



تاثیر روش‌های مختلف آماده سازی بر فرایند خشک شدن آلبالو

حمید رضا گازر^{۱*} هومن شریف نسب^۲ امیدرضا روستاپور^۳

۱- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، hgazor@yahoo.com

۲- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۳- استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی استان فارس

چکیده

در این تحقیق برای خشک شدن آلبالو، تأثیر آماده‌سازی اولیه محصول در چهار سطح (فروری در آب جوش، فرو بری در محلول ۲۰ درصد آب نمک در حال جوش، فرو بری در محلول ۲ درصد اتیل اولئات و تیمار بدون آماده سازی بعنوان شاهد) و تغییرات دمای خشک‌کن در سه سطح (۵۰، ۶۰ و ۷۰°C) بر زمان خشک شدن آلبالو به صورت تک لایه بررسی گردید. برای بررسی سینتیک خشک شدن تیمارها، از مدل‌های رایج در خشک کردن محصولات کشاورزی شامل: مدل‌های نیوتن، پیچ، هندرسون- پابیس، تقریبی پخش، لگاریتمی، میدیلی و همکاران و مدل دوجمله‌ای استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش دمای خشک‌کن موجب کاهش معنی دار زمان خشک شدن آلبالوها در تمامی تیمارهای آزمایش گردید. افزایش دما از ۵۰ به ۷۰°C موجب کاهش بیش از ۸۰ درصد زمان خشک شدن آلبالو در تیمار شاهد می‌شود. علاوه بر آن کاربرد پیش تیمارها در کاهش زمان خشک شدن آلبالو بسیار موثر می‌باشد. در بین روش‌های آماده سازی کاربرد آبجوش و نمک بهتر از بقیه بود و در دمای ۵۰°C زمان خشک شدن آلبالو را حدود ۸۳ درصد نسبت به تیمار شاهد مدل میدیلی و همکاران (MDM) بهترین برآزش را با داده‌های تیمارهای مختلف داشت. استفاده از پیش تیمارها برای خشک کردن آلبالو موجب کاهش قابل توجه انرژی فعال سازی شده و آن را حدود ۶۵ درصد کاهش می‌دهد و تا بیش از ۴ برابر مصرف انرژی را کم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آلبالو، خشک کردن، انرژی، خشکیار، مدل سازی

مقدمه

آلبالو از جمله میوه‌های مهم مناطق معتدله است. بیشترین مصرف آن در صنایع تبدیلی می‌باشد. آلبالو به فرم‌های مختلف تازه، یخ زده، کنسرو شده، آب میوه، شور و خشک مصرف می‌شود و به دلیل دشواری نگهداری محصول تازه، مصرف تازه خوری و تبدیل آن به محصولات جانبی سهم بیشتری از مصرف این محصول را به خود اختصاص داده است (عین افشار، ۱۳۸۸). یکی از



رایجترین موارد استفاده این محصول در ایران، تولید آلبالوی خشک است که فرآیند تولید آن نیاز به بررسی دقیق و انجام تحقیقات بنیادی دارد تا به واسطه آن برای طراحی خشک کن ها و بهینه سازی فرایند خشک کردن آلبالو پارامترهای مناسب بدست آید (زمردی، ۱۳۸۶). آلبالو منبع خوبی از آنتوسیانین‌ها است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی نیز دارد. فرایند خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها باید سریع و در دمای نسبتاً پایین باشد تا مصرف انرژی و همچنین تجزیه حرارتی ترکیبات تغذیه‌ای آنها به حداقل برسد. آلبالو دارای رطوبت اولیه حدود ۸۰ درصد بر پایه تر می باشد (Tarhan et al., 2006). مطابق استاندارد ملی شماره ۲۳۴۱ آلبالوی خشک، میوه رسیده و سالم گونه *L. Prunus cerasus* است که به دو روش آفتابی یا صنعتی، خشک می‌شود. برای خشک کردن، میوه‌ها باید درسته، هسته‌دار، سالم و تمیز باشند و میزان رطوبت آلبالوی خشک از هر درجه نباید از ۲۵ درصد وزنی بیشتر باشد (بی‌نام، ۱۳۸۶). در تحقیق دویماز اثر غوطه‌وری در محلول قلیایی اتیل اولئات بر زمان خشک کردن آلبالو در روش خشک کردن تک لایه در دو دمای ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و در سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه بررسی شد. زمان خشک کردن نمونه‌های تیمار شده ۳۰-۲۶ درصد کوتاهتر از نمونه‌های تیمار نشده بود (Doymaz, 2007). ترهان و همکاران تأثیر اعمال همزمان پیش تیمارهای حرارتی و غوطه‌وری در محلول‌های مختلف را بر کاهش زمان خشک کردن آلبالو بررسی کردند. آلبالوها داخل سبدهای معمولی در یکی از هشت تیمار ترکیبی غوطه‌وری در محلول‌های شیمیایی (۲ درصد اتیل اولئات، ۲ درصد کربنات پتاسیم، ۱ درصد اسید سیتریک، و آب) و دمای غوطه‌وری (۲۳ و ۶۰°C) به مدت یک دقیقه به منظور تسریع خروج رطوبت از پوست با شکستن پوشش مومی سطح آلبالو غوطه‌ور شدند. نمونه‌های آلبالوی تیمار شده، با سه روش مختلف خشک کردن (خشک کنه‌های گرم، خشک کن خورشیدی، خشک کردن در فضای باز خشک شدند) (Tarhan et al., 2006). آلبالوهای تیمار شده با محلول ۲ درصد اتیل اولئات در دمای اتاق (۲۳°C) زودتر از سایر تیمارها خشک شدند. تحقیقات گذشته نشان داد که کاربرد مایکروویو و خلأ و یسرعت خشک شدن آلبالو اثر مهمی دارد و با افزایش توان کاهش فشار

محفظه، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همچنین، مقایسه مدل‌های مختلف نشان داد که مدل میدلی و همکاران می‌تواند مناسبترین مدل برای تخمین سینتیک خشک شدن آلبالو باشد (قادری و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیق متولی و همکاران ضریب انتشار رطوبت ویژه آلبالو در فرایند خشک کردن با مایکروویو-خلأ در حدود 10^{-9} تا $3/21 \times 10^{-9}$ تغییر کرد. در تحقیق ایشان میزان انرژی فعال سازی بدست آمده در خشک کن مایکروویو-خلأ برای خشک کردن آلبالو بین ۲۲/۲۳ تا ۲۳/۹۱ W/g (بدست آمد) متولی و همکاران، (۱۳۸۹). تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر اعمال برخی پیش تیمارهای رایج و دماهای مختلف بر سینتیک خشک کردن، زمان و تحلیل انرژی لازم برای خشک کردن آلبالو، انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش تکمیل کننده تحقیقات پیشین بوده و در راستای کمک به صنعت خشکبار کشور انجام شد.



مواد و روشها

آلبالوی مورد استفاده در تحقیق از محصول برداشت شده از باغات منطقه کرج انتخاب شد. رطوبت اولیه نمونه های آزمایش به وسیله آون در دمای 105°C به مدت ۷ تا ۱۰ ساعت اندازه گیری شد (قادری و همکاران، ۱۳۹۰). میزان رطوبت اولیه حدود ۲۷۰ تا ۳۵۰ درصد بر پایه خشک (73 تا 78 درصد بر پایه تر) بدست آمد. به منظور بررسی تاثیرات پیش تیمارهای اولیه در دماهای رایج خشک کردن آلبالو عملیات خشک کردن در محدوده 50°C تا 70°C انجام شد. با استفاده از یک خشک کن آزمایشگاهی دقیق سه واحدی سینی دار قابل اتصال به کامپیوتر (شکل ۱)، تأثیر دمای خشک کردن در سه سطح 50 ، 60 و 70°C بر زمان خشک شدن نهایی تیمارهای مشروحه ذیل تا سطح رطوبت ۲۰ درصد بر پایه خشک (Tarhan et al., 2006) به صورت تک لایه انجام شد:

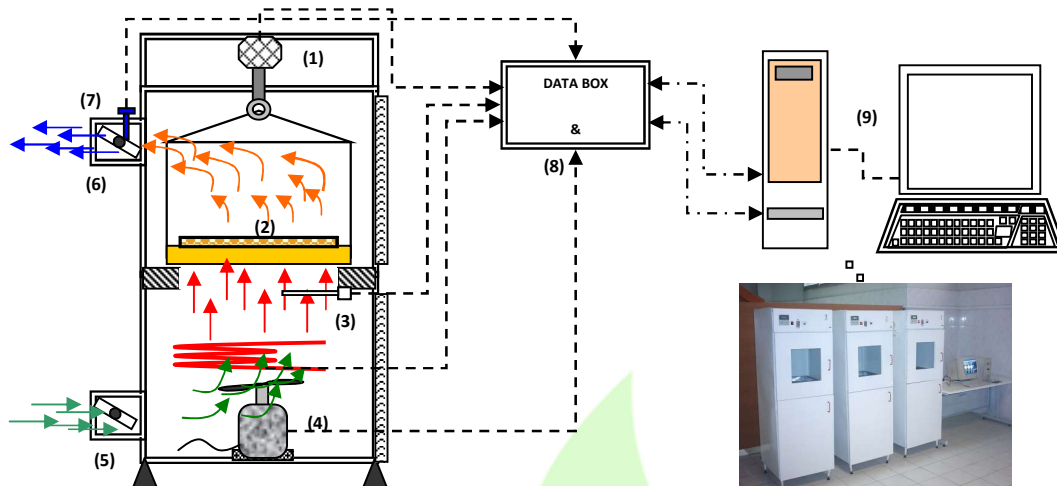
۱- آلبالوی تازه بدون آماده سازی (تیمار شاهد)

۲- فروری آلبالوی تازه در محلول ۲ درصد اتیل اولئات (روش متداول آماده سازی در ترکیه) در دمای 25°C به مدت یک دقیقه

۳- فروری آلبالوی تازه در آب جوش به مدت یک دقیقه

۴- فروری آلبالوی تازه در محلول ۲۰ درصد نمک طعام در دمای جوش به مدت یک دقیقه

برای مقایسه اثرات پیش تیمارهای اعمال شده از طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار استفاده شد. برای هر تیمار آزمایشی حدود ۱۵۰۰ گرم آلبالوی تازه در نظر گرفته شد. پیش تیمارهای انتخابی بر مبنای روش های متداول صنعتی برای سایر محصولات، استانداردهای جهانی و ملی موجود در زمینه افزودنی های مجاز در صنایع غذایی و همچنین مقالات علمی موجود در این زمینه انتخاب شدند. (Humphrey et al., 2006; Esmaili et al., 2007; Doymaz, 2007; Tarhan et al., 2006). به منظور جلوگیری از خرابی نمونه ها قبل از خشک کردن، آلبالوهای تازه در محدوده دمایی 4°C در یخچال نگهداری شد. پس از جداسازی دم و برگ و مواد زائد از محصول اصلی آلبالوها با آب تازه شست و شوی داده شده و برای اعمال پیش تیمارهای مورد نظریا آبکش های پلاستیکی به مدت ۱۰ دقیقه آبگیری شدند. سپس آماده سازی برای هر تیمار انجام و آلبالوهای تیمار شده به وسیله خشک کن در دماهای مورد نظر خشک شدند. در خشک کن مورد استفاده در تحقیق تغییرات دمای ورودی که به وسیله دما سنج دیجیتال آتین مدل AT400-K با دقت 1°C تنظیم و ثبت می گردید. همچنین تغییرات وزن با دقت ۱ گرم و دمای خروجی با دقت 1°C بصورت خودکار توسط سیستم جمع آوری داده ها از بازه های زمانی ۱۵ دقیقه ای از خشک کن به کامپیوتر منتقل می گردید. با استفاده از یک باد سنج سیم داغ ساخت شرکت TESTO آلمان، سرعت جابجایی هوای گرم در خروجی هوای خشک کن ها اندازه گیری و تنظیمات لازم به وسیله کاهنده دور فن اعمال شد. مقدار اندازه گیری شده سرعت هوا ۱ متر بر ثانیه بود.



(۱) لود سل، (۲) سینی حاوی نمونه، (۳) حسگر هوای ورودی به محصول، (۴) موتور DC، (۵) دریچه هوای ورودی، (۶) دریچه هوای خروجی، (۷) حسگر دمای هوای خروجی، (۸) کارت اخذ اطلاعات و کنترل کننده (۹) کامپیوتر

شکل ۱- شماتیک خشک کن مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق علاوه بر دستیابی به منحنی‌های تغییرات رطوبت، سینتیک خشک شدن و مدلسازی مربوطه برای آلبالو در دماهای مختلف خشک شدن، مدت زمان لازم برای رسیدن به رطوبت مجاز و مورد نظر (محدوده ۱۶ تا ۱۸ درصد بر پایه خشک) بررسی شد (Doymaz, 2007; Tarhan et al., 2006).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

استفاده شد که در این رابطه:

MR = نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t = رطوبت در لحظه t (kg/kg, d.b)، M_e = رطوبت تعادلی (kg/kg, d.b) و M_o = رطوبت اولیه (kg/kg, d.b) می باشد (Akpınar et al., 2003; Doymaz, 2007).

بدلیل تغییرات موجود در رطوبت نسبی هوای داخل خشک کن مشابه با تحقیقات دیگر از مقدار M_e در رابطه نسبت رطوبت صرف

نظر می شود و معادله بصورت $MR = \frac{M_t}{M_o}$ در نظر گرفته می شود (Doymaz, 2007; Goyal et al., 2007). به منظور مدل

سازی نسبت رطوبت (MR) آلبالو در فرایند خشک شدن بصورت تک لایه از مدل های شناخته شده که کاربرد زیادی در خشک

کردن محصولات مختلف کشاورزی دارند به شرح جدول ۱ استفاده شد (Midili et al., 2002; Akpınar et al., 2003; Akpınar and Bicer, 2006; Doymaz, 2007).

مدلهای رگرسیونی تغییرات نسبت رطوبت در طی فرایند خشک شدن، براساس

متغیر مستقل زمان حل و از سه معیار ضریب تعیین (R^2)، مربع کای یا Chi-square (χ^2) و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها

یا (Root Mean Square Error (RMSE) به شرح زیر برای سنجش بهترین مدل استفاده شد. (Akpınar and Bicer, 2006; Doymaz, 2007).



جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده در خشک شدن لایه نازک آلبالو

نام مدل	معادله #
Newton (NM)	$MR = \exp(-k)$
Page (PM)	$MR = \exp(-k^n)$
Henderson and Pabis (HPM)	$MR = a \exp(-kt)$
Two term exponential (TEM)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
Approximate Diffusion (ADM)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
Logarithmic (LM)	$MR = a \exp(-kt) + b$
Midili et al. (MDM)	$MR = a \exp(-kt^n) + b$

MR#: نسبت رطوبت؛ زمان a, b, n, k و ثابت‌های مدل‌ها می‌باشند.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

در معادلات بالا، $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت آلبالو مشاهده شده در i امین اندازه‌گیری، $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت آلبالو پیش‌بینی شده از مدل در i امین اندازه‌گیری، N تعداد مشاهدات (داده‌ها) و n تعداد ثابت‌های بکار رفته در معادله است.

برای مدل سازی فرایند خشک کردن آلبالو از نسخه ۶/۰ نرم افزار Statistic استفاده شد. مقدار ضرایب و ثابت‌های مدل‌های مورد آزمون در شرایط مختلف آزمایش به روش رگرسیون محاسبه شد و برای هر مدل، ضرایب و ثابت‌ها براساس متغیرهای مستقل دما و پیش تیمارها در خشک کن بدست آمد (Akpınar and Bicer, 2006). برای محاسبه ضریب نفوذ موثر در هر کدام از تیمارها شعاع میانگین برای هر تیمار محاسبه شد و برای تعیین ضریب نفوذ مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده کولیس ورنیه با دقت mm ۰/۰۱ برای هر کدام از تیمارهای آزمایش در ۱۰ تکرار، سه بعد a, b, c دانه های آلبالو را در دو حالت تازه و خشک شده اندازه گیری و با استفاده از رابطه (۳)، متوسط قطر و شعاع میانگین دانه آلبالو برای هر تیمار به شرح جدول ۲ ارائه شد (Mohsenin, 1970). در این تحقیق قطر میانگین (d_g) برای آلبالوی تازه mm ۱۳/۴۰ بدست آمد.

$$d_g = (a.b.c)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

در این رابطه d_g = قطر میانگین آلبالو a (m) = قطر بزرگ آلبالو b (m) = قطر متوسط آلبالو c (m) = قطر کوچک آلبالو (m)

پس از محاسبه شعاع هندسی، ضریب نفوذ موثر رطوبت در آلبالو (D_{eff}) (از حل معادله فیک برای اجسام کروی شکل به شرح رابطه (۴) بدست آمد (Doymaz, 2007; Falade & Abbo, 2007; Mujumdar, 2000)).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right] \quad (4)$$

در این معادله MR=نسبت رطوبت (بدون بعد) = M_t رطوبت در لحظه t = M_e (kg/kg, d.b) رطوبت تعادلی = M_o (kg/kg, d.b) رطوبت اولیه
 D_{eff} (kg/kg, d.b) = ضریب نفوذ موثر (m^2/s) = t = زمان = r (s) شعاع کره (m)

با استفاده از ضریب زاویه خط ترسیم شده داده های $\ln \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$ بر حسب زمان (ثانیه) و شعاع میانگین هر دانه ضریب

نفوذ موثر (D_{eff}) مربوطه بدست آمد. با توجه به تابعیت ضریب نفوذ با دما، برای تعیین انرژی فعال سازی رطوبت از رابطه

آرینیوس (۵) استفاده شد (Falade & Abbo, 2007, Mujumdar, 2000).

جدول ۲- متوسط قطر و شعاع میانگین بدست آمده آلبالو برای هر کدام از تیمارهای آزمایش

متوسط شعاع هندسی پس از خشک شدن (r)			متوسط قطر هندسی پس از خشک شدن (d)			میانگین قطر هندسی پس از خشک شدن (d_g)			تیمارهای آزمایش
دمای	دمای	دمای	دمای	دمای	دمای	دمای	دمای	دمای	
۷۰°C	۶۰ °C	۵۰ °C	۷۰°C	۶۰ °C	۵۰ °C	۷۰°C	۶۰ °C	۵۰ °C	
۵/۵۵۰	۵/۸۲۷	۵/۸۳۸	۱۱/۱۰۰	۱۱/۶۵۳	۱۱/۶۵۷	۸/۸۰۰	۹/۹۰۶	۹/۹۵۰	بدون پیش تیمار
۵/۵۶۲	۵/۶۹۳	۵/۷۳۲	۱۱/۱۲۴	۱۱/۳۸۵	۱۱/۴۴۴	۸/۸۴۹	۹/۳۶۹	۹/۴۸۷	پیش تیمار در اتیل اولئات
۵/۸۲۶	۵/۸۵۱	۶/۰۵۲	۱۱/۶۵۱	۱۱/۷۰۲	۱۲/۱۰۴	۹/۹۰۳	۱۰/۰۰۳	۱۰/۸۰۷	پیش تیمار در آب جوش
۵/۷۳۰	۵/۷۳۹	۵/۸۶۶	۱۱/۴۵۹	۱۱/۴۷۸	۱۱/۳۳۱	۹/۵۱۹	۹/۵۵۷	۱۰/۰۶۲	پیش تیمار در محلول آب جوش و نمک طعام

$$D_{eff} = D_o \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right] \quad (5)$$

در این رابطه D_{eff} = ضریب نفوذ موثر (m^2/s) = D_o = ضریب نفوذ در دمای مینا = E_a (m^2/s) = انرژی فعال سازی = R (kJ/kg.mol) = ثابت جهانی

گازها = T (8.314 J/mol.K) دما (K)

انرژی فرایند خشک کردن

برای محاسبه انرژی ویژه مورد نیاز برای خشک کردن هر یک کیلو گرم آلبالو در هر تیمار از رابطه انرژی الکتریکی مصرفی در خشک کن (هیتر + فن) استفاده می شود. برای این منظور ابتدا با استفاده از یک آمپر متر مقدار جریان عبوری از سیستم را در زمان روشن بودن هیتر اندازه گیری کنیم. مقدار جریان مصرفی هیتر در خشک کن ۹ آمپر بدست آمد. برای اندازه گیری انرژی مصرفی فن در در خشک کن نیز شدت جریان مصرفی ۲ آمپر اندازه گیری شد. با استفاده از جدول مشخصات فنی فن مقدار



$\cos \phi / 0.95$ در نظر گرفته شد. زمان در نظر گرفته شده در فرمول مدت زمان روشن بودن فن (زمان خشک شدن هر تیمار) در نظر گرفته شد. برای هر تیمار از رابطه (۶) انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلو وات ساعت بدست آمد (بدیعی، ۱۳۷۱). پس از آن مقدار انرژی مصرفی برای هر کدام تیمارها محاسبه شده و با توجه به مقدار وزن اولیه آلبالو و وزن آب تبخیر شده در تیمار، مقدار انرژی ویژه مورد نیاز برای خشک کردن یک کیلو گرم آلبالو بر حسب (KWh/KgH₂O) در هر تیمار محاسبه شد (Sharma and Prasad, 2006; Koyucu *et al.*, 2012; Jindarat *et al.*, 2011).

$$W = P_1 \times h_1 + P_2 \times h_2 = (V \times I) \times h_1 + ((V \times I) \times \cos \phi) \times h_2 \quad (۶)$$

در این رابطه: W= انرژی الکتریکی (KWh) ، P1= توان الکتریکی هیتر (kW) ، P2= توان الکتریکی فن (kW) ، I= شدت جریان (A) ، h = زمان (h)

نتایج و بحث

سینتیک فرایند خشک کردن

نتایج تجزیه واریانس تاثیر تغییرات دما و آماده سازی تیمارها بر روی زمان خشک کردن آلبالو در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که پارامترهای دما و آماده سازی محصول تاثیر بسیار معنی داری روی زمان خشک شدن آلبالو دارند. همچنین اثر متقابل دو پارامتر ذکر شده بر روی شاخص زمان خشک شدن آلبالو نیز بسیار معنی دار می باشد. مقایسه میانگین تاثیر عامل دما بر زمان خشک شدن آلبالو بصورت جدول ۴ ارائه شده است. همانگونه که در جدول ملاحظه می شود تغییرات دما تاثیر بسیار قابل ملاحظه ایی بر زمان خشک شدن آلبالو داشته است. این افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ و ۷۰ °C به ترتیب ۵۸/۰۴ و ۷۷/۰۱ درصد زمان خشک شدن را کاهش داده است. افزایش دما از ۶۰ به ۷۰ °C نیز ۴۵/۲۰ درصد زمان خشک شدن آلبالو را کم می کند. این بدان معنی است که افزایش دما موجب ایجاد انرژی گرمایی بیشتر در محیط شده و آهنگ خشک شدن ماده را سریعتر می کند. در نتیجه ماده زودتر خشک می شود. البته لازم بذکر است با افزایش دمای خشک کن نرخ کاهش زمان خشک شدن الزاماً خطی نبوده و معمولاً در دماهای بالاتر تاثیر افزایش دما نسبت به دماهای پائین تر کمتر است زیرا نرخ حرکت (نفوذ) رطوبت در داخل مواد محدود بوده و الزاماً با افزایش دما بصورت خطی زیاد نمی شود. این محدودیت در دماهای بالا بدلیل چروکیدگی سطحی و بسته شدن روزنه های انتقال رطوبت بیشتر شده و ملاحظه می شود از یک دما به بالا علیرغم صرف انرژی بیشتر کاهش زمان کمتری نسبت به دماهای قبلی مشاهده می شود. (Mujumdar, 2000).



جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس زمان خشک شدن آلبالو در شرایط مختلف آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
(SOV)	(df)	زمان خشک شدن
دما	۲	۴۳۸۹/۴۰**
آماده سازی محصول	۳	۴۵۶۱/۸۲**
دما × آماده سازی محصول	۶	۱۵۵۹/۵۴**
خطا	۲۴	۰/۷۴
کل	۳۵	
CV		۰/۸۲

** وجود اختلاف معنی دارد در سطح احتمال ۱٪

جدول ۴- مقایسه میانگین های تاثیر دما بر زمان خشک شدن آلبالو در شرایط مختلف آماده سازی*

دما	زمان خشک شدن
(°C)	(h)
۵۰	۴۷/۶۷ ^b
۶۰	۲۰/۰۰ ^a
۷۰	۱۰/۹۶ ^a

* میانگین های دارای حروف مشابه دارای اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ نمی باشند.

مقایسه میانگین تاثیر عامل آماده سازی محصول برای دماهای مختلف آزمایش بر زمان خشک شدن آلبالو نیز در جدول ۵ ارائه شده است. همانگونه که در جدول مشخص است تاثیر آماده سازی بر کاهش زمان خشک شدن آلبالو بسیار بارز بوده و فرو بری در اتیل اولئات ، آب جوش و محلول نمک طعام در حال جوش ، زمان خشک شدن محصول را به ترتیب ۷۴/۲۲، ۷۲/۰۸ و ۷۸/۶۶ درصد نسبت به خشک شدن تیمار شاهد (بدون آماده سازی اولیه) کاهش می دهد. این بدان معنی است که بکار گیری محلولهای پیش تیمار برای آماده سازی محصولاتی نظیر آلبالو ، گیلاس، انگور، آلو و میوه های نظیر آنها موجب ایجاد ترکهای سطحی روی پوسته خارجی شده و سرعت خروج رطوبت را از محصول را بیشتر کرده و محصول در زمان کوتاهتری خشک می شود (Doymaz, 2004; Doymaz, 2007; Esmaili et al., 2007).



جدول ۵- مقایسه میانگین‌های تاثیر آماده سازی اولیه بر زمان خشک شدن آلبالو برای شرایط مختلف دما*

زمان خشک شدن (h)	آماده سازی
۵۹/۸۹ ^b	آلبالوی تازه بدون آماده سازی (تیمار شاهد)
۱۵/۴۴ ^a	فروری آلبالوی تازه در محلول ۲ درصد اتیل اولئات در دمای محیط به مدت یک دقیقه
۱۶/۷۳ ^a	فروری آلبالوی تازه در آب جوش به مدت یک دقیقه
۱۲/۷۸ ^a	فروری آلبالوی تازه در محلول ۲۰ درصد نمک طعام در دمای جوش به مدت یک دقیقه

* میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ نمی باشند.

مقایسه میانگین زمان خشک شدن آلبالو تیمارهای مختلف تحقیق در جدول ۶ ارائه شده است. جدول ۶ نشان می دهد که بیشترین زمان خشک شدن آلبالو مربوط به تیمار بدون آماده سازی (شاهد) و دمای خشک کردن ۵۰°C و کمترین زمان فرایند برای کاربرد پیش تیمار آماده سازی با آب نمک در حال جوش و دمای خشک کردن ۷۰°C می باشد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که کاربرد پیش تیمار آماده سازی در کاهش زمان بسیار موثر است و در تمام دماهای آزمایش بطور متوسط از حدود ۴۹ درصد در دمای ۷۰°C درجه، ۷۱ درصد در دمای ۶۰°C و تا حدود ۸۰ درصد در دمای ۵۰°C زمان خشک شدن آلبالو را کم می کند. از این روند می توان نتیجه گرفت که تاثیر کاربرد پیش تیمار در دماهای کمتر بر روی کاهش زمان خشک شدن بیشتر می باشد. در بین روش های آماده سازی کاربرد آب نمک در حال جوش بهتر از بقیه بود و تاثیر آن در دمای ۵۰°C زمان خشک شدن را تا ۸۳/۱۵ درصد کاهش می دهد. بعد از آن کاربرد اتیل اولئات برای آماده سازی آلبالو قابل توصیه می باشد اگر چه با پیش تیمار فرو بری آلبالو در آب جوش در اغلب موارد اختلاف معنی داری ندارد. نحوه تاثیر پیش تیمارهای آماده سازی بر روی تغییرات سینتیک خشک شدن آلبالو در دماهای آزمایش در شکل های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن آلبالو* (h)

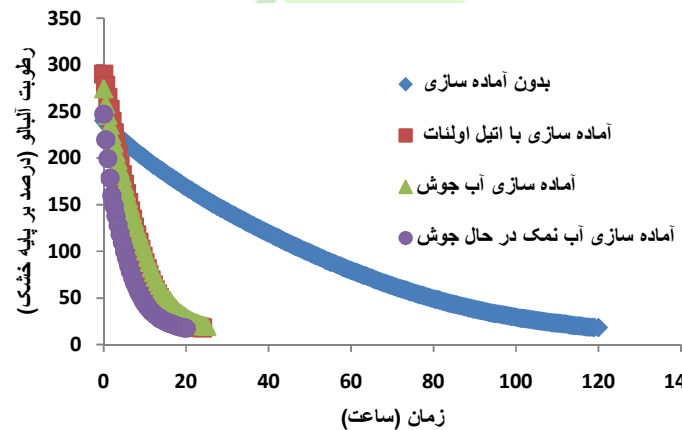
آماده سازی اولیه	دما (°C)		
	۷۰	۶۰	۵۰
بدون آماده سازی (شاهد)	۱۷/۳۳ ^d	۴۲/۶۷ ^h	۱۱۹/۶۷ ⁱ
فروری آلبالوی تازه در محلول ۲ درصد اتیل اولئات در دمای محیط به مدت یک دقیقه	۹/۰۰ ^{ab}	۱۳/۱۷ ^c	۳۴/۱۷ ^f
فروری آلبالوی تازه در آب جوش به مدت یک دقیقه	۹/۸۳ ^b	۱۳/۶۷ ^c	۲۶/۶۷ ^g
۲۰ فروری آلبالوی تازه در محلول ۲۰ درصد نمک طعام در دمای جوش به مدت یک دقیقه	۷/۶۷ ^a	۱۰/۵۰ ^b	۲۰/۱۷ ^e

* میانگین‌های دارای حروف مشابه دارای اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ نمی باشند.

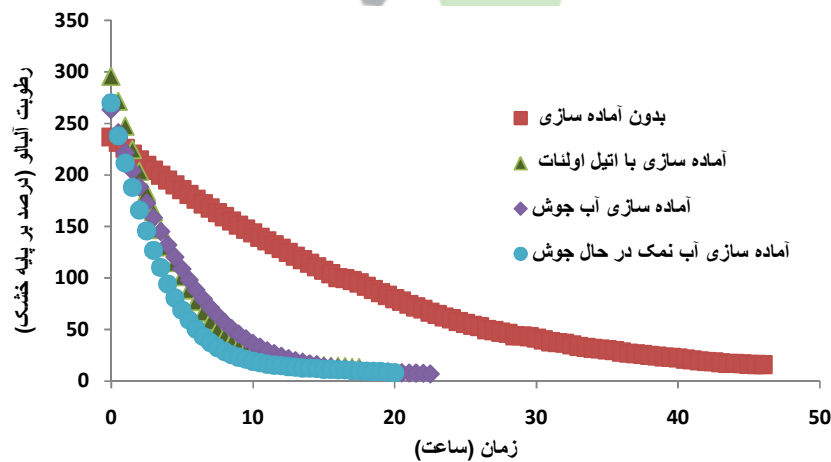


مدل سازی فرایند خشک کردن

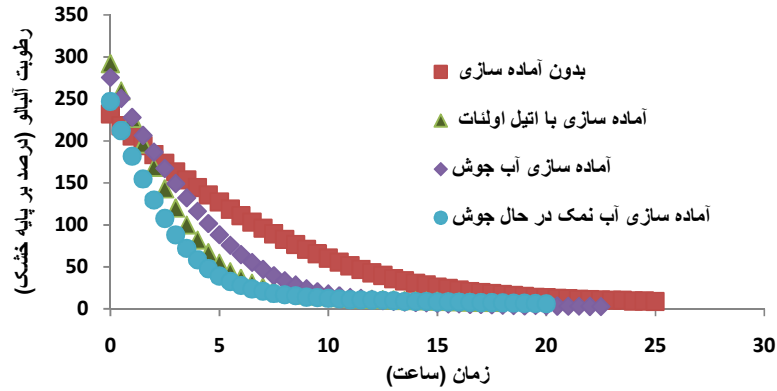
نتایج مدل سازی فرایند خشک کردن آلبالو و متوسط شاخصهای ارزیابی مدل ها در دماهای مورد آزمون برای تمام شرایط آماده سازی محصول و تیمار شاهد در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به جدول ارائه شده ملاحظه می شود که برای تمام شرایط آماده سازی محصول و تیمار شاهد مدل میدیلی و همکاران (MDM) بهترین برازش را با داده های تیمارهای مختلف دارد. پس از مدل لگاریتمی (LM) در اغلب موارد برازش مناسبی داشته و می تواند مدل دوم برای بررسی سینتیک خشک شدن آلبالو پیشنهاد شود. نتایج بدست آمده در تحقیقات گذشته هم برای خشک کردن آلبالو تأیید شده است (Doymaz, 2007) (قادری و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین در جدول ۸ ضرایب بدست آمده هر کدام از مدل ها در دماهای آزمایش و پیش تیمارهای مختلف ارائه شده و در شکل های ۵ تا ۷ نمونه هایی از برازش مدل های میدیلی و لگاریتمی با داده های آزمایش در دمای های مختلف آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۲- تاثیر پیش تیمارها بر تغییرات رطوبت آلبالو در دمای ۵۰°C



شکل ۳- تاثیر پیش تیمارها بر تغییرات رطوبت آلبالو در دمای ۶۰°C



شکل ۴- تاثیر پیش تیمارها بر تغییرات رطوبت آلبالو در دمای 70°C

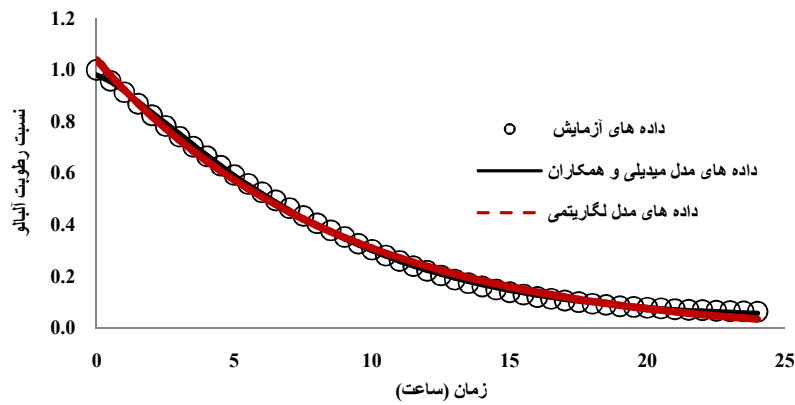
جدول ۷- مقایسه مدل مورد استفاده در خشک کردن آلبالو با پیش تیمارهای مختلف

پیش تیمار آبجوش و نمک			پیش تیمار آبجوش			پیش تیمار اتیل اولفات			بدون پیش تیمار (شاهد)			مدل
R^2	X^2	RMSE	R^2	X^2	RMSE	R^2	X^2	RMSE	R^2	X^2	RMSE	
۰/۹۹۲۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۵۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۸۴	۰/۹۹۲۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۹۴	۰/۹۹۴۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۳۸	نیوتن (NM)
۰/۹۹۵۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۸	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۲	۰/۹۹۷۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵۸	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۶۶	بیج (PM)
۰/۹۹۳۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۸۲	۰/۹۹۶۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۳	۰/۹۹۵۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۷۸	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۱۸	هندرسون و پاپیس (HPM)
۰/۹۹۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۷	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۸	۰/۹۹۷۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۴۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۳۴	دو جمله ای (TEM) نمایی
۰/۹۹۶۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵۶	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۵۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۷۶	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۸۶	تقریبی (ADM) انتشار
۰/۹۹۸۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۵	۰/۹۹۷۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۴	۰/۹۹۵۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۷۲	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵۸	لگاریتمی (LM)
۰/۹۹۹۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۰	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۰	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۴	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۸	میدیلی و همکاران (MDM)

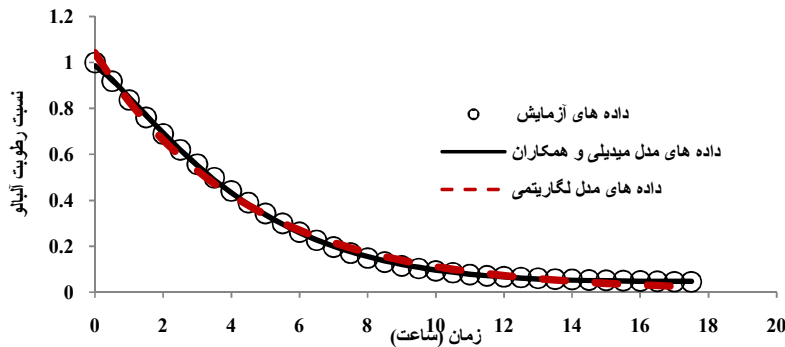


جدول ۸- ضرایب مدل های میدلی و همکاران و لگاریتمی در خشک کردن آلبالو

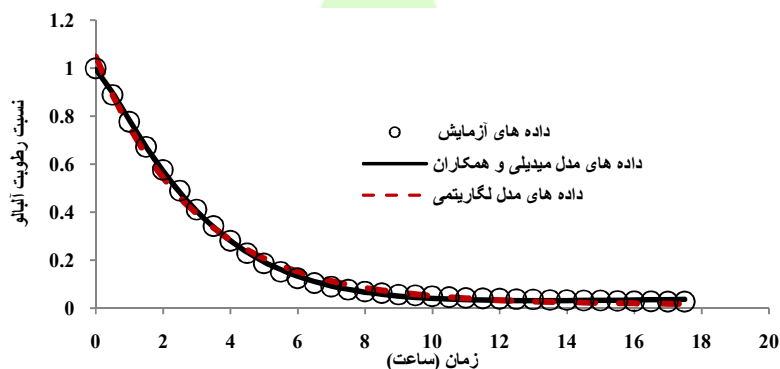
مدل لگاریتمی (LM)			مدل میدلی و همکاران (MDM)				دماهای آزمایش (°C)	پیش تیمارها
a	b	k	a	b	n	k		
۱/۱۲۱۳۶۴	-۰/۱۳۰۴۴۴	-۰/۱۴۷۹۹	-۰/۹۷۸۵۲۲	-۰/۰۰۰۴۷۰	۱/۰۶۶۹۶۷	-۰/۰۱۲۷۶۱	۵۰	بدون پیش تیمار (شاهد)
۱/۰۷۵۵۲۸	-۰/۰۵۷۸۶۲	-۰/۰۴۹۹۰۴	-۰/۹۸۳۹۱۰	-۰/۰۰۰۰۸۷	۱/۱۵۱۱۹۸	-۰/۰۳۴۵۳۴	۶۰	
۱/۰۵۰۳۰۹	-۰/۰۲۵۸۰۶	-۰/۱۲۷۷۰۲	-۰/۹۷۷۲۶۱	-۰/۰۰۰۰۶۶۴	۱/۱۹۱۰۱۰	-۰/۰۸۷۳۴۷	۷۰	
۱/۰۷۵۲۳۷	-۰/۰۳۷۰۹۰	-۰/۱۱۳۳۶۲	-۰/۹۸۱۱۹۴	-۰/۰۰۰۱۳۱۵	۱/۲۵۴۶۹۸	-۰/۰۶۸۶۲۳	۵۰	اتیل اولنات
۱/۰۳۸۸۶۹	-۰/۰۰۴۲۲۰	-۰/۲۳۷۲۱۳	-۰/۹۸۵۷۶۰	-۰/۰۰۰۲۳۴۵	۱/۲۳۱۲۶۸	-۰/۱۵۳۱۵۹	۶۰	
۱/۰۳۵۱۱۷	-۰/۰۱۴۲۸۷	-۰/۳۵۷۵۱	-۰/۹۹۵۳۳۷	-۰/۰۰۰۲۰۵۳	۱/۲۰۴۳۹۱	-۰/۲۴۲۸۹۱	۷۰	
۱/۰۶۳۷۳۵	-۰/۰۰۵۶۳۲۷	-۰/۰۹۳۱۷۹	-۰/۹۶۷۴۹۳	-۰/۰۰۰۰۵۷۸	۱/۱۹۱۷۰۰	-۰/۰۶۴۹۳۳	۵۰	آبجوش
۱/۰۲۶۰۶۰	-۰/۰۰۰۲۲۶۰	-۰/۱۸۷۳۷۸	-۰/۹۹۶۲۱۰	-۰/۰۰۰۰۵۳۷	۱/۰۹۷۲۸۲	-۰/۱۵۵۶۸۰	۶۰	
۱/۰۵۶۶۹۲	-۰/۰۰۰۸۵۸۳	-۰/۲۳۸۶۵۶	-۰/۹۸۰۹۱۹	-۰/۰۰۰۰۵۹۸	۱/۲۴۴۷۰۷	-۰/۱۵۴۶۹۵	۷۰	
-۰/۹۲۲۳۴۰	-۰/۰۰۵۲۴۴۲	-۰/۱۹۶۰۳۸	۱/۰۱۲۵۵۶	-۰/۰۰۰۰۷۱۹	-۰/۸۵۹۸۲۱	-۰/۲۳۶۴۸۶	۵۰	آبجوش و نمک
۱/۰۰۵۸۱۷	-۰/۰۲۲۹۵۶	-۰/۲۸۶۴۶۴	-۰/۹۹۰۷۸۵	-۰/۰۰۰۲۰۰۲	۱/۱۲۴۲۲۵	-۰/۲۲۵۷۹۱	۶۰	
۱/۰۰۸۲۱۶	-۰/۰۲۴۸۰۰	-۰/۲۷۶۹۹۰	۱/۰۰۰۱۱۳۱	-۰/۰۰۰۱۹۲۱	۱/۰۹۹۱۱۵	-۰/۳۱۳۲۹۸	۷۰	



شکل ۵- برآزش داده های آزمایش با مدل های انتخابی در دمای ۵۰°C (پیش تیمار اتیل اولنات)



شکل ۶-برازش داده های آزمایش با مدل های انتخابی در دمای 60°C (پیش تیمار اتیل اولنات)



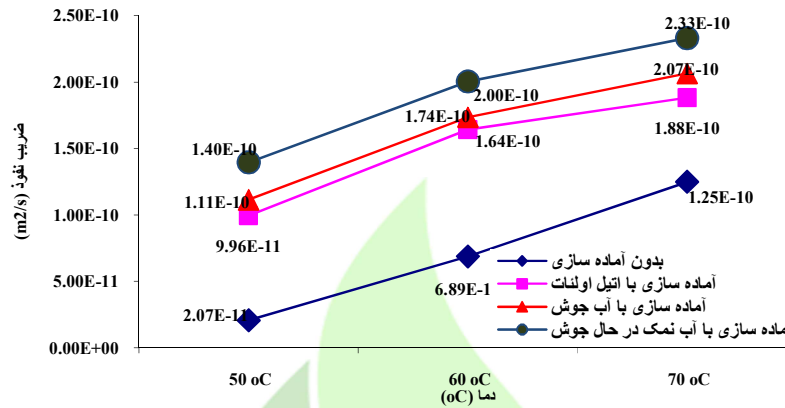
شکل ۷-برازش داده های آزمایش با مدل های انتخابی در دمای 70°C (پیش تیمار اتیل اولنات)

تعیین ضریب نفوذ موثر و انرژی فعال سازی

برای تعیین انرژی فعال سازی رطوبت در فرایند خشک کردن آلبالو ابتدا ضریب نفوذ موثر رطوبت (D_{eff}) را با استفاده از حل معادله فیک برای اجسام کروی بدست می آید. تغییرات ضرایب نفوذ موثر بدست آمده برای هر کدام از تیمارهای آزمایش در دماهای تحقیق بشرح شکل ۸ می باشد. همانگونه که در شکل مشخص است در تمام تیمارهای آماده سازی محصول با افزایش دمای خشک کردن متوسط انتشارپذیری موثر رطوبت در محصول دارای روندی افزایشی بوده برای خشک کردن آلبالو با روش های مختلف آماده سازی در محدوده دمایی 50°C تا 70°C ضریب نفوذ موثر رطوبت در محدوده $2/07 \times 10^{-11}$ تا $2/33 \times 10^{-10}$ تغییر می کند. بررسی ها نشان داد که مقادیر بدست آمده با تحقیقات گذشته در مورد محصولات مشابه همخوانی دارد. البته لازم بذکر است دلیل اختلافات جزئی مشاهده شده نوع محصول، پیش تیمارها و نوع خشک کردن و محدوده دمایی مورد استفاده بود (Esmaili et al., 2007; Doymaz, 2007). با استفاده از ضریب نفوذ موثر رطوبت بدست آمده برای تیمارهای آزمایش در دماهای مختلف، انرژی فعال سازی بدست آمده در محدوده دمایی 50°C تا 70°C برای تیمارهای آزمایش



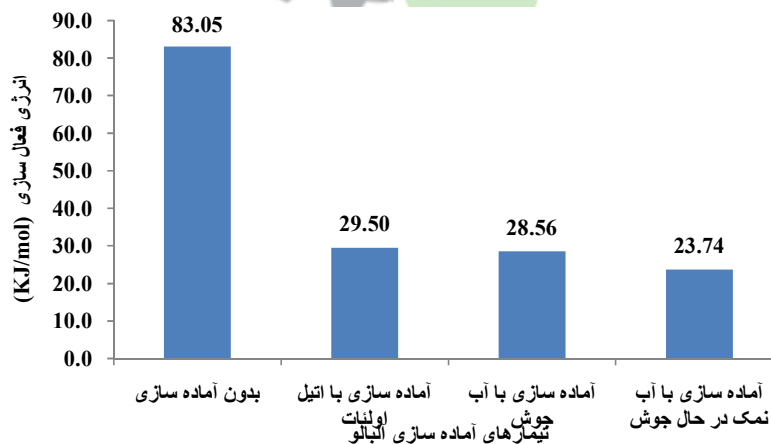
بدست آمد که مقایسه نتایج بدست آمده به صورت شکل ۹ ارائه شده است. همانگونه که در شکل مشخص است استفاده از پیش تیمارها برای خشک کردن آلبالو موجب کاهش قابل توجه انرژی فعال سازی شده و آن را از محدوده ۸۳ به ۲۳ تا ۲۹ KJ/mol کاهش می دهد که در بین پیش تیمارها تاثیر آب نمک در حال جوش بارزتر می باشد.



شکل ۸- ضرایب نفوذ موثر در شرایط دمایی و آماده سازی محصول در تحقیق

انرژی فرایند خشک کردن

همانگونه که در بخش مواد و روشها ذکر شد، برای محاسبه انرژی ویژه مورد نیاز برای خشک کردن هر یک کیلو گرم آلبالو در هر تیمار از رابطه انرژی الکتریکی مصرفی در خشک کن (هیتر + فن) استفاده شد. با استفاده از آن رابطه مقدار انرژی مصرفی برای هر کدام تیمارها محاسبه شده و با توجه به مقدار وزن اولیه آلبالو و وزن آب تبخیر شده در تیمار، مقدار انرژی ویژه مورد نیاز برای خشک کردن یک کیلو گرم آلبالو برحسب (KWh/KgH₂O) در هر تیمار محاسبه شد. نتایج انرژی الکتریکی مصرفی و انرژی ویژه محاسبه شده برای خشک کردن آلبالو در شرایط مختلف آزمایش بصورت جدول ۹ ارائه شده است.



شکل ۹- مقایسه انرژی فعال سازی در فرایند خشک کردن آلبالو در محدوده دمایی ۵۰ تا ۷۰ °C



همانگونه که در جدول مشخص خشک کردن آلبالو بدون اعمال پیش تیمار انرژی زیادی طلب می کند در حالیکه اگر قبل از خشک کردن آماده سازی مقدماتی انجام گیرد در حدود ۴ برابر و بیشتر از مصرف انرژی جلوگیری کرده و همانطور که قبلاً اشاره شد زمان خشک کردن را کاهش می دهد. بیشترین کاهش مصرف انرژی برای دمای 50°C مربوط به کاربرد پیش تیمار اتیل اولئات بوده که در حدود ۸۳ درصد انرژی ویژه خشک کردن آلبالو را کاهش داد. پس از آن کاربرد پیش تیمار ترکیبی آبجوش و نمک موجب کاهش ۷۹/۲ درصد انرژی ویژه مصرفی برای خشک کردن آلبالو شد. لازم بذکر است در حالتی که آلبالو را در دماهای بالاتر خشک می شود تاثیر پیش تیمارها کمتر می شود. دلیل این مسئله افزایش عامل گرما در دماهای بالا بعنوان منبع اصلی انرژی برای تبخیر رطوبت می باشد. مشابه نتایج بدست آمده در مورد محصولات مختلف نیز مشاهده شده است (Sharma and Prasad, 2006; Koyucu *et al.*, 2012 ; Jindarat *et al.*, 2011)

جدول ۹- کار الکتریکی و انرژی ویژه خشک کردن آلبالو تیمارهای مختلف آزمایش

انرژی ویژه مصرفی خشک کردن یک کیلوگرم آلبالو تیمار (KWh/kg)	انرژی الکتریکی کل برای تیمارها (KWh)	دماهای آزمایش (oC)	پیش تیمارهای آزمایش
۶۲/۸۸	۱۲۰/۷۴	۵۰	بدون آماده سازی (شاهد)
۲۷/۰۷	۴۲/۰۹	۶۰	بدون آماده سازی (شاهد)
۲۲/۹۱	۲۹/۶۷	۷۰	بدون آماده سازی (شاهد)
۱۰/۶۱	۲۴/۱۵	۵۰	اتیل اولئات
۶/۸۴	۱۳/۰۳	۶۰	اتیل اولئات
۸/۰۶	۱۵/۷۱	۷۰	اتیل اولئات
۲۴/۰۰	۲۷/۱۷	۵۰	آب جوش
۶/۴۴	۱۴/۰۳	۶۰	آب جوش
۸/۰۳	۱۷/۴۵	۷۰	آب جوش
۱۳/۰۹	۲۰/۱۲	۵۰	آب جوش و نمک
۷/۰۴	۱۱/۰۲	۶۰	آب جوش و نمک
۹/۲۱	۱۳/۹۶	۷۰	آب جوش و نمک

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش دمای خشک کن موجب کاهش معنی دار زمان خشک شدن آلبالوها در تمامی تیمارهای آزمایش می گردد. این تاثیر برای تیمار شاهد مشهود تر می باشد. افزایش دما از 50°C به 70°C موجب کاهش بیش از ۸۰ درصد زمان خشک شدن می شود. از نتیجه آزمایشات انجام شده تحقیق می توان نتیجه گرفت که تاثیر کاربرد پیش تیمار در دماهای



کمتر بر روی کاهش زمان خشک شدن بیشتر می باشد. در بین روش های آماده سازی کاربرد آبجوش و نمک بهتر از بقیه بود و در دمای 50°C زمان خشک شدن آلبالو را حدود ۸۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش می دهد. از نظر مدل سازی فرایند، برای تمام شرایط آماده سازی محصول و تیمار شاهد مدل میدیلی و همکاران (MDM) بهترین برازش را با داده های تیمارهای مختلف داشت. نتایج نشان داد که استفاده از پیش تیمارها برای خشک کردن آلبالو موجب کاهش قابل توجه انرژی فعال سازی شده و آن را حدود ۶۵ درصد کاهش می دهد. این تاثیر برای پیش تیمار آب نمک در حال جوش بارزتر بود. اگر قبل از خشک کردن آلبالو آماده سازی مقدماتی انجام گیرد زمان خشک کردن کم شده و بیش از ۴ برابر مصرف انرژی کاهش پیدا می کند. تاثیر پیش تیمارها در خشک کردن آلبالو در دماهای بالاتر کمتر می شود. بیشترین تاثیر آماده سازی محصول در کاهش مصرف انرژی مربوط به کاربرد پیش تیمار اتیل اولئات و بعد از آن کاربرد پیش تیمار آبجوش نمک بود که انرژی ویژه خشک کردن آلبالو را بیش از ۸۰ درصد کاهش داد.

منابع

۱. بدیعی م. ۱۳۷۱. فرمول ها آحاد ارقام در علوم و مهندسی، (تالیف K. Gieck). انتشارات جعفری. کرج.
۲. بی نام. ۱۳۸۶. آلبالوی خشک-ویژگی ها. استاندارد ملی شماره ۲۳۴۱. تجدید نظر اول. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
۳. زمردی، ش. ۱۳۸۶. تکنولوژی فرآوری میوه های خشک و کنترل کیفیت آنها. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه.
۴. عین افشار، س. ۱۳۸۸. تولید آلبالو خشک با رطوبت بالا. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی به شماره ۸۸/۵۲۷. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی. کرج.
۵. قادری، ع.؛ عباسی، س.؛ متولی، ع. و مینایی، س. ۱۳۹۰. انتخاب مدل ریاضی برای سیتیک خشک کردن میوه آلبالو در خشک کنمایکروویو- خا. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، سال ۶ شماره ۲: ۶۲-۵۵.
۶. متولی، ع.؛ مینایی، س.؛ عباسی، س. و قادری، ع. ۱۳۸۹. بررسی فرایند خشک کردن میوه آلبالو در خشک کنمایکروویو- خا. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۱ (۲): ۱۶۸-۱۶۲.
7. Akpinar, E., A. Midilli, and Y. Bicer. 2003. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modelling. Energy Conversion and Management 44: 1689-1705.
8. Akpinar, E. K. and Y. Bicer. 2006. Mathematical Modeling and Experimental Study on Thin Layer Drying of Strawberry. International Journal of Food Engineering, Vol. 2, Iss. 1, Art 5.

9. Doymaz, I. 2004. Effect of dipping treatment on air drying of plums J. of Food Eng. 64(4): 465-470.
10. Doymaz, I. 2007. Influence of pretreatment solution on drying of sour cherry. J. of Food Eng. 78(2): 591-596.
11. Esmaili, M., R. Sotudeh-Gharebagh, M.A.E. Mousavi, and Gh. Rezazadeh .2007. Influence of dipping on thin-layer drying characteristics of seedless grapes. Biosys. Eng. 98(4): 411-421.
12. Falade, K. O., E. Abbo .2007. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. Journal of Food Engineering, 79, 724–730.
13. Goyal, R. K., A. R. P. Kingsly, , M. R. Manikantanand, and S. M. Ilyas. 2007. Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. Journal of Food Engineering 79(1): 176-180.
14. Humphrey, K.J.T., , J.L. Price; D.L. Scott, and C.M. Stark. 2006. Handy Reference for Drying Fruits. Cornell University.
15. Jindarat, W., P. Rattanadecho, S. Vongpradubchai and Y. Pianroj. 2011. Analysis of energy consumption in drying process of non-hygroscopic porous packed bed using a combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt system (CMCB) Drying Technology, 29: 926–938.
16. Koyuncu, T., F. Lule, and K. E. Engin. 2012. Convective and Microwave Drying Characteristics of Garden Cress Leaves (*Lepidium sativum L.*) proceeding of CIGR-AgEng conference. Valencia, Spain.
17. Midilli, A., H. Kucuk and Z. Yapar. 2002. A new model for single layer drying. *Dry Technol* 120 (7):1503-1513.
18. Mohsenin Nuri, N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Pub. New York, USA.
19. Mujumdar, Arun S. 2000. Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. Science publisher, Inc. Enfield (NH), USA.
20. Sharma, G.P. and S. Prasad. 2006. Specific energy consumption in microwave drying of garlic cloves. Energy, 31(12): 1921-1926
21. Tarhan, S. 2007. Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. J. of Food Eng. 79(1): 255-260.
22. Tarhan, S., G. Ergunes, and O.F. Taser. 2006. Selection of chemical and thermal pretreatment combination to reduce the dehydration time of sour cherry (*Prunus cerasus L.*). J. of Food Process Eng. 29(6): 651-663.

Influence of pretreatment methods on sourcherry drying process

Hamid Reza Gazor^{1*} Hooman Sharifnasab² Omid Reza Roostapoor³

1- Assistant professor of Agricultural Engineering Research Institute, hgazor@yahoo.com

2- Assistant professor of Agricultural Engineering Research Institute

3- Assistant professor of Agricultural Research Center of Fars Province

Abstract

Influence of using pretreatments and temperatures were investigated on time and drying modeling of sour cherry. Drying process carried on at temperatures 50, 60 and 70 °C. Four pretreatment conditions dipping in boiling water, dipping in 20% salty boiling water, dipping in 2% ethyl oleate solution, no pretreatment (control) considered for sour cherry before drying. Drying kinetic of sour cherry drying was studied using selected semi-theoretical and empirical thin-layer drying models, namely, Newton (Lewis), Henderson and Pabis, Page, Logarithmic, Approximate Diffusion, Two-term Exponential, and Midilli et al. models. It was concluded that the Midilli et al. and Logarithmic models were found to be most suitable in describing the drying characteristics of sour cherry. Results showed that increasing temperature caused to reduction drying time of sour cherry. This effect was higher for control treatments and increasing of temperature from 50 to 70 °C decreased drying time more than 80%. Using of pretreatment solutions increase drying rate in all drying temperatures. Dipping in salty boiling water was better than the other solutions. It reduced drying time of sour cherry 83% than control treatment. The Midilli et al. model (MDM) was the most suitable in describing the drying characteristics of sour cherry respectively. Using of pretreatment solution reduced energy consumption more than 400 percents and activation energy was calculated about 65% of control treatments.

Key Words: Sour cherry, Drying, Energy, Modeling, Quality