



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



اثرات تغییر رطوبت بر خواص فیزیکی و افت فشار در بستر میوه انگور

سمیرا خزفروش^{۱*}، داریوش زارع^۲ و علی اصغر زمردیان^۳

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۳ - استاد گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

ایمیل مکاتبه کننده: khazforoosh89samira@gmail.com

چکیده

انگور یکی از مهم‌ترین میوه‌ها در جهان است که از دیرباز تاکنون به مقدار زیاد و اشکال مختلف مورد استفاده بشر قرار گرفته است. خشک‌کردن انگور یا تولید کشمش یک صنعت مهم در بخش‌های زیادی از مناطق کشت این محصول در جهان می‌باشد. در کشور ما نیز کشمش جزء اقلام مهم صادرات غیر نفتی می‌باشد. برای انبارداری و خشک‌کردن انگور آگاهی از خواص فیزیکی این محصول ضروری می‌باشد. اثر رطوبت بر روی ابعاد، کرویت، میانگین اقطار هندسی و جرم حجمی دانه‌ای در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. افت فشار در بستر انگور در ۶ نرخ عبور جریان برای سه سطح رطوبتی ۷۶/۲۳، ۴۵ و ۱۵ درصد بر پایه خشک، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در یک نرخ عبور جریان کاهش رطوبت از ۷۶/۲۳ درصد به ۱۵ درصد سبب کاهش افت فشار در توده انگور می‌شود، در حالی که در رطوبت میانی افت فشار توده محصول افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: انگور، افت فشار، خواص فیزیکی، مدل ریاضی.

مقدمه

خشک‌کردن و انبارسازی دو فرآیند مهم در صنایع پس از برداشت هستند که برای نیل به آنها باید هوا را تحت فشار وارد بستر محصول کرد. برای طراحی هر نوع سامانه‌ای که ایجاد جریان اجباری هوا در میان محصول می‌کند لازم است تا از میزان مقاومت محصول در برابر جریان هوا آگاهی داشته باشیم.

مقاومت در برابر جریان هوا در خشک‌کن و یا یک سامانه هوادهی بعلت وجود چندین مانع ایجاد می‌شود که مهم‌ترین آنها عمق بستر محصول است. نه تنها اندازه و شکل محصول مقاومت در مقابل عبور هوا را تغییر می‌دهد بلکه رطوبت محصول، روش پر کردن مخزن و سرعت هوای دمیده شده نیز اثر مهمی بر افت فشار ایجاد شده دارد. بی‌توجهی به این مسئله می‌تواند به طراحی اشتباه خشک‌کن و انتخاب نادرست دمنده می‌انجامد (زمردیان، ۱۳۸۷).



بسیاری از محققان مقاومت تولید شده در برابر عبور هوا از میان بستر محصولات گوناگون همانند برنج، سیب، دانه قهوه، دانه ذرت، دانه های روغنی، بذر علوفه، بذر سبزیجات، سبزیجات ریشه ای و پیاز دار و بسیاری از موارد دیگر را در محدوده نسبتاً کمی از جریان هوا مورد مطالعه قرار داده‌اند (Pabis et al., 1998).

آگولو و مارنیا ۲۰۰۵ با آزمایش بر روی قهوه و استفاده از مدل های شده، هوکیل و ایوز^۲ و یک مدل تجربی برای بیان رابطه بین سرعت هوا و افت فشار ارائه و خاطر نشان کردند که این رابطه متأثر از محتوای رطوبتی و چگالی ظاهری بستر است.

ساسیلیک (۲۰۰۴) جرم حجمی ظاهری^۲، جرم حجمی واقعی^۴، تخلخل بستر^۵، وزن هزار دانه و قطر میانگین معادل^۶ را برای بذر خشک در رطوبت های مختلف اندازه گیری کرد. وی مشاهده کرد که با افزایش رطوبت، قطر میانگین معادل، وزن هزار دانه و تخلخل بستر افزایش یافته و جرم حجمی ظاهری کاهش یافته است.

مطالعه خواص فیزیکی انجیر سبز استهپان نشان داد که با افزایش رطوبت، ابعاد، میانگین هندسی اقطار و کرویت افزایش یافته است. همچنین با کاهش تخلخل افت فشار بستر انجیر افزایش می یابد (امانلو و زمردیان، ۱۳۸۸).

در مطالعات قبلی مدل های بسیاری برای تبیین رابطه سرعت هوا و افت فشار وجود دارد. از این میان قدیمی ترین و مشهورترین مدل مربوط به شد است. شد مدل خود را بصورت زیر ارائه کرد (Shedd 1951, 1953):

$$Q = A_1 (\Delta P)^{B_1} \quad (1)$$

که در آن Q نمایانگر نرخ جریان هوا ($m^3 s^{-1} m^{-2}$)، ΔP افت فشار (Pa/m) و A_1 و B_1 ثابت‌هایی مربوط به نوع محصول می باشد.

استفاده از مدل شد به دامنه باریکی از نرخ جریان هوا ($0.3-0.7 m^3 s^{-1} m^{-2}$) محدود می شود. آزمایش های شد بر روی ستون هایی از غلات انجام شده است که هوا موازی با محور ستون از آنها عبور می کرده است. ضرایب ثابت مدل (A_1 و B_1) در یک بستر مشخص به محتوای رطوبتی و جرم حجمی ظاهری آن بستگی دارد. آزمایش های شد شامل غلات مختلف بود. مدل شد توسط کاشانی نژاد و تبیل (۲۰۰۹) برای پسته، سخن سنج و همکاران (۱۹۹۰) برای عدس و جکاینفا (۲۰۰۶) برای یک رقم خاص بذر لوبیا توصیه شده است.

هوکیل و ایوز در سال ۱۹۵۵ مدل خود را برای اصلاح مدل شد ارائه کردند (Pabis et al., 1998):

$$\Delta P = \frac{A_2 Q^2}{\ln(1 + B_2 Q)} \quad (2)$$

1 - Shedd
2 - Hukill and Ives
3 - Bulk density

4 - True density
5 - Porosity
6 - Equivalent mean diameter



که در آن Q نمایانگر نرخ جریان هوا ($m^3 s^{-1} m^{-2}$)، ΔP افت فشار (Pa/m) و A_2 و B_2 ثابت‌هایی مربوط به نوع محصول می باشد

سومین مدل متداول مدل تجربی ارگان^۷ است. ارگان (۱۹۵۲) برای مطالعه نسبت افت فشار به نرخ جریان هوا از اصول دینامیک سیالات کمک گرفته است. مدل ارگان بصورت زیر نمایش داده می شود:

$$\Delta P = A_3 Q + B_3 Q^2 \quad (3)$$

که در آن Q نمایانگر نرخ جریان هوا ($m^3 s^{-1} m^{-2}$)، ΔP افت فشار (Pa/m) و A_3 و B_3 ثابت‌هایی مربوط به نوع محصول می باشد.

گزارش شده است که مدل ارگان در مقایسه با مدل هوکیل و ایوز نتایج بهتری را نشان داده است و نتایج هر دوی این مدل‌ها بهتر از مدل شد بوده است (گینر و دینسینیا، ۱۹۹۶؛ مادمبا و همکاران، ۱۹۹۴؛ پترسون و همکاران، ۱۹۷۱؛ امانلو و زمردیان، ۱۳۸۸).

به طور کلی اهداف این پژوهش در موارد زیر خلاصه می‌شود (کلیه اندازه گیری‌ها در سه سطح رطوبت ۷۶/۲۳، ۴۵ و ۱۵ درصد بر پایه خشک انجام گرفته است):

- ۱) اندازه‌گیری ابعاد، میانگین هندسی اقطار، کرویت، تخلخل و جرم حجمی دانه‌ای انگور،
- ۲) اندازه گیری افت فشار هوا در ۶ نرخ عبور جریان هوا در بستر انگور در حالت لایه نازک،
- ۳) برازش مدل های متداول تبیین افت فشار انگور و انتخاب مناسب ترین مدل.

مواد و روش‌ها

به منظور اندازه گیری جرم حجمی توده ای^۸، ابعاد و کرویت ۵۰ عدد دانه انگور بطور تصادفی انتخاب گردید پس از شماره گذاری انجیرها در هر یک از سه سطح رطوبت ۱۵، ۵۰ و ۷۴ درصد؛ سه بعد اصلی طول (L)، عرض (W) و ارتفاع (H) با کولیسی به دقت $\pm 0/05$ میلی متر اندازه گیری شد. کولیسی مورد استفاده محصول Mitutoyo ژاپن بود. میانگین هندسی قطرهای^۹ (GMD) و کرویت^{۱۰} (Φ) از معادله‌های زیر محاسبه می‌شوند (Mohsenin, 1996):

$$GMD = (LWH)^{1/3} \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{(LWH)^{1/3}}{L} \times 100 \quad (5)$$

7 - Ergun

8 - Bulk density

9 - Geometric mean diameter

10 - Sphericity



برای اندازه‌گیری تخلخل جرم حجمی توده‌ای (ρ_b) و جرم حجمی دانه‌ای (ρ_t) در هر کدام از سطوح رطوبتی ضروری می‌نماید. جرم حجمی دانه‌ای عبارت است از جرم در واحد حجم تک دانه انگور که با روش جابجایی مایع انجام شد. در این تحقیق بجای آب از تلون (C_7H_8) استفاده شد، زیرا کشش سطحی این مایع کمتر از آب است و به راحتی تمام پستی و بلندی‌های سطح را در بر می‌گیرد همچنین حلالیت آن بسیار کم و قابل صرف نظر کردن است (Mohsenin, 1996). جرم حجمی توده‌ای برای بستر آزمایش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از ظرفی با وزن و حجم مشخص استفاده شد. انگورها بدون فشردگی در این ظرف در حالت تصادفی چیده شد. با داشتن مقادیر جرم حجمی توده‌ای و دانه‌ای، تخلخل از فرمول زیر بدست می‌آید (زمردیان، ۱۳۸۷):

$$\varepsilon = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100 \quad (6)$$

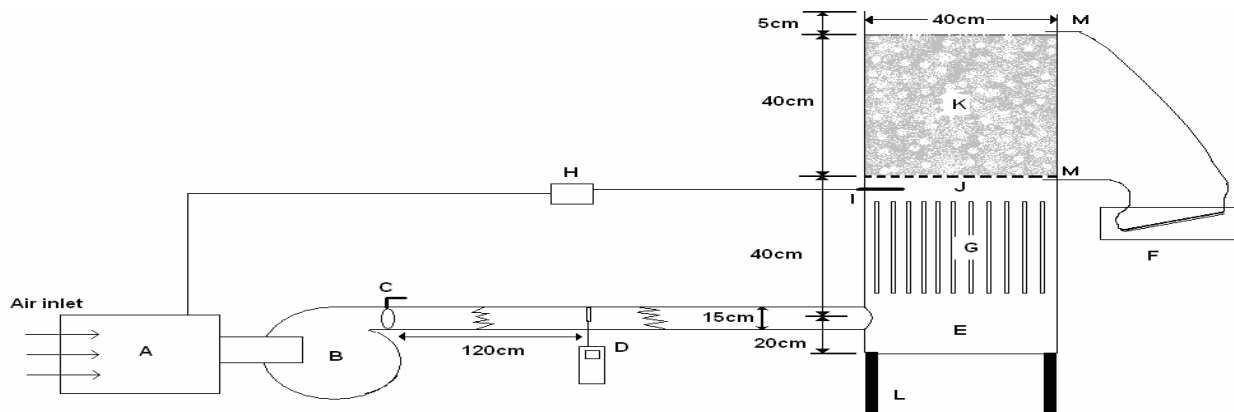
برای اندازه‌گیری افت فشار از دستگاهی مطابق شکل ۱ که در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز موجود بود استفاده گردید.

برای ایجاد ستونی از انگورها در مقابل جریان هوا احتیاج به محفظه‌ای بود. بهترین حالت برای کاهش اثر دیواره‌ای محفظه بر افت فشار استفاده از مقطع دایره‌ای و دهانه گشاد بود. بدین منظور از محفظه موجود در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی استفاده شد. این محفظه از یک شاخه لوله پولیکا به قطر داخلی ۴۰ cm و ضخامت ۵ mm ساخته شده است. لوله ورود هوا به مخزن در ارتفاع ۲۰ cm از کف محفظه وارد آن می‌شد. در داخل مخزن، ۴۰ cm بالاتر از محل اتصال لوله ورود هوا، توری مخصوص نگهداری انگور نصب شد. این توری گالوانیزه با استفاده از یک قاب از جنس خود مخزن بصورت دایره‌ای و کاملاً کشیده و تخت در آمد.

برای اندازه‌گیری افت فشار ناشی از لایه‌های انگور از یک مانومتر استفاده شد. مانومتر ساخت کارخانه Tecequipment از کشور انگلستان بود. برای اندازه‌گیری سرعت هوا از یک دستگاه سرعت سنج هوا با سیم داغ استفاده شد. دستگاه مزبور ساخت کارخانه Lutron از کشور تایوان است. این دستگاه قادر است سرعت هوا را در نقطه مورد نظر با دقت m/s ۰/۱ اندازه‌گیری نماید. بهترین مکان برای قرائت سرعت هوا حد میانه لوله ورودی هوا از فن به مخزن می‌باشد زیرا این مکان بیش از ۶ برابر قطر داخلی لوله از محل اتصالات دور است بنابراین طبق استاندارد ISO5167-1980E در میانه لوله دستگاه اندازه‌گیری سرعت هوا با اغتشاش ناشی از دامپر و محل اتصال لوله ورود هوا به مخزن به اندازه کافی فاصله دارد.



برای قرائت افت فشار در هر نرخ عبور جریان هوای مشخص، ابتدا با کمک دریچه تنظیم دبی و دستگاه سرعت سنج هوا، نرخ جریان هوا تنظیم می‌شد و سپس افت فشار متناظر با نرخ جریان هوای تنظیم شده قرائت می‌گردید. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار اجرا گردید.



شکل ۱: طرحواره دستگاه اندازه‌گیری افت فشار بستر انگور. A: کانال حرارتی، B: فن گریز از مرکز، C: دریچه تنظیم سرعت هوا (دامپر)، D: سرعت سنج هوا، E: محفظه آرامش، F: مانومتر، G: یکنواخت‌کننده سرعت هوا، H: ترموستات، I: حسگر ترموستات، J: توری گالوانیزه، K: مخزن نگهداری توده انگور، L: پایه‌های نگهدارنده و M: لوله‌های قرائت افت فشار.

در مطالعه حاضر سه مدل معروف در افت فشار (شد، هویکل و اویز و ارگان) با استفاده از رگرسیون خطی (MATLAB R2014a) برازش شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سه بعد اصلی، کرویت، میانگین هندسی اقطار و جرم حجمی دانه‌ای در جدول ۱ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش رطوبت از $76/23$ به 45 درصد، ابعاد، میانگین هندسی اقطار و کرویت کاهش می‌یابد اما با کاهش بیشتر رطوبت و رسیدن به رطوبت پایه 15 درصد، به دلیل آن که میوه متورم می‌شود فاکتورهای فوق کمی افزایش می‌یابند. این افزایش ناگهانی کرویت نشان می‌دهد که شکل انگور با رسیدن به رطوبت پایه به کره نزدیک می‌شود. همچنین با کاهش رطوبت جرم حجمی دانه‌ای و جرم حجمی توده‌ای کاهش می‌یابد. اما در رطوبت میانی به دلیل نرم شدن بافت انگور و کاهش مقاومت پوسته در برابر فشردگی، جرم حجمی توده‌ای کمتر کاهش می‌یابد. این اتفاق سبب می‌شود که با کاهش رطوبت به رطوبت میانی، تخلخل کاهش یابد. این کاهش تخلخل نشان می‌دهد که در رطوبت میانی پوسته میوه انگور توانایی تحمل وزن لایه‌های بالاتر را نداشته و فشردگی بیشتری در توده انگور اتفاق می‌افتد. اما با رسیدن به رطوبت پایه به دلیل خشک‌شدن و سفت‌شدن پوسته، دانه‌ها کمتر به هم فشردگی می‌شوند و تخلخل افزایش می‌یابد.



جدول ۱- خواص فیزیکی میوه انگور

تخلخل	جرم حجمی	میانگین	کرویت ϕ	ارتفاع H	عرض W	طول L	رطوبت
%	دانه ای ρ_t kg/m^3	هندسی اقطار GMD mm	%	mm	mm	mm	%
$44/67 \pm 1/2$	۱۳۴۳	۲۲/۳۰	۷۴/۰۱	۳۰/۱۳	۱۹/۰۶	۱۹/۳۰	۷۶%
$42/99 \pm 1/5$	۱۰۳۵	۱۵/۴۴	۵۶/۴۵	۲۷/۳۵	۱۰/۹۰	۱۲/۳۴	۴۵%
$47/42 \pm 1/7$	۷۸۵	۱۶/۶۵	۶۳/۶۲	۲۶/۱۷	۱۳/۱۸	۱۳/۳۸	۱۵%

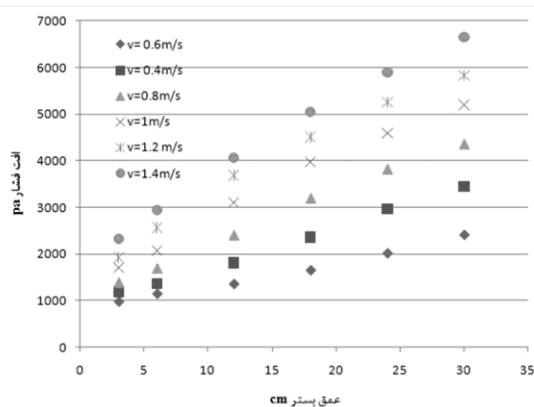
در آزمایش‌های مربوط به افت فشار در بستر انگور، اثر سه سطح رطوبت ۷۶/۲۳، ۴۵ و ۱۵ درصد و ۶ نرخ جریان عبور هوا (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲ و ۱/۴ m/s) اندازه‌گیری گردید. برای بررسی معنی‌دار بودن هر یک از تیمارهای بالا داده‌های به دست آمده در طرح فاکتوریل در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS (version 16.0) تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای محتوای رطوبتی انگورها و نرخ عبور هوا اثر بسیار معنی‌داری بر روی افت فشار دارد. نتایج مربوط به آزمایش‌های رطوبت نشان دادند که با کاهش رطوبت به حالت میانی به دلیل افزایش فشردگی دانه‌ها در اثر وزن لایه‌های بالایی و همچنین ناتوانی پوسته و بافت میوه در برابر تحمل این وزن، تخلخل نسبت به رطوبت حالت تازه کاهش می‌یابد. بنابراین در رطوبت میانی عبور هوا از میان توده انگور مشکل‌تر صورت می‌گیرد. اما با رسیدن به رطوبت پایه به دلیل کاهش جرم حجمی توده‌ای تخلخل کاهش افزایش یافته و عبور هوا از میان توده انگور راحت‌تر می‌شود (شکل ۲). این نتایج بر خلاف نتایج به دست آمده برای محصولات مختلف کشاورزی است که دلیل عمده آن بافت نرم و غیر مقاوم انگور در رطوبت میانی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عمق بستر در یک نرخ ثابت جریان هوا، افت فشار به صورت خطی افزایش می‌یابد (شکل ۳).



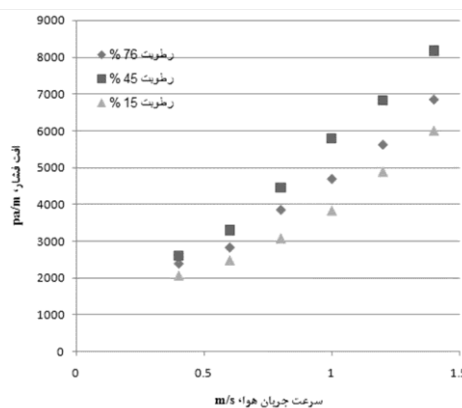
جدول ۲- تجزیه واریانی تیمارهای نرخ جریان هوا و محتوای رطوبتی

مقدار F	جمع مربعات	درجه آزادی	متغیرها
**۷۰۳/۶۳	۱۵۷۷۵۱۲۴۷۷/۲۵	۵	نرخ جریان هوا (A)
**۳۳۰/۲۶	۲۳۲۶۲۳۲۰/۴۱	۲	محتوای رطوبتی (B)
**۳۲/۶۵	۴۴۵۱۰۸/۲۵	۱۰	A×B
	۷۳۶۰/۵	۵۴	خطا

** معنی داری در سطح ۱٪



شکل ۳- اثر ارتفاع بستر انگور بر افت فشار



شکل ۲- اثر رطوبت بر افت فشار بستر انگور در دمای ثابت ۴۰ درجه سانتی‌گراد

برای انتخاب بهترین مدل ریاضی برای تخمین افت فشار در بستر انگور سه مدل معروف شد، هوکیل و ایوز و ارگان مورد مطالعه قرار گرفت. ضرایب به دست آمده از هر یک از مدل‌ها در سه سطح رطوبتی در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود برای هر سه سطح رطوبت بهترین مدل که دارای بیشترین R^2 و کمترین $RMSE^{13}$ و P^{14} می‌باشد مدل ارگان است.

12 - coefficient of Determination

13 - Root Mean Square Error

14 - Mean relative deviation modulus



جدول ۳- مدل‌های برازش شده برای افت فشار در بستر انگور در سه سطح رطوبت

مدل	رطوبت %	A_1	B_1	R^2	RMSE	P%
شد	۷۶/۲۳	۱۲۴۰/۳۲	۲/۲۶	۰/۹۸۲	۴۱/۴۰	۹/۵۵
	۴۵	۱۱۹۸/۰۲	۲/۳۲	۰/۹۸۸	۲۲/۱۹	۷/۱۶
	۱۵	۱۱۰۲/۴۱	۲/۴۵	۰/۹۹۰	۳۹/۵۹	۸/۳۵
		A_2	B_2			
هویکل و ایوز	۷۶/۲۳	۳۰۰۱/۰۸	۱۰/۰۲	۰/۹۸۵	۴۰/۷۱	۸/۹۱
	۴۵	۳۹۸۴/۱۲	۲۳/۱۶	۰/۹۹۰	۲۱/۸۷	۶/۵۰
	۱۵	۴۳۰۲/۵۱	۴۲/۰۵	۰/۹۹۱	۳۷/۱۹	۷/۹۲
		A_3	B_3			
ارگان	۷۶/۲۳	۶۰۲/۳۱	۷۱۳/۷۶	۰/۹۹۱	۴۰/۰۲	۸/۹۱
	۴۵	۳۷۷/۱۹	۷۹۵/۶۲	۰/۹۹۲	۲۱/۲۶	۶/۰۳
	۱۵	۲۹۷/۷۱	۸۵۰/۹۲	۰/۹۹۲	۳۶/۵۸	۷/۲۵

نتیجه‌گیری

میوه انگور با توجه به پوسته نرمی که دارد و همچنین قند زیاد آن، با از دست دادن تدریجی رطوبت ابتدا چروکیده شده و دانه‌ها به هم می‌چسبند. این موضوع سبب افزایش فشردگی و کاهش تخلخل می‌گردد. اما با از دست دادن کامل رطوبت پوسته مجدداً خشک شده و متورم می‌گردد. در این حالت دانه‌ها از هم فاصله می‌گیرند و تخلخل افزایش می‌یابد.

منابع و مأخذ

1. Agullo, J. & Marenia, M. 2005. Airflow resistance of parchment Arabica coffee. Biosystems Engineering. Vol 91(2), 149-156.
2. Al-yaha, A. & Moghazi, H. 1998, Static pressure drop through barley grain. Canadian Agricultural Engineering. Vol 40(2), 213-217.
3. Amanlou, Y. & Zomorodian, A. 2011. Evaluation of air flow resistance across a green fig bed for selecting an appropriate pressure drop prediction equation. Food and Bioproducts Processing. Vol 89, 157-162.
4. Ergun, S. 1952. Fluid flow through packed columns. Chemical Engineering Progress. Vol 48, 89-94.
5. Giner, S. & Denisenia, E. 1996. Pressure drop through wheat as affected by air velocity, moisture content and fines. Journal Of Agricultural Engineering Research. Vol 63, 73-86.
6. Hukill, W. & Ives, N. 1955. Radial airflow resistance of grains. Agricultural Engineering. Vol 35 (5), 332-335.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



7. Kashaninejad, M. & Tabil, L. 2009. Resistance of bulk pistachio nuts to airflow. Journal of Food Engineering. Vol 90, 104-109.
8. Madamba, P. & Driscoll, R. 1994. Bulk density, porosity and resistance to airflow of garlic slices. Drying Technology. Vol 12(4), 937-954.
9. Sacilik, K. 2004. Resistance of bulk poppy seeds to airflow. Biosystems Engineering. Vol 89(4), 435-443.
10. Shedd, C. 1953. Resistance of grains and seeds to airflow. Agricultural Engineering. Vol 34 (9), 616-619.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



The effect of moisture on the physical properties and pressure loss in the bed of grapes

Abstract

In this study the physical properties of grapes fruit at different moisture contents were measured. Pressure drop across a bed of grapes fruit was also evaluated. The moisture content and air flow ranges used in this study were 15-76.23% (db) and 0.4-1.4 ($m^3 s^{-1} m^{-2}$), respectively. To measure resistance to air flow an appropriate test rig was designed and fabricated. A thick bed of 5 depths of random filling of grapes bed were envisaged (6, 12, 18, 24 & 30cm). Principle dimensions, geometric mean diameter, sphericity and bulk density decreased when moisture content decreased from 76.23 to 15% but increased in middle moisture content.

Keywords: Grapes, Pressure drop, Physical properties, Mathematical model.