (1991). Some physical properties of oil bean seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 50, 305-313.
- Sahay, K. M. and Singh, K. K. (1994) *Unit operations of agricultural processing* (1st ed.). Vikas Publishing House Private Limited, New Dehli.
- Song, H. and Litchfield, J. B. (1991). Predicting method of terminal velocity for grains. *Transactions of the ASAE*, 34(1), 225-231.
- Stroshine, R. and Hamann, D. (1998). *Physical properties of agricultural materials and food products*. Department of Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, West Lafayette. Indiana.