

## اثر تغییرات رطوبت بر خواص فیزیکی و افت فشار در بستر انجیر سبز استهبان

یاسمن امانلو<sup>۱</sup> و علی زمردیان<sup>۲\*</sup><sup>۱</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و <sup>۲</sup> دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۴/۲۲)

## چکیده

انجیر سبز استهبان یکی از مهمترین اقلام صادراتی غیرنفتی ایران می‌باشد که مصرف آن به صورت خشک متداول است. خشک کردن، درجه‌بندی و انبارداری از مهمترین مراحل پس از برداشت انجیر است که برای انجام مراحل فوق آگاهی از خواص فیزیکی این محصول ضروری است. اثر رطوبت بر روی ابعاد، کرویت، میانگین هندسی اقطار و جرم‌حجمی دانه‌های در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین جرم حجمی توده‌ای و تخلخل در چهار چیدمان مختلف ارزیابی شد. افت فشار در بستر انجیر در ۱۱ نرخ عبور جریان هوا مورد مطالعه قرار گرفت. کلیه اندازه‌گیری‌های ذکر شده در سه سطح رطوبتی ۵/۷۴، ۲۰/۴۰ و ۳۴/۰۸ درصد بر پایه خشک، انجام شد. نتایج نشان دادند که کلیه پارامترهای ذکر شده به استثنای تخلخل و جرم‌حجمی دانه‌ای با افزایش رطوبت افزایش یافته‌اند در حالی که دو خاصیت ذکر شده در رطوبت‌های بالاتر مقادیر کمتری را نشان می‌دهند. همچنین مشاهده شده است که در یک نرخ عبور جریان هوای داده شده، افزایش رطوبت موجب افزایش افت فشار در توده انجیر می‌گردد. برای پیش بینی افت فشار در بین مدل‌های ریاضی ارزیابی شده، مدل ارگان به عنوان بهترین مدل (با بیشترین  $R^2$  و کمترین  $RMSE$  و  $P\%$ ) برای تبیین رابطه نرخ عبور جریان هوا و افت فشار در بستر انجیر انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: انجیر سبز استهبان، افت فشار، مدل ریاضی، خواص فیزیکی.

## مقدمه

به سزایی دارد. بنابراین آگاهی از خواص فیزیکی انجیر و اثر رطوبت بر روی آنها می‌تواند در طراحی ادوات مختلف فرآوری محصول مفید واقع گردد.

Agullo & Marenja (2005) با آزمایش بر روی دانه‌های قهوه و استفاده از مدل‌های شد<sup>۳</sup>، هوکیل و ایوز<sup>۴</sup> و یک مدل تجربی برای بیان رابطه بین سرعت هوا و افت فشار ارائه و خاطر نشان کردند که این رابطه تحت اثر محتوای رطوبتی و چگالی ظاهری بستر است.

در پژوهش‌های مشابه بروی بذر خشخاش و پسته اوحدی مشخص شد که افزایش رطوبت موجب افزایش قطر میانگین معادل و افت فشار می‌شود (Sacilik, 2004; Kashaninejad & Tabil, 2009).

مطالعه خواص فیزیکی انجیر سبز استهبان نشان داد جرم واحد و حجم حقیقی در انجیر دهان باز و دانسیته توده، دانسیته دانه‌ای و تخلخل در انجیر دهان بسته بیشتر بود (Razavi et al., 2008).

مدل‌های بسیاری برای تبیین رابطه سرعت هوا و افت فشار وجود دارد. از این میان قدیمی‌ترین و مشهورترین مدل مربوط

انجیر با نام علمی *Ficus carica* L. از تیره توت‌سانان (Moraceae) و زیر جنس *Eusyce* است. بیشترین سطح زیر کشت انجیر در نواحی حوزه مدیترانه، دریای سرخ و حاشیه خلیج فارس می‌باشد (Faghihi & Sabet-sarvestani, 2002). در سال ۲۰۰۶ مقدار کل تولید انجیر تازه دنیا ۱۱۰۵۴۷۹ تن گزارش شد که سهم ایران از این مقدار ۸۷۵۲۲ تن بوده است (FAO, 2006). ابعاد مشخصه، جرم‌حجمی توده‌ای<sup>۱</sup>، جرم‌حجمی دانه‌ای<sup>۲</sup>، کرویت<sup>۳</sup>، میانگین هندسی اقطار<sup>۴</sup>، تخلخل<sup>۵</sup> و افت فشار<sup>۶</sup> از مهمترین خواصی هستند که در طراحی مکانیزم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

عموماً این میوه در رطوبت حدود ۳۰ درصد برداشت می‌شود. برای حفظ کیفیت و کمیت این محصول در انبار لازم است رطوبت محصول به حدود ۵ تا ۷ درصد کاهش یابد. تغییرات محتوای رطوبت انجیر بر روی خواص فیزیکی آن تأثیر

\* نویسنده مسئول: Zomorod@shiraz.ac.ir

1. Bulk density
2. Kernel density
3. Sphericity
4. Geometric mean diameter, GMD
5. Porosity
6. Pressure drop

افت فشار در بستر انجیر در ۱۱ نرخ عبور جریان هوا در بستر انجیر، (۴) انتخاب مدل ریاضی مناسب از بین مدل‌های موجود برای پیش‌بینی رابطه افت فشار در بستر انجیر و نرخ عبور جریان هوا.

### مواد و روش‌ها

انجیر سبز استهبان که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت محصول خرمی سال ۱۳۸۶ بود. رطوبت اولیه انجیر ۵/۷۴ درصد بر پایه خشک بود. رطوبت محصول بر اساس استاندارد S353(ASABE) اندازه‌گیری شد. مواد خارجی شامل سنگ ریزه، شاخه و برگ و خاک که با محصول مخلوط شده بود قبل از انجام آزمایش به طور کامل زدوده شدند. برای دستیابی به سطوح مختلف رطوبت در انجیرهای مورد آزمایش، مقدار رطوبت مورد نیاز برای رسیدن انجیرها به یک درصد رطوبت خاص محاسبه شد. رطوبت محاسبه شده به صورت آب مقطر با استفاده از یک افشانه به طور یکنواخت به انجیرها اضافه گردید. پس از اضافه کردن رطوبت، انجیرها را درون کیسه‌های پلی‌اتیلنی ریخته، درب کیسه‌ها با دقت بسته شد تا تبادل رطوبت با محیط خارج نداشته باشند. برای اطمینان از جذب کامل رطوبت به درون انجیرها، کیسه‌ها به مدت ۱۰ روز درون یخچال با دمای +۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای اجرای آزمایش‌ها ۶ ساعت قبل از شروع آزمایش، کیسه‌ها از یخچال خارج می‌شد تا دمای آنها با دمای محیط به تعادل برسد.

به منظور اندازه‌گیری ابعاد، جرم حجمی دانه‌ای و کرویت ۵۰ عدد دانه انجیر به طور تصادفی انتخاب گردید. پس از شماره‌گذاری انجیرها در هر یک از سه سطح رطوبت ۵/۷۴، ۲۰/۴۰ و ۳۴/۰۸ درصد؛ سه بعد اصلی، طول ( $L$ )، عرض ( $W$ ) و ارتفاع ( $H$ ) با کولیس با دقت  $\pm 0.05$  میلی متر اندازه‌گیری شد. کولیس مورد استفاده محصول Mitutoyo ژاپن بود. میانگین هندسی اقطار ( $GMD$ ) و کرویت ( $\phi$ ) از معادله‌های زیر محاسبه می‌شوند (Mohsenin, 1996):

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

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

برای اندازه‌گیری تخلخل، اندازه‌گیری جرم حجمی توده‌ای ( $\rho_b$ ) و جرم حجمی دانه‌ای ( $\rho_p$ ) در هر کدام از سطوح رطوبتی ضروری است. جرم حجمی دانه‌ای عبارت است از جرم در واحد حجم تک دانه‌ی انجیر که با روش جابه‌جایی مایع انجام شد. برای اندازه‌گیری جرم حجمی دانه‌ای از تلون ( $C_7H_8$ ) به

به شد است. شد مدل خود را به صورت زیر ارائه کرد (Shedd, 1951 & 1953):

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

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

استفاده از مدل شد به دامنه باریکی از نرخ جریان هوا ( $m^3 s^{-1} m^{-2}$ ) محدود می‌شود. ضرایب ثابت مدل ( $A_1$  و  $B_1$ ) در یک بستر مشخص به محتوای رطوبتی و جرم حجمی ظاهری آن بستگی دارد. محققان بسیاری از مدل شد برای پیش‌بینی افت فشار در محصولات همچون پسته، عدس و لوبیا استفاده کردند (Kashaninejad & Tabil 2009; Sokhansanj et al., 1990; Jekayinfa, 2006).

Hukill & Ives در سال ۱۹۵۵ مدل خود را برای اصلاح مدل شد ارائه کردند (Pabis et al., 1998):

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

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

سومین مدل متداول مدل تجربی ارگان (Ergun) است. ارگان برای مطالعه نسبت افت فشار به نرخ جریان هوا از اصول دینامیک سیالات کمک گرفته است (Ergun, 1952). مدل ارگان به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

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

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

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 (Giner & Denisienia, 1996; Madamba et al., 1994; Petterson et al., 1971).

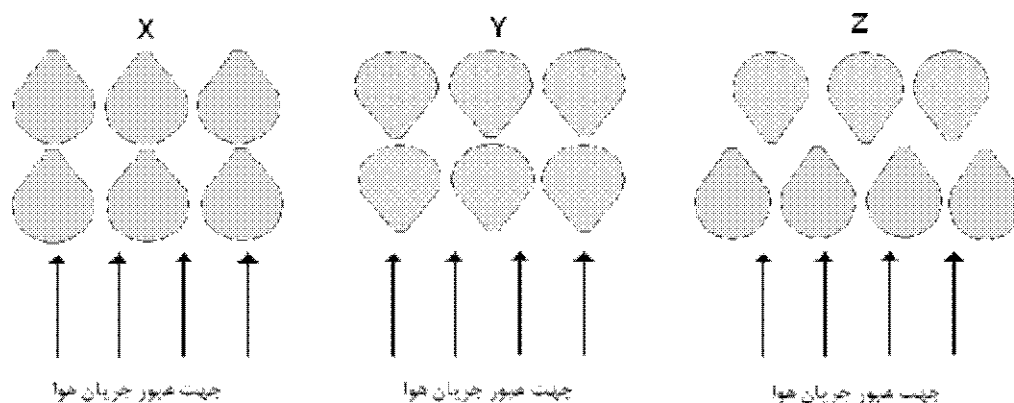
به صورت کلی اهداف این پژوهش در موارد زیر خلاصه می‌شود (کلیه اندازه‌گیری‌ها در سه سطح رطوبت ۵/۷۴، ۲۰/۴۰ و ۳۴/۰۸ درصد بر پایه خشک انجام گرفته است):

(۱) اندازه‌گیری ابعاد، کرویت، میانگین هندسی اقطار و جرم-حجمی دانه‌ای میوه انجیر، (۲) اندازه‌گیری جرم حجمی توده‌ای و تخلخل در چهار چیدمان مختلف توده انجیر، (۳) اندازه‌گیری

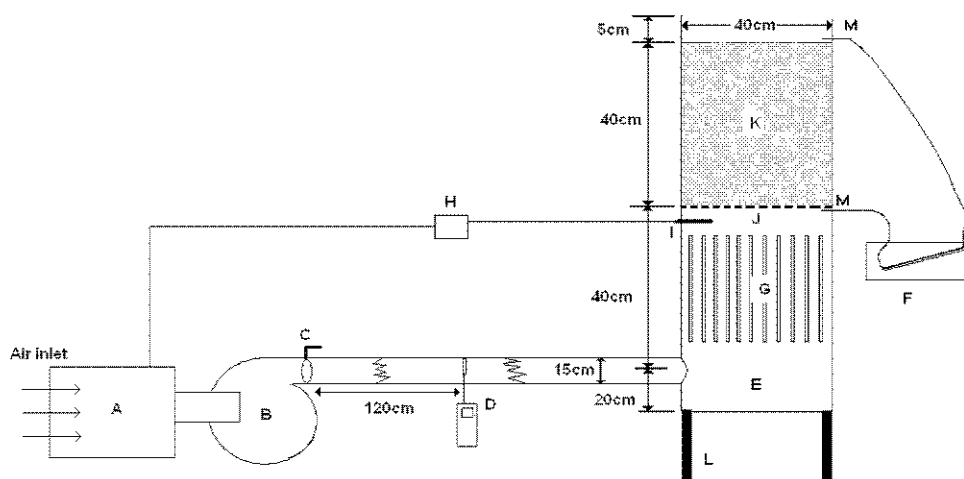
حالت مختلف چیدمان بستر آزمایش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از ظرف استوانه‌ای با وزن و حجم مشخص استفاده شد. انجیرها بدون فشردگی در این ظرف در سه آرایش متفاوت و یک حالت تصادفی ریخته شد و هر آزمایش در سه تکرار انجام گرفت.

از تقسیم جرم انجیر بر حجم مشخص ظرف در هریک از چهار حالت‌های پر شدگی ظرف جرم حجمی مربوط به آن حالت خاص محاسبه شد. با محاسبه مقادیر جرم حجمی توده‌ای و دانه‌ای، تخلخل از فرمول زیر به دست می‌آید (Pabis et al., 1998):

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



شکل ۱- سه چیدمان مختلف انجیر که در آزمایش‌های جرم حجمی توده‌ای و تخلخل بررسی شده است.



شکل ۲- طرحواره دستگاه اندازه‌گیری افت فشار بستر انجیر: A کانال حرارتی، B فن گریز از مرکز، C دامپر (دریچه تنظیم سرعت هوا)، 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 انجیر، L پایه‌های نگهدارنده دستگاه و M لوله‌های قرائت افت فشار.

طراحی و ساخته شد. مخزن نگهداری انجیر دارای مقطع دایره‌ای به قطر ۴۰ سانتی‌متر بود. به منظور نگهداری انجیرها از

عنوان مایع جابه‌جا شونده استفاده گردید زیرا کشش سطحی این مایع کمتر از آب بوده و به راحتی تمام پستی و بلندی‌های سطح را در بر می‌گیرد. همچنین حلالیت تلون بسیار کم و قابل صرف نظر کردن است بنابراین استفاده از تلون برای اندازه‌گیری جرم حجمی دانه‌ای بسیار مناسب‌تر از آب می‌باشد (Mohsenin, 1996).

به دلیل اشکی شکل بودن میوه انجیر می‌توان چیدمان‌های مختلفی برای توده آن در نظر گرفت. با توجه به اینکه کدام وجه انجیر روبه‌روی جریان هوا قرار گیرد، مقاومت متفاوتی در برابر عبور هوا ایجاد می‌شود. چهار چیدمان مختلف ایجاد گردید که سه مورد از آنها در شکل ۱ نشان داده شده است و حالت چهار چیدمان تصادفی می‌باشد. جرم حجمی توده‌ای برای چهار

برای اندازه‌گیری افت فشار دستگاه آزمایشگاهی به صورت شکل ۲ در بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

برای قرائت افت فشار در هر نرخ عبور هوای مشخص، ابتدا با کمک دریچه تنظیم دبی و دستگاه سرعت سنج هوا، نرخ جریان هوا تنظیم می‌شود و سپس افت فشار منتظر با نرخ جریان هوای تنظیم شده قرائت می‌گردید. برای پر کردن مخزن از چیدمان تصادفی استفاده شد زیرا در کاربردهای عملی در خشک کن‌ها و انبارها دانه‌های انجیر به صورت تصادفی در مخازن مربوطه قرار می‌گیرند همچنین پر کردن مخزن تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری با چیدمان مشخص، غیر معقول و بدون کاربرد به نظر می‌رسد. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار اجرا گردید.

در مطالعه حاضر، سه مدل معروف در افت فشار (شد، هوکیل و ایوز و ارگان) به داده‌های حاصل از آزمایش افت فشار با استفاده از رگرسیون غیرخطی (Microsoft Excel, Solver, ) (2003) برازش شده است.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سه بعد اصلی، کرویت، میانگین هندسی اقطار و جرم‌حجمی دانه‌ای در جدول ۱ و جرم‌حجمی توده‌ای و تخلخل در چهار چیدمان مختلف در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی انجیر سبز استهبان (دانه‌ای)

جرم‌حجمی دانه‌ای، ( $\rho_t$ ) kg/m <sup>3</sup>	میانگین هندسی اقطار، mm (GMD)	کرویت، $\phi$ %	ارتفاع، (H) mm	عرض، (W) mm	طول، (L) mm	رطوبت، %
۱۰۶۸	۲۰/۱۴	۹۱/۸۷	۲۰/۶۶	۱۹/۶۷	۲۰/۳۰	۵/۷۴
۹۶۰	۲۰/۷۴	۹۲/۲۰	۲۱/۶۶	۲۰/۰۶	۲۰/۷۲	۲۰/۴۰
۸۸۸	۲۱/۲۰	۹۲/۲۸	۲۲	۲۰/۸۳	۲۰/۹۹	۳۴/۰۸

در داخل توده انجیر شده است. مقدار تخلخل در هر سه سطح رطوبت، در چیدمان Y از سایر چیدمان‌ها بیشتر است که این موضوع هم با توجه به نحوه قرارگیری میوه‌های انجیر در کنار هم قابل توجیه است. با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری خواص فیزیکی انجیر، چیدمان‌های X، Y و Z به ترتیب بیشترین تا کمترین تخلخل با مقادیر ۵۴/۵۹، ۵۰/۹۲ و ۵۰/۳۴ را داشته‌اند.

در آزمایش‌های مربوط به افت فشار در بستر انجیر (با چیدمان تصادفی)، اثر سه سطح رطوبت ۵/۷۴، ۲۰/۴۰ و ۳۴/۰۸ درصد، سه دمای ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس و ۱۱ نرخ جریان عبور هوا (۰/۲۵، ۰/۳۵، ۰/۴۵، ۰/۵۵، ۰/۶۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵، ۰/۹۵ و ۱/۰۵) و  $1/10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{s})$  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 نرم افزار MSTAT-C (version 2.10) تحلیل شد.

یک قطعه توری گالوانیزه استفاده شد که به صورت کشیده در داخل مخزن نصب شده بود. در هنگام آزمایش، مخزن تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر پر می‌گردید. جهت اندازه‌گیری افت فشار ناشی از لایه‌های انجیر از یک مانومتر با دقت  $1 \text{ mmH}_2\text{O}$  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 بوده که این دستگاه قادر است سرعت هوا را در نقطه مورد نظر با دقت  $0.1 \text{ m/s}$  اندازه‌گیری نماید. برای ایجاد نرخ‌های متفاوت هوا در آزمایش‌های افت فشار از یک صفحه دایره‌ای در داخل لوله خروجی فن استفاده شد (شکل ۲-۲). زاویه استقرار این صفحه به وسیله یک دسته که از لوله خروجی بیرون آمده است قابل تنظیم بود. بهترین مکان برای قرائت سرعت هوا حد میانه لوله ورودی هوا از فن به مخزن می‌باشد زیرا این مکان ۸ برابر قطر داخلی لوله از محل اتصالات دور است بنابراین طبق استاندارد ISO 5167-1980E 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.

همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش رطوبت ابعاد، میانگین هندسی اقطار و کرویت افزایش یافته است. دانه‌های انجیر متورم می‌شوند و سه بعد اصلی آنها افزایش می‌یابد که فراخور آن میانگین هندسی اقطار نیز افزایش می‌آید. افزایش کرویت نشان می‌دهد که افزایش رطوبت شکل انجیر به کره نزدیک‌تر می‌شود. افزایش رطوبت موجب افزایش جرم‌حجمی توده‌ای شده است زیرا با جذب رطوبت، جرم میوه در واحد حجم افزایش می‌یابد. بنابراین به طور مثال در چیدمان تصادفی با افزایش رطوبت از ۵/۷۴ به ۳۴/۰۸ جرم‌حجمی توده‌ای از ۵۲۷ به  $567 \text{ kg/m}^3$  افزایش یافته است. همچنین افزایش رطوبت باعث کاهش جرم‌حجمی دانه‌ای و تخلخل گشته است.

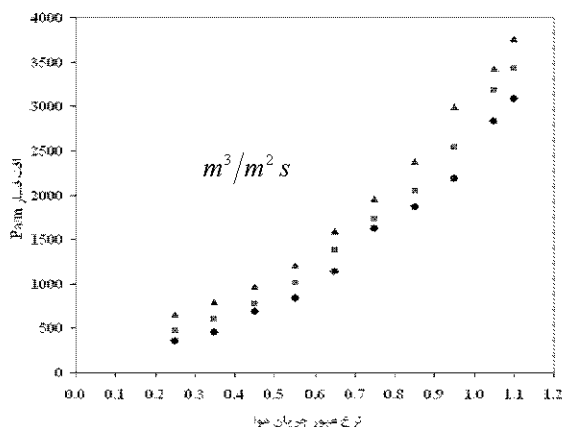
اثر چیدمان‌ها نشان می‌دهد که در یک رطوبت ثابت بیشترین جرم‌حجمی توده‌ای و کمترین تخلخل مربوط به چیدمان Z است. زیرا در چیدمان Z میوه‌های انجیر بسیار نزدیک هم قرار گرفته‌اند که این امر باعث کاهش کانال‌های هوا

جدول ۳ نشانگر نتایج به دست آمده است.

جدول ۲- خواص فیزیکی انجیر سبزاسته‌بان (توده‌ای)

رطوبت %	چیدمان	جرم حجمی توده‌ای $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> )	تخلخل، %
۵/۷۴	X	۵۲۴	۵۰/۹۲
	Y	۴۸۵	۵۴/۵۹
	Z	۵۳۰	۵۰/۳۴
	تصادفی	۵۲۷	۵۰/۶۱
۲۰/۴۰	X	۵۳۱	۴۴/۶۸
	Y	۵۱۷	۵۲/۵۰
	Z	۵۵۲	۳۷/۲۳
	تصادفی	۵۳۹	۴۳/۸۵
۳۴/۰۸	X	۵۵۲	۳۷/۸۳
	Y	۵۳۶	۳۹/۶۳
	Z	۶۲۳	۳۵/۰۷
	تصادفی	۵۶۷	۳۶/۴۸

شدند. ضرایب به دست آمده از هر یک از مدل‌ها در هر یک از سطوح رطوبتی در جدول ۴ نشان داده شده است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود برای هر سه سطح رطوبت بهترین مدل که دارای بیشترین  $R^2$  و کمترین  $RMSE$  و  $P\%$  (Mean relative deviation modulus) است مدل ارگان می‌باشد.



شکل ۳- اثر رطوبت بر روی افت فشار بستر انجیر در دمای ثابت (۳۵ درجه سلسیوس). (●: رطوبت ۵/۷۴ درصد، ■: ۲۰/۴۰ درصد، ▲: ۳۴/۰۸ درصد)

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس تیمارهای نرخ عبور جریان هوا، رطوبت، دما و اثر متقابل آنها در افت فشار

مقدار F	جمع مربعات	درجه آزادی	متغیرها
**۳۶/۳۱۰۳۱	۱۹۸۱۶۹۶۱/۳۳	۱۰	نرخ جریان هوا (A)
**۲۳/۵۰۷۸۳	۲۳۰۶۹۸/۰۱۴	۲	محتوای رطوبتی (B)
۰/۵۰۱۳۹	۴۹۳۰۵/۱۳۸	۲۰	A×B
۰/۱۷۴۷۵	۱۷۱۴/۹۸۷	۲	دما (C)
۰/۰۷۹۹۳	۷۸۴۳/۷۶۶	۲۰	A×C
۰/۰۵۸۱۸	۱۱۴۱/۹۰۷	۴	B×C
۰/۰۰۹۵۸۴	۱۸۸۱۱/۸۹۳	۴۰	A×B×C
	۴۸۵۷۷۹۰/۹۵۲	۹۹	خطا

\*\* سطح معنی‌داری ۱٪

نتایج نشان می‌دهند که تیمارهای نرخ جریان عبور هوا و محتوای رطوبتی انجیرها اثر بسیار معنی‌داری بر روی افت فشار دارد. اما تغییرات دمای هوای ورودی بر روی افت فشار در بستر انجیر معنی‌دار نبوده است. در آزمایش‌های مربوط به رطوبت نتایج نشان دادند که با افزایش رطوبت، افت فشار در توده انجیر افزایش می‌یابد. افزایش رطوبت باعث افزایش جرم حجمی توده‌ای شده و همچنین تخلخل کاهش می‌یابد بنابراین با افزایش رطوبت عبور هوا از میان توده انجیر مشکل‌تر صورت می‌گیرد. همچنین نتایج نشان داد که به ازای هر ۱٪ افزایش محتوای رطوبتی به طور متوسط افت فشار ۷/۲٪ افزایش می‌یابد. نتایج مشابه توسط محققان دیگر برای محصولات مختلف کشاورزی به دست آمده است (Kashaninejad & Tabil, 2009; Sokhansanj et al., 1990; Al-yahya & Moghazi, 1998).

برای انتخاب بهترین مدل ریاضی برای تخمین افت فشار در بستر انجیر سه مدل معروف شد، هوکیل و ایوز و استفاده

9. Coefficient of Determination  
10. Root Mean Square Error

جدول ۴- مدل‌های برازش شده برای افت فشار در بستر انجیر در سه سطح رطوبت

مدل برازش شده	محتوای رطوبت، %	$A_1$	$B_1$	$R^2$	$RMSE$	$P(\%)$
شد	۵/۷۴	۱۰۹۰/۶۹	۱/۷۱	۰/۹۸۵	۴۳/۸۸	۹/۷۵
	۲۰/۴۳	۱۱۳۷/۰۴	۱/۵۹	۰/۹۹۲	۲۶/۵۵	۶/۱۹
	۳۴/۰۸	۱۲۷۴/۱۸	۱/۴۴	۰/۹۸۳	۴۴/۲۳	۷/۷۱
هوکیل و ایوز	۵/۷۴	۳۹۱۳/۷۳	۳۵/۱۵	۰/۹۸۶	۴۳/۷۱	۹/۵۰
	۲۰/۴۳	۳۳۰۲/۳۱	۱۶/۷۸	۰/۹۹۳	۲۴/۸۳	۵/۸۷
	۳۴/۰۸	۲۰۵۷/۳۱	۳/۹۹	۰/۹۸۵	۴۱/۴۶	۷/۲۳
ارگان	۵/۷۴	۲۵۳/۱۹	۸۳۸/۳۳	۰/۹۸۹	۴۳/۳۹	۹/۱۸
	۲۰/۴۳	۳۶۳/۳۶	۷۸۲/۳۷	۰/۹۹۶	۲۴/۸۱	۵/۴۰
	۳۴/۰۸	۵۸۷/۷۲	۶۹۵/۹۲	۰/۹۸۹	۴۰/۴۳	۷/۰۳

## نتیجه‌گیری کلی

انجیر افزایش یافته است. با داده‌های به دست آمده در این تحقیق مشخص شد که معادله ارگان بهترین مدل برای تبیین رابطه نرخ عبور جریان هوا و افت فشار در انجیر سبز استهبان می‌باشد. با توجه به مدل ارگان می‌توان در هر نرخ عبور جریان هوا افت فشار را با دقت بالایی تخمین زد و از این طریق بهترین دمنده را برای سیستم‌های خشک کن یا تهویه انتخاب نمود.

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش رطوبت در انجیر سبز استهبان ابعاد، میانگین هندسی اقطار، کرویت و جرم‌حجمی توده‌ای افزایش پیدا کرده‌اند. همچنین با افزایش رطوبت جرم‌حجمی دانه‌ای و تخلخل کاهش می‌یابند. با افزایش سرعت هوا و رطوبت هوای عبور داده شده افت فشار در بستر

## REFERENCES

- Agullo, J. O. & Marenia, M. O. (2005) Airflow resistance of parchment Arabica coffee. *Biosystems Engineering*, 91 (2), 149-156.
- Al-yahya, S. A. & Moghazi, H. M. (1998) Static pressure drop through barley grain. *Canadian Agricultural Engineering*, 40 (2), 213-217.
- Bern, C. J. & Charitym L. F (1975) Airflow Resistance Characteristics of Corn as Influenced by Bulk Density. *ASAE Paper* No. 75-3510, ASAE: St. Joseph, MI.
- Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. *Chemical Engineering Progress*, 48, 89-94.
- Faghihi, H. & Sabet-sarvestani, J. (2002) Fig, planting, cultivating and harvesting. Rahgosha. (In Farsi)
- Food and Agriculture Organization (2006). Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. from <http://www.FAO.org/statistics.htm>.
- Giner, S.A. & Denisienia, E. (1996) Pressure drop through wheat as affected by air velocity, moisture content and fines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63, 73-86.
- Hukill, W.V. & Ives, N.C. (1955) Radial airflow resistance of grains. *Agricultural Engineering*, 35 (5), 332-335.
- Jekayinfa, S.O. (2006) Effect of Airflow Rate, Moisture Content and Pressure Drop on the Airflow Resistance of Locust Bean Seed. *Agriculture Engineering International. CIGR Ejournal*. Vol. VIII. May. Joseph MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, vol. 54.
- Kashaninejad, M., & Tabil, L. G. (2009) Resistance of bulk pistachio nuts (Ohadi variety) to airflow. *Journal of Food Engineering*, 90, 104-109.
- Madamba, P.S., Driscoll, R. H. & Buckle, K. A. (1994) Bulk density, porosity and resistance to airflow of garlic slices. *Drying Technology*, 12 (4), 937-954.
- Mohsenin, N. N. 1996. Physical properties of plants and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, N.W, New York.
- Pabis, S., Jayas, D. S. & Cenkowski, S. (1998) Grain drying: Theory and practice. John Wiley & Sons.
- Patterson, R.J., Bakker-Arkema, F. W. & Bickert, W. G. (1971) Static pressure-airflow relationships in packed beds of granular materials such as grains II. *Transactions of the ASAE* 14, 172-174. 178, 627-633.
- Razavi, S. M. A., Pour-reza, A., Razavizadegan, S. H. & Hematian, A. (2008) Some physical properties, friction and aerodynamic for dry fig. 5<sup>th</sup> national Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Ferdowsi University (Mashhad). (In Farsi)
- Sacilik, K. (2004) Resistance of bulk poppy seeds to airflow. *Biosystems Engineering*, 89 (4), 435-443.
- Shedd, C. K. (1951) Some new data on resistance of grins to airflow. *Agricultural Engineering*, 32, 493-495.
- Shedd, C. K. (1953) Resistance of grains and seeds to airflow. *Agricultural Engineering*, 34 (9), 616-619.
- Sokhansanj, S. A., Falacinski, A. A., Sosulski, F. W., Jayas, D. S. & Tang, J. (1990) Resistance of bulk lentils to airflow. *Transactions of the ASAE* 33 (4), 1281-1285.