

تأثیر فرآیند خشک کردن نهایی با مایکروویو و هوای داغ بر پارامترهای خشک کردن انگور خشک شده

راضیه ده بوره^۱ - محسن اسمعیلی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۱۲

چکیده

در این مطالعه امکان استفاده از روش مایکروویو برای خشک کردن نهایی دو نوع انگور خشک شده (آفتابی و تیزابی) بررسی گردید. بدین منظور نمونه‌های مورد مطالعه در حمام آب با دما (۲۵ و ۴۵ °C) و زمان (۶۰ و ۳۰ دقیقه) معین شستشو داده شده و پس از حذف آب سطحی، با روش‌های مایکروویوی (در دو توان ۲۷۰ و ۴۵۰ وات) و روش جریان هوای داغ (روش جابجایی) در دمای ۵۰ °C خشکانیده شدند. درصد جذب آب، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و شاخص‌های رنگ هانتز (L بعنوان روشنایی و نسبت a/b) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین مناسبترین مدل ریاضی جهت توصیف رفتار خشک شدن نمونه‌ها، برازش ۱۰ مدل ریاضی از طریق تعیین ضریب تبیین (R^2)، مربع‌خطی (χ^2) و ریشه مربعات میانگین خطا (RMSE) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که درصد جذب آب نمونه‌های تیزابی حدود ۳ تا ۴/۵ برابر نمونه‌های آفتابی است. طبق نتایج بدست آمده، خشک کردن در دوره سرعت نزولی رخ می‌دهد. بر اساس ارزیابی مدل‌ها، مدل دو جمله‌ای دارای بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار χ^2 و RMSE می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که روش خشک کردن نهایی، رنگ محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین استفاده از روش مایکروویو برای خشک کردن نهایی تابع توان مورد استفاده و نوع محصول است.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن نهایی، خشک کرده انگور، مدلسازی، مایکروویو

مقدمه

کاهش می‌یابد (۳ و ۱۴). به منظور برطرف کردن این مشکلات و جلوگیری از کاهش کیفیت معنی دار محصول، و برای رسیدن به فرآیند مؤثر و سریع انتقال حرارت، استفاده از مایکروویو برای خشک کردن مواد غذایی توسعه یافته است. برخلاف سیستم‌های گرمایشی متداول، به دلیل نفوذ امواج مایکروویو به داخل ماده غذایی، حرارت در سرتاسر ماده غذایی انتشار می‌یابد. به همین دلیل در روش مایکروویو سرعت انتقال گرما سریعتر از سایر روش‌های حرارتی است (۲ و ۲۴). اگرچه تجهیزات یک سیستم خشک کن مایکروویوی در مقایسه با خشک کن جابجایی فقط به ۲۰٪ فضا نیاز دارد، ولی اگر از آن به طور

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری غذا است (۲۲). کم بودن کارایی انرژی و طولانی بودن زمان خشک کردن طی دوره سرعت نزولی از معایب مهم خشک کردن با جریان هوای داغ (روش جابجایی) است. به دلیل کاهش ضریب هدایت حرارتی مواد غذایی در دوره سرعت نزولی فرآیند خشک کردن با روش جابجایی، سرعت انتقال حرارت به قسمت‌های درونی ماده غذایی

۱ و ۴ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه اورمیه

* نویسنده مسئول: (Email: m.esmaili@urmia.ac.ir)

مواد خارجی و حذف میوه‌های معیوب و فاسد است. شرایط عملیات فرآوری می‌تواند در خصوصیات بهداشتی و کیفی محصول نهایی مؤثر باشد. با توجه به اینکه حذف مواد خارجی نظیر گرد و غبار و یا گاه‌آ خاک رس که به بدنه میوه چسبیده نیازمند شستشوی میوه است، این عمل سبب جذب آب مجدد محصول می‌شود و به همین دلیل خشک کردن نهایی محصول اجباری است (۱۳). در فرآوری انگور خشک شده جذب آب مجدد می‌تواند معیاری از میزان آسیب وارده به پوست حبه در طی خشک کردن و آماده سازی باشد (۲۵). در حالت کلی پذیرفته شده است که مقدار جذب آب مجدد وابسته به درجه تخریب سلولی و ساختاری است. افزایش درجه حرارت آب سرعت جذب آب مجدد و مقدار رطوبت را افزایش می‌دهد (۲۰). بر اساس مقادیر جذب آب نمونه‌ها، درصد جذب آب به شدت تابع انجام یا عدم انجام آماده سازی میوه قبل از خشک کردن اصلی است. در فرآیند خشک کردن نهایی درصد آب جذب شده توسط محصول جزو پارامترهای مهم فرآیند محسوب می‌شود. فرآوری میوه خشک و شرایط آن به طور قابل توجهی در خواص کیفی و فیزیکی محصول نهایی اثر می‌گذارد (۱۹). رنگ یکی از مهمترین ویژگی‌های کیفی میوه‌های خشک شده است که در طی خشک کردن و نگهداری طولانی مدت به علت برخی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی، تغییر می‌کند (۴). در روش‌های معمول خشک کردن (بارگاه و خشک کن‌های کابینی)، برای تولید کشمش با رنگ روشن باید از فرآیند تدخین با دی اکسید گوگرد استفاده نمود. بر اساس تحقیقات انجام یافته، با بکاربردن تکنیک خشک کردن میکروویوی، بدون استفاده از مواد شیمیایی چنین محصولی

مناسب استفاده نشود می‌تواند منجر به افت کیفیت محصول شود (۳، ۱۱ و ۳۹). اصولاً گرمایش مواد غذایی با میکروویو رابطه مستقیم با ویژگی‌های دی الکتریکی آنها داشته و این ویژگی خود متأثر از ثابت و ضریب افت دی الکتریک نسبی است. ثابت دی الکتریک نسبی (ϵ') نشانگر توانایی ماده در نگهداری انرژی الکتریکی است در حالی که ضریب افت دی الکتریک نسبی (ϵ'') نشانگر توانایی ماده در اتلاف انرژی الکتریکی است، که به کمک رابطه زیر می‌توان ارتباط این دو متغیر را نشان داد:

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \quad [1]$$

تانژانت اتلاف ($\tan \delta$) معیاری از میزان نفوذ میدان الکتریکی در ماده و مقدار اتلاف انرژی الکتریکی در ماده به صورت حرارت است (۳۰). از نقطه نظر اقتصادی، با توجه به هزینه بالا، میکروویو نمی‌تواند با خشک کردن به روش هوای داغ رقابت کند. به همین جهت پیشنهاد شده است که انرژی میکروویو باید در دوره سرعت نزولی خشک کردن یا در مقادیر کم رطوبت جهت خشک کردن نهایی به کار رود (۱۸، ۲۸). برای تبدیل انگور به کشمش به سه مرحله عملیاتی "آماده سازی قبل از خشک کردن" (که به پیش عمل آوری مرسوم است)، "خشک کردن" و "فرآوری محصول خشک شده"، نیاز است. انگور خشک شده محصول نهایی نبوده، گاه‌آ چندین ماه در شرایط معمولی نگهداری و سپس به کارخانجات فرآوری بسته بندی انتقال می‌یابند تا بصورت کشمش قابل مصرف بسته بندی شوند (۱۳). مراحل عملیات فرآوری پس از خشک کردن انگور ممکن است بسته به روش خشک کردن فرق کند. در طول فرآوری محصول تمیز می‌شود که این عمل شامل جدا کردن تک تک میوه خشک، حذف دم و

چنین زمان روشن بودن اجاق نیز قابل برنامه ریزی است. این وسیله همچنین به پنکه هوا مجهز می باشد. یک ترازوی دیجیتال چنگالی (GF 3000 A&D Japan) با دقت ± 0.01 گرم و متصل به رایانه با کابل RS232 بر روی پایه ای در بالای اجاق مایکروویو جهت تعیین کاهش وزن درون خطی نمونه قرار داده شد. سینی مخصوص شیشه ای با یک سیم نایلونی از طریق سوراخی (به قطر 2 mm) در مرکز سقف اتاقک از ترازو آویزان شد. برای خشک کردن به روش هوای داغ از یک اجاق با گردش اجباری هوا (Heraeus, UT 5050 E, W. Germany) استفاده گردید.

روش آزمایش

جهت انجام آزمایش ها، نمونه های انگور خشک شده در مقادیر ۱۰۰ گرمی توزین شدند. برای شستشو و تمیز کردن نمونه ها از آب معمولی در حمام آب با دماهای متفاوت (45°C و 25°C) و زمان های مختلف (۶۰ و ۳۰ دقیقه) استفاده شد. در این مرحله جذب آب مجدد (باز آب پوشانی) رخ می دهد که نیاز به خشک کردن نهایی دارد. بعد از اتمام شستشو، رطوبت سطحی نمونه ها با یک پارچه کتان جدا و مجدداً توزین صورت گرفت. برای محاسبه درصد جذب آب (درصد جذب آب مجدد) نمونه ها از رابطه زیر استفاده شد (۲۲).

$$W_g (\%) = \frac{(W_t - W_d)}{W_d} 100 \quad [2]$$

W_g % درصد جذب آب، W_t و W_d به ترتیب وزن بعد از شستشو و وزن نمونه خشک بر حسب گرم می باشند. خشک کردن نهایی نمونه ها در اجاق مایکروویو در دو سطح توان ۴۵۰ و ۲۷۰ وات تا کاهش وزن نمونه به حدود وزن اولیه قبل از شستشو صورت گرفت.

قابل تولید است ضمن آنکه زمان خشک کردن با مایکروویو در مقایسه با روش جابجایی به طور معنی داری کمتر می باشد (۳۲). همچنین مطالعات در این زمینه نشان می دهد که در روش مایکروویو کوشمش تولید شده بخوبی قابل نگهداری بوده و مقدار مواد مغذی آن نظیر ویتامین ها در مقایسه با مقدار این مواد در کوشمش آفتابی بطور معنی داری بیشتر می باشد (۸).

امکان سنجی استفاده از روش مایکروویو برای خشک کردن نهایی انگور خشک شده مطالعه پارامتر ضریب نفوذ رطوبت و تغییرات کیفی محصول حائز اهمیت است. هدف این مطالعه، بررسی جذب آب مجدد نمونه های خشک کرده انگور، مدل سازی و مقایسه دو روش خشک کردن نهایی مایکروویو و جابجایی و بررسی تأثیر این دو روش در رنگ محصول نهایی است.

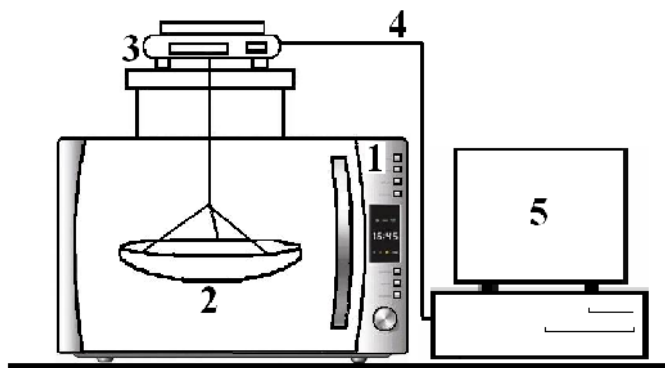
مواد و روش ها

مواد آزمایشی

دو نوع انگور خشک شده (آفتابی و تیزابی) از بازار تهیه شد. نمونه ها قبل از فرآوری در دمای اتاق نگهداری شدند. رطوبت اولیه نمونه ها به ترتیب $17/43$ و $11/92$ درصد بر اساس وزن مرطوب، برای انگور خشک کرده آفتابی و تیزابی بود که با خشک کردن در اجاق تحت خلأ در 400°C ۹۵ و به مدت ۵ ساعت اندازه گیری گردید (۱). تعیین رطوبت در سه تکرار انجام شد.

تجهیزات آزمایشگاهی

از یک اجاق مایکروویو خانگی قابل برنامه ریزی (Feller, MW 3080 FRW, Germany) با حجم ۳۰ لیتر و با حداکثر توان خروجی ۹۰۰ وات در ۲۴۵۰ مگاهرتز استفاده شد (شکل ۱). جهت تنظیم توان خروجی، اجاق به ولوم کنترل کننده با نمایشگر دیجیتالی مجهز بوده و هم



شکل ۱- شکل ساده اجاق مایکروویو و قسمت‌های مختلف آن: ۱- اجاق، ۲- سینی مخصوص، ۳- ترازو، ۴- کابل RS232 و ۵- رایانه

کل رنگ با فرمول زیر محاسبه گردید (۲۳):

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L)^2 + (a_i - a)^2 + (b_i - b)^2} \quad [3]$$

اندیس i نماد مقدار اولیه است.

پایه تئوری

الف مدل سازی منحنی‌های خشک کردن لایه نازک در این مطالعه، داده‌های خشک کردن نهایی با روش مایکروویو و جابجایی با ۱۰ مدل ریاضی لیست شده در جدول ۱ برازش شدند. در این مدل‌ها MR ، نسبت رطوبت بدون بعد را نشان می‌دهد:

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad [4]$$

که M مقدار رطوبت محصول در هر زمان و M_e مقدار رطوبت تعادلی (نمونه‌های آفتابی ۰/۰۶ و تیزابی ۰/۰۸ گرم ماده خشک/گرم آب) و M_0 مقدار رطوبت اولیه است.

ب تعیین ضریب تبیین و آنالیز خطا

مناسب بودن مدل‌های ریاضی با داده‌های آزمایشی با ضریب تبیین (R^2) و مربع خی (χ^2) و ریشه مربعات میانگین

در مدت روشن بودن اجاق، کاهش جرم نمونه‌ها در فواصل زمانی ۱۰ ثانیه‌ای به رایانه انتقال یافت و پس از آن ثبت وزن نمونه‌ها در فواصل زمانی ۳۰ ثانیه انجام شد. خشک کردن به روش هوای داغ در دمای 50°C و توزین در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه‌ای و در روی توری آلومینیومی انجام گرفت. به منظور محاسبه ضرایب نفوذ رطوبت، رطوبت تعادلی نمونه‌ها در شرایط آزمایشی با روش وزن سنجی ایستا تعیین شد.

رنگ

نمونه‌ها قبل و بعد از فرآوری با استفاده از رنگ سنج ColorFlex; Model 45/0; Hunter Assoc., Reston, (Va., USA) اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش، اندازه سه بعد رنگ را با شاخص‌های کمی L ، a و b نشان می‌دهد که به ترتیب نشانگر روشنایی (از $L = 0$ برای سیاه تا $L = 100$ برای سفید)، سبز تا قرمز (از $a = -60$ برای سبز تا $a = +60$ برای قرمز) و آبی تا زرد (از $b = -60$ برای آبی تا $b = +60$ برای زرد) می‌باشند. قبل از هر بار اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها، دستگاه با استفاده از یک سطح سفید استاندارد ($L=100$) کالیبره شد و آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید. اختلاف

سریعاً همگرا شده و در بیشتر موارد با اولین جمله سری تقریب زده شده و به صورت لگاریتمی نوشته می شود (۳۳).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L_0^2} \quad [۸]$$

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت معمولاً با رسم داده‌های خشک شدن آزمایشی به صورت $\ln MR$ در مقابل زمان خشک شدن (t) تعیین می شود که نمودار یک خط مستقیم با شیب $\frac{(\pi^2 D_{eff})}{(4L_0^2)}$ می دهد.

نتایج و بحث

جذب آب مجدد

مقادیر جذب آب در همه تیمارها و برای هر دو روش میکروویو و جابجایی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳ مقادیر درصد جذب مجدد آب دو نوع انگور خشک شده را نشان می دهد. همانطور که در این جدول دیده می شود درصد جذب آب در شرایط کمترین زمان و دمای شستشو برای نمونه‌های تیزابی حدود ۴/۵ برابر نمونه‌های آفتابی است و درصد جذب آب در شرایط بیشترین زمان و دمای شستشو برای نمونه‌های تیزابی حدود ۳ برابر نمونه‌های آفتابی است. دلیل بالا بودن درصد جذب آب توسط انگور خشک شده تیزابی می تواند ناشی از ایجاد ترک‌های بسیار ریز در پوست و کاهش ضخامت پوست نمونه‌ها در اثر آماده سازی باشد، ضمن آنکه آماده سازی شیمیایی باعث افزایش نقاط جذب آب در پوست میوه می شود (۳۴).

خطا ($RMSE$) ارزیابی شد. مقادیر بالاتر R^2 و کمتر $RMSE$ مدل مناسب را نشان می دهد (۱۲ و ۲۶).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad [۵]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2} \quad [۶]$$

که $MR_{exp,i}$ ، i امین نسبت رطوبت آزمایشی و $MR_{pre,i}$ ، i امین نسبت رطوبت پیش بینی شده، N تعداد مشاهدات و z تعداد ثابت‌ها می باشد. در این مطالعه اختلاف کل رنگ بعنوان تابعی از روش خشک کردن با روش فاکتوریل آنالیز واریانس گردید. آنالیز رگرسیون غیر خطی با نرم افزار آماری STATISTICA انجام گرفت.

ج محاسبه ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

مشخصات خشک شدن محصولات بیولوژیکی با استفاده از قانون دوم نفوذ فیک توصیف می شود. کرانک (۱۹۷۵) این معادله را برای اجسام صفحه ای، کروی و استوانه ای شکل حل کرده است. با فرض اینکه توزیع رطوبت اولیه یکنواخت باشد و از تغییرات ضریب نفوذ، حجم و دانسیته صرف نظر شود می توان برای نمونه مورد مطالعه از معادله ۷ که برای اجسام صفحه ای (یک لایه نمونه روی سینی) صدق میکند استفاده کرد:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L_0^2}\right) \quad [۷]$$

که D_{eff} ، ضریب نفوذ مؤثر (متر مربع/ثانیه) و L_0 نیم بعد صفحه بر حسب (متر) می باشد. برای زمان‌های خشک شدن طولانی معادله ۷ ساده تر شده، و جملات در سری نامحدود

1 - Chi-square

2 Root mean square error

جدول ۴ مدل‌های ریاضی مختلف برای برازش منحنی‌های خشک کردن.

شماره	نام مدل	مدل	مرجع
۱	لوئیس	$MR = \exp(-kt)$	براس (۱۹۸۵)
۲	پیچ	$MR = \exp(-kt^n)$	پیچ (۱۹۴۹)
۳	پیچ اصلاح شده	$MR = \exp(-kt)^n$	وایت و همکاران (۱۹۸۱)
۴	هندرسون و پابیس	$MR = a \exp(-kt)$	هندرسون و پابیس (۱۹۶۱)
۵	لگاریتمی	$MR = a \exp(-kt) + c$	طغرل و پهلوان (۲۰۰۲)
۶	دو جمله ای	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-lt)$	هندرسون (۱۹۷۴)
۷	تقریب نفوذ	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	یالدیز و همکاران (۲۰۰۱)
۸	ونگ و سینگ	$MR = 1 + at + bt^2$	ونگ و سینگ (۱۹۷۸)
۹	ساده شده نفوذ فیک	$MR = a \exp(-c(\frac{t}{L^2}))$	دیامانت و مونرو (۱۹۹۱)
۱۰	پیچ اصلاح شده ۲	$MR = \exp(-c(\frac{t}{L^2})^n)$	دیامانت و مونرو (۱۹۹۱)

جدول ۴ جذب آب (بر حسب گرم) در نمونه‌های انگور خشک شده

جذب آب (بر حسب گرم) به ازاء ۱۰۰ گرم نمونه آفتابی					
جذب (g)	تیمار	جذب (g)	تیمار	جذب (g)	تیمار
۱/۸۱	۴۵۰ W-۲۵°C-۳۰ (min)	۱/۷۶	۲۷۰ W-۲۵°C-۳۰ (min)	۱/۵۰	conve-۲۵°C-۳۰ (min)
۳/۷۲	۴۵۰ W-۲۵°C-۶۰ (min)	۳/۶۵	۲۷۰ W-۲۵°C-۶۰ (min)	۳/۶۵	conve-۲۵°C-۶۰ (min)
۴/۰۷	۴۵۰ W-۴۵°C-۳۰ (min)	۴/۰۷	۲۷۰ W-۴۵°C-۳۰ (min)	۳/۷۴	conve-۴۵°C-۳۰ (min)
۷/۶۲	۴۵۰ W-۴۵°C-۶۰ (min)	۷/۵۸	۲۷۰ W-۴۵°C-۶۰ (min)	۷/۶۴	conve-۴۵°C-۶۰ (min)
جذب آب (بر حسب گرم) به ازاء ۱۰۰ گرم نمونه تیزابی					
۸/۰۱	۴۵۰ W-۲۵°C-۳۰ (min)	۷/۹۷	۲۷۰ W-۲۵°C-۳۰ (min)	۶/۵۸	conve-۲۵°C-۳۰ (min)
۱۲/۶	۴۵۰ W-۲۵°C-۶۰ (min)	۱۲/۵۴	۲۷۰ W-۲۵°C-۶۰ (min)	۱۱/۲۵	conve-۲۵°C-۶۰ (min)
۱۴/۸	۴۵۰ W-۴۵°C-۳۰ (min)	۱۴/۷۱	۲۷۰ W-۴۵°C-۳۰ (min)	۱۴/۲۳	conve-۴۵°C-۳۰ (min)
۲۳/۶۷	۴۵۰ W-۴۵°C-۶۰ (min)	۲۳/۶۸	۲۷۰ W-۴۵°C-۶۰ (min)	۲۳/۴۳	conve-۴۵°C-۶۰ (min)

جدول ۴ درصد جذب آب نمونه‌های انگور خشک شده پس از شستشو با آب در دما و زمانهای مختلف (%W_g).

نوع انگور خشک شده	متوسط درصد جذب آب (در دمای ۲۵°C و زمان ۳۰ دقیقه)	متوسط درصد جذب آب (در دمای ۴۵°C و زمان ۶۰ دقیقه)
آفتابی	۱/۶۹	۷/۶۱
تیزابی	۷/۵۲	۲۳/۵۹

رفتار خشک کردن نهایی مایکروویوی و جابجایی

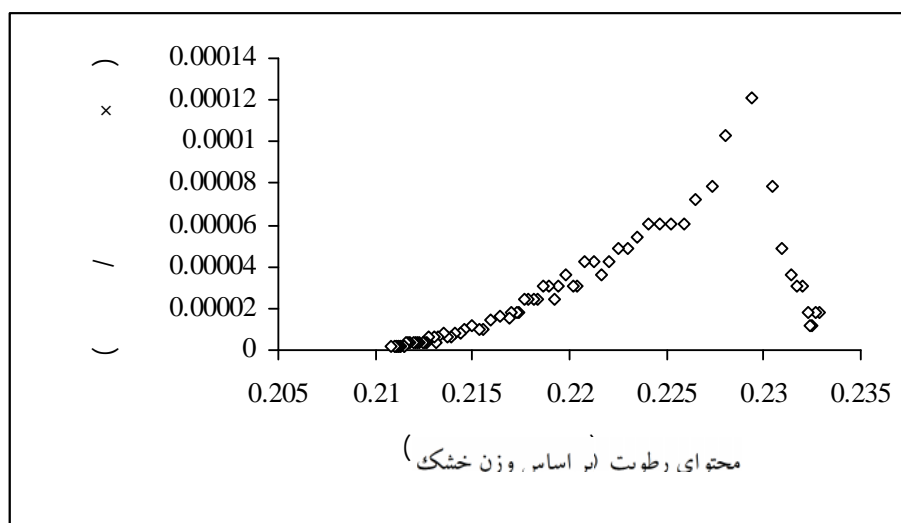
شکل ۲ منحنی سرعت خشک کردن نهایی یک نمونه آفتابی را در سطح توان ۴۵۰ وات، دمای آب ۲۵°C و زمان

شستشو ۳۰ دقیقه نشان می‌دهد. چنانچه در شکل دیده می‌شود در ابتدای فرآیند، سرعت خشک شدن نمونه افزایش می‌یابد، در این مرحله انرژی مایکروویو باعث گرم

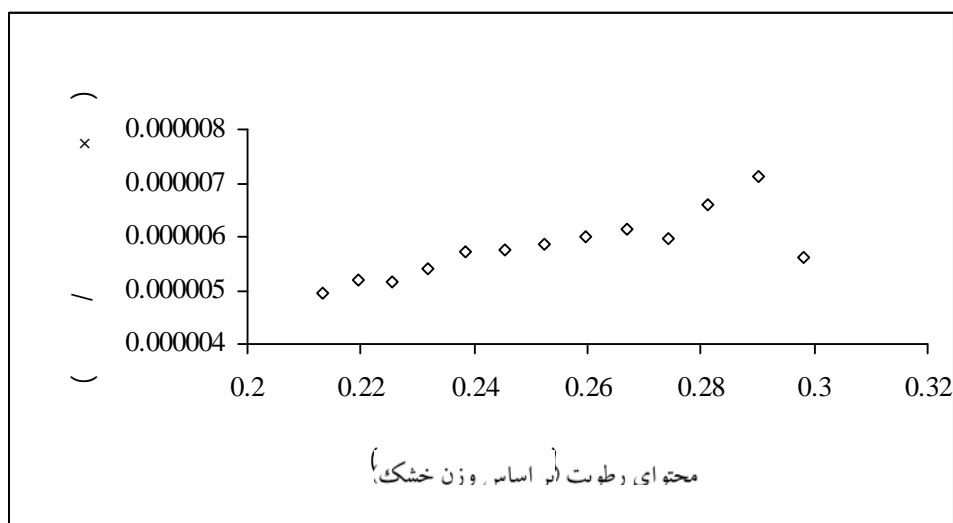
شدن نمونه می‌شود. در مقایسه این منحنی با منحنی کلاسیک سرعت خشک کردن یک ماده غذایی معلوم می‌شود که شدت افزایش سرعت خشک کردن نمونه آفتابی با مایکروویو بسیار قابل توجه است. دوره سرعت نزولی خشک شدن بلافاصله بعد از خاموش شدن مایکروویو رخ می‌دهد. در روش جابجایی نیز بعد از یک مرحله کوتاه گرم شدن نمونه در ابتدای فرآیند، دوره خشک شدن با سرعت نزولی آغاز می‌شود (شکل ۳).

در هر دو روش خشک کردن، دوره خشک شدن با سرعت ثابت مشاهده نمی‌شود. علت این پدیده می‌تواند ناشی از کسر جرمی قابل توجه قندها و رطوبت پایین نمونه‌های مورد مطالعه باشد و مطالعات قبلی پژوهشگران در رابطه با خشک کردن انگور تازه نیز این موضوع را تأیید می‌کند (۵ و ۲۱).

شکل ۴ منحنی سرعت خشک کردن انگور خشک شده آفتابی با روش مایکروویو در سطح توان ۴۵۰ وات، (دمای آب شستشو 25°C و زمان ۳۰ دقیقه)



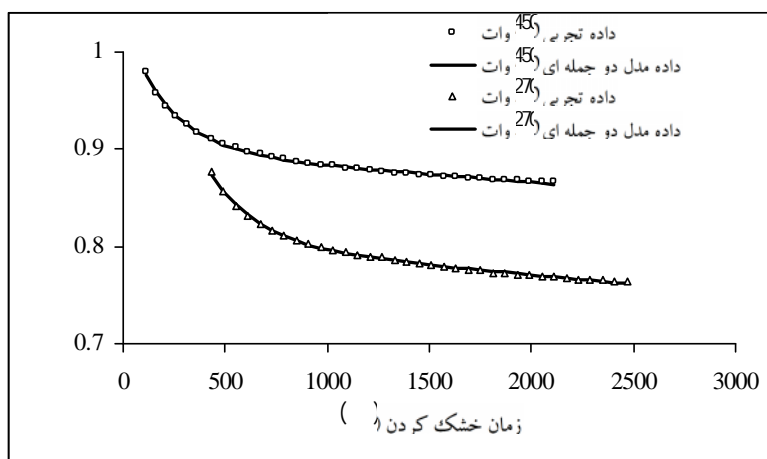
شکل ۴ منحنی سرعت خشک کردن انگور خشک شده آفتابی با روش مایکروویو در سطح توان ۴۵۰ وات، (دمای آب شستشو 25°C و زمان ۳۰ دقیقه)



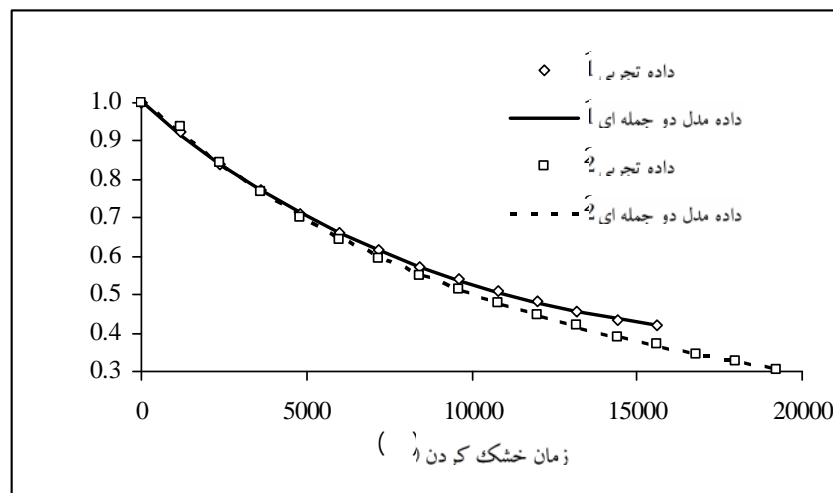
شکل ۵ منحنی سرعت خشک کردن انگور خشک شده آفتابی با روش جابجایی، (دمای آب شستشو 45°C و زمان ۶۰ دقیقه)

این دو شکل مشاهده می‌شود که در هر دو روش مایکروویو زمان مورد نیاز برای کاهش مقدار مساوی نسبت بدون بعد رطوبت، $2/8$ برابر کمتر از زمان لازم برای این کاهش در روش جابجایی است. در همه آزمایش‌ها منحنی سرعت خشک کردن در هر کدام از روش‌های خشک کردن مایکروویو و جابجایی، یکسان می‌باشند بطوری که تفاوت‌های اشاره شده در اشکال ۲ و ۳ در همه موارد بین دو روش مشاهده می‌شود.

با مقایسه اشکال ۲ و ۳ می‌توان استنباط نمود سرعت خشک کردن در روش مایکروویو برای نمونه‌های خشک شده آفتابی در مقادیر رطوبت یکسان (حدود $0/22$ درصد بر اساس وزن خشک) 10 برابر بیشتر از روش جابجایی است. علاوه بر آن، بر اساس این دو شکل حداکثر سرعت خشک شدن در روش مایکروویو بسیار بیشتر از روش جابجایی است. اشکال ۴ و ۵ نیز موضوع بالا بودن سرعت خشک شدن در روش مایکروویو را تأیید می‌نمایند. با توجه به



شکل ۴- برازش منحنی خشک شدن مایکروویو نمونه انگور خشک شده آفتابی در سطح توان ۴۵۰ و ۲۷۰ وات، دمای 45°C و زمان ۳۰ دقیقه با مدل دو جمله‌ای



شکل ۵- برازش منحنی خشک شدن جابجایی نمونه انگور خشک شده تیزابی در زمان ۳۰ دقیقه (۱) و زمان ۶۰ دقیقه (۲) و دمای آب 25°C

برآزش منحنی‌های خشک شدن

شکل ۴ و ۵ انطباق داده‌های مدل دو جمله ای را با داده‌های آزمایشی نشان می‌دهند. داده‌های تجربی حاصل از آزمایش‌های خشک کردن نهایی با روش جابجایی از ابتدای عمل و روش مایکروویو از لحظه خاموش شدن اجاق مایکروویو بر روی ۱۰ مدل لیست شده در جدول ۱ برآزش شدند. داده‌های مدل لوئیس و مدل اصلاح شده پیچ در سطح توان ۴۵۰ وات روی داده‌های تجربی هر دو نمونه آفتابی و تیزابی منطبق نمی‌شوند. همچنین این دو مدل و مدل تقریب نفوذ در سطح توان ۲۷۰ وات قادر به پیشگویی کاهش رطوبت هیچ کدام از نمونه‌ها نیستند. در خشک کردن نهایی انگور آفتابی در دو سطح توان ۲۷۰ و ۴۵۰ وات، مدل دو جمله ای دارای بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار $RMSE^2$ و $RMSE$ می‌باشد. مدل سازی روش جابجایی با همه ۱۰ مدل ممکن بوده و مدل دو جمله ای در برآزش داده‌های تجربی حاصل از روش خشک کردن نهایی نمونه‌های آفتابی دارای بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار $RMSE^2$ و $RMSE$ می‌باشد. همچنین، داده‌های مدل دو جمله ای، با بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار $RMSE^2$ و $RMSE$ روی داده‌های تجربی حاصل از روش خشک کردن نهایی همه نمونه‌های تیزابی منطبق می‌شود. جدول ۴ و ۵ کلیه مقادیر R^2 ، $RMSE^2$ و $RMSE$ همه آزمایش‌های انجام یافته را نشان می‌دهد.

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که زمان خشک شدن

در دوره سرعت نزولی را مقاومت به انتقال جرم داخلی کنترل می‌کند (۳۶). به این ترتیب مقادیر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در روش‌های مختلف با استفاده از معادله ۸ قابل محاسبه است. در خشک کردن نهایی با مایکروویو، محاسبه ضریب نفوذ مؤثر رطوبت بر اساس داده‌های حاصل از خشک شدن نمونه در دوره سرعت نزولی نشان می‌دهد که مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در سطح توان ۴۵۰ وات بیشتر از سطح توان ۲۷۰ وات می‌باشد. طبق نتایج مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در دوره سرعت نزولی برای نمونه آفتابی در سطح توان ۲۷۰ وات از $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ می‌باشد در حالی که مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در دوره سرعت نزولی برای نمونه آفتابی در سطح توان ۴۵۰ وات از $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ می‌باشد. همچنین مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در دوره سرعت نزولی برای نمونه تیزابی به ترتیب در سطح توان ۲۷۰ وات در محدوده $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ و در سطح توان ۴۵۰ وات از $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ می‌باشد. بر اساس گزارش ونگ و همکاران (۲۰۰۷) در فرآیند خشک کردن با افزایش توان انرژی مایکروویو ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش می‌یابد. مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در روش جابجایی برای نمونه آفتابی از $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ و برای نمونه تیزابی از $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ متفاوت است. با توجه به افزایش شدید سرعت خشک شدن در دوره گرم شدن نمونه در روش مایکروویو، استنباط می‌شود انجام متوالی این روش در زمان کم می‌تواند به تولید یک محصول با رطوبت مطمئن منتهی شود. البته مطالعه اقتصاد فرآیند از ضرورت‌های

1-Lewis
2-Modified Page
3-Approximation of diffusion
4 Two-term

تحقیقاتی در این زمینه است.

جدول ۴- مقادیر R^2 و $RMSE$ تیمارهای مختلف ۳۰ دقیقه

مدل	دمای ۲۵°C				دمای ۴۵°C							
	آفتابی		تیرابی		آفتابی		تیرابی					
	χ^2	RMSE	R^2	χ^2	RMSE	R^2	χ^2	RMSE	R^2			
	توان ۲۰ وات											
۲	۴/۵۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۶	۰/۸۸۹۰	۷/۱۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۳	۰/۹۳۳۹	۵/۶۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۷۴	۰/۹۱۹۵	۴/۵۸×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۷	۰/۹۶۹۶
۴	۸/۵۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۱	۰/۸۰۸۵	۲/۱۸×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۴۵	۰/۸۲۸۱	۱/۳۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۰۹	۰/۸۳۳۹	۱/۴۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۱۹	۰/۹۰۳۳
۵	۸/۴۸×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۸	۰/۹۷۹۷	۶/۳۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۴	۰/۹۵۵۱	۱/۳۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۱۳	۰/۸۱۱۱	۲/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۵۳	۰/۹۸۰۸
۶	۱/۵۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۱	۰/۹۹۶۴	۲/۹۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۶	۰/۹۹۳۷	۹/۹۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۹	۰/۹۹۸۶	۲/۶۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۶	۰/۹۹۸۲
۸	۲/۷۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۶۳	۰/۳۳۴۳	۸/۱۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۸۱	۰/۳۵۵۹	۳/۲۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۷۷	۰/۵۳۴۶	۵/۳۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۲۹	۰/۶۴۶۱
۹	۸/۷۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۱	۰/۷۹۰۶	۲/۲۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۴۵	۰/۸۲۸۱	۱/۲۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۰۹	۰/۸۳۳۹	۱/۴۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۱۹	۰/۹۰۳۳
۱۰	۴/۶۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۶	۰/۸۸۹۰	۹/۸۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۶	۰/۹۳۳۹	۵/۷۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۷۴	۰/۹۱۹۵	۶/۶۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۷	۰/۹۶۹۶
	توان ۴۵ وات											
۲	۱/۰۸×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۰۲	۰/۹۰۵۰	۹/۶۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۷	۰/۹۶۶۸	۷/۳۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۴	۰/۹۶۶۸	۶/۹۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۲	۰/۹۵۶۲
۴	۲/۴۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۵۲	۰/۷۸۹۲	۳/۰۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۷۲	۰/۸۳۲۵	۱/۹۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۳۷	۰/۸۰۷۵	۲/۴۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۵۵	۰/۸۴۵۰
۵	۶/۷۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۴۱	۳/۸۸×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۱	۰/۹۷۸۸	۱/۰۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۳۱	۰/۹۸۹۹	۲/۴۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۸	۰/۸۵۲۹
۶	۸/۱۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۳	۷/۰۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۹	۱/۰۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۰	۰/۹۹۹۹	۱/۶۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۲	۰/۹۹۸۹
۷	۸/۰۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۸	۰/۳۰۰۲	۱/۵۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۳۸۸	۰/۴۴۹۹	۷/۱۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۵۵	۰/۲۸۱۸	۹/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۳۱۲	۰/۳۷۵۸
۸	۱/۶۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۲۷	۰/۸۵۴۴	۶/۲۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۴۷	۰/۶۵۵۶	۲/۰۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۴۱	۰/۷۹۵۰	۳/۷۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۹۱	۰/۷۶۵۵
۹	۲/۴۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۵۲	۰/۷۸۹۲	۳/۰۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۷۲	۰/۸۳۲۵	۱/۹۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۳۷	۰/۸۰۷۵	۲/۴۸×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۵۵	۰/۸۴۵۰
۱۰	۱/۱۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۰۲	۰/۹۵۱۳	۹/۸۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۷	۰/۹۶۶۸	۷/۴۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۴	۰/۹۶۶۸	۷/۰۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۲	۰/۹۵۶۲
	جایزگی											
۱	۲/۹۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۷	۰/۹۸۸۹	۵/۰۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۱۷	۰/۹۸۵۵	۴/۵۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۵۰	۲/۷۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۶۲	۰/۹۹۶۷
۲	۵/۹۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۹۳	۱/۱۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۷	۰/۹۹۳۰	۶/۲۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۱	۰/۹۹۹۴	۸/۳۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۶	۰/۹۹۸۵
۳	۴/۴۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۷	۰/۹۸۸۹	۵/۴۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۱۷	۰/۹۸۵۵	۵/۳۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۵۰	۲/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۶۲	۰/۹۹۶۷
۴	۳/۳۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۰	۰/۹۹۱۶	۳/۸۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۸۲	۰/۹۸۹۷	۲/۵۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۴	۰/۹۹۷۵	۲/۳۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۴۵	۰/۹۹۵۸
۵	۳/۷۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۳۷	۰/۵۳۲۶	۲/۸۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۱۴۹۹	۰/۳۰۸۹	۸/۷۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۲۳۹	۰/۳۱۸۸	۴/۵۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۱۹۶۳	۰/۲۴۰۵
۶	۹/۶۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۷۶	۱/۱۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۸	۰/۹۹۹۷	۲/۶۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۱۱	۰/۹۹۹۹	۱/۹۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۳۹	۰/۹۹۹۶
۷	۴/۶۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۸	۰/۹۸۸۵	۵/۳۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۶	۰/۹۹۸۶	۱/۱۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۳۰	۰/۹۹۸۸	۵/۷۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۷۱۹	۰/۹۹۹۴
۸	۶/۹۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۹۹	۴/۲۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۸۸	۱/۶۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۸۴	۱/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۳۲	۰/۹۹۶۵
۹	۶/۷۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۰	۰/۹۹۱۶	۴/۳۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۸۲	۰/۹۸۹۷	۳/۱۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۴	۰/۹۹۷۵	۲/۵۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۱۴۵	۰/۹۹۵۸
۱۰	۱/۱۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۶۸	۱/۲۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۹۷	۰/۹۹۳۰	۷/۵۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۲۱	۰/۹۹۹۴	۸/۸۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۶	۰/۹۹۸۵

جدول ۵- مقادیر R^2 و $RMSE$ تیمارهای مختلف ۶۰ دقیقه

مدل	دمای ۲۵ °C				دمای ۴۵ °C							
	آفتابی		تیرابی		آفتابی		تیرابی					
	χ^2	RMSE	R^2	χ^2	RMSE	R^2	χ^2	RMSE				
	توان ۲۷۰ وات				توان ۲۷۰ وات							
۲	۷/۶۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۸۵	۰/۹۰۵۷	۵/۸۲×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۸۹	۰/۹۳۳۵	۵/۸۲×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۷۵	۰/۹۰۹۵	۲/۸۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۲	۰/۹۷۴۳
۴	۱/۵۵×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۲۲	۰/۸۰۷۸	۱/۹۵×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۷	۰/۸۴۳۱	۱/۲۵×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۱۰	۰/۸۰۵۰	۱/۰۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۰۲	۰/۹۰۲۹
۵	۱/۶۹×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۲۷	۰/۷۹۳۷	۱/۱۷×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۳۳	۰/۹۰۰۷	۱/۳۵×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۱۴	۰/۷۹۲۳	۱/۲×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۰۸	۰/۸۹۱۷
۶	۷/۵۸×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۰	۲/۳۸×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۵	۰/۹۹۸۱	۱/۹۲×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۳	۰/۹۹۷۰	۲/۹×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۶	۰/۹۹۷۴
۸	۳/۴۹×۱۰ ^{-۲}	۰/۰۱۸۳	۰/۵۶۷۷	۵/۳۳×۱۰ ^{-۲}	۰/۰۲۲۵	۰/۵۸۰۳	۳/۱۶×۱۰ ^{-۲}	۰/۰۱۷۵	۰/۵۰۹۸	۳/۹۱×۱۰ ^{-۲}	۰/۰۱۹۶	۰/۶۴۵۵
۹	۱/۵۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۲۲	۰/۸۰۷۸	۱/۹۸×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۷	۰/۸۴۳۱	۳/۳۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۵۸۲	۰/۸۲۵۱	۱/۰۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۰۲	۰/۹۰۲۹
۱۰	۷/۷۳×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۵	۰/۹۰۵۷	۸/۴۱×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۹	۰/۹۳۳۵	۳/۳۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۷۵	۰/۹۲۳۰	۲/۸۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۵۲	۰/۹۷۴۳
	توان ۴۵۰ وات				توان ۴۵۰ وات							
۲	۷/۵۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۸۵	۰/۹۰۵۶	۴/۹۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۶۹	۰/۹۶۷۷	۷/۱۲×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۸۳	۰/۹۳۴۳	۲/۳۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۶	۰/۹۸۷۶
۴	۱/۸۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۳	۰/۸۸۴۳	۱/۸۵×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۵	۰/۸۷۶۶	۲/۰۰×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۴۰	۰/۸۱۵۳	۱/۳۶×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۱۵	۰/۸۹۸۹
۵	۱/۳۴×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۳۴	۰/۹۵۵۱	۲/۶۷×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۰	۰/۹۸۲۵	۱/۵۵×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۳۸	۰/۹۸۵۷	۱/۹۶×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۳	۰/۹۸۵۷
۶	۴/۷۰×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۹۴	۱/۳۸×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۱	۰/۹۹۹۱	۸/۳۱×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۸	۰/۹۹۹۲	۸/۶۵×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۰۰۹	۰/۹۹۹۳
۷	۷/۴۱×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۲۶۹	۰/۱۰۷۳	۷/۳۰×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۲۶۷	۰/۵۱۸۸	۷/۷۸×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۲۷۶	۰/۴۸۲۳	۵/۸۸×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۲۴۰	۰/۵۶۶۵
۸	۲/۳۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۴۸	۰/۷۳۶۸	۲/۸۶×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۶۷	۰/۸۱۱۲	۲/۵۴×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۵۷	۰/۷۶۵۸	۲/۶۰×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۶۰	۰/۸۰۹۷
۹	۱/۸۳×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۳	۰/۸۸۴۳	۱/۸۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۳۵	۰/۸۷۶۶	۲/۰۰×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۴۰	۰/۸۱۵۳	۱/۳۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۱۵	۰/۸۹۸۹
۱۰	۷/۵۹×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۵	۰/۹۰۵۶	۴/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۶۹	۰/۹۶۷۷	۷/۳۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۸۳	۰/۹۳۴۳	۲/۳۵×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۴۶	۰/۹۸۲۶
	جابجایی				جابجایی							
۱	۵/۵۷×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۳۶	۳/۱۷×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۷۲	۰/۹۹۳۳	۸/۵۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۸۹	۰/۹۹۵۶	۳/۳۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۶	۰/۹۹۹۴
۲	۴/۶۰×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۹۵	۱/۱۸×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۰۲	۰/۹۹۷۶	۴/۱۱×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۹۱	۳/۳۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۴	۰/۹۹۹۵
۳	۶/۵۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۶۹	۰/۹۹۳۶	۳/۳۷×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۱۷۲	۰/۹۹۳۳	۹/۱۶×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۸۹	۰/۹۹۵۶
۴	۳/۱۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۶۹	۲/۸۳×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۵۸	۰/۹۹۴۴	۳/۶۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۸۲	۲/۶×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۹۶
۵	۸/۴۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۷۲۵	۰/۳۱۱۷	۳/۹۹×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۸۱۳	۰/۶۶۲۶	۱/۸۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۱۲۱۳	۰/۱۹۳۸	۵/۶۴×۱۰ ^{-۳}	۰/۳۳۰۸	۰/۳۱۰۰
۶	۲/۰۸×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۰	۰/۹۹۹۹	۳/۶۹×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۹۳	۱/۱۴×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۳۲	۰/۹۹۹۷	۲/۴۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۴	۰/۹۹۹۶
۷	۷/۰۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۷۲	۰/۹۹۳۰	۵/۶۰×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۷۰	۰/۹۹۸۸	۸/۴۲×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۲۷	۰/۹۹۹۵	۳/۴۶×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۶	۰/۹۹۹۴
۸	۱/۵۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۳۳	۰/۹۹۸۵	۱/۳۳×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۰۸	۰/۹۹۷۳	۱/۳۶×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۳۴	۰/۹۹۹۲	۱/۴۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۱۱۴	۰/۹۹۷۸
۹	۳/۷۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۶۹	۳/۰۳×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۵۸	۰/۹۹۴۴	۳/۹۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۵	۰/۹۹۸۲	۲/۷۴×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۴۸	۰/۹۹۹۶
۱۰	۵/۵۲×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۹۵	۱/۳۶×۱۰ ^{-۴}	۰/۰۱۰۲	۰/۹۹۷۶	۴/۱۶×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۹۵	۳/۴۷×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۵۴	۰/۹۹۹۵

رنگ انگور خشک شده بالاترین رقم (L) و کمترین رقم نسبت (a/b) است. یعنی روشن ترین رنگ با کمترین ارزش نسبت قرمز به زردی، نمایانگر بهترین رنگ انگور خشک شده است (۴ و ۷ و ۲۹). پارامترهای رنگ هانتر از وابستگی دمایی مدل آرنیوس برخوردارند (۴). شکل ۶ تأثیر روش

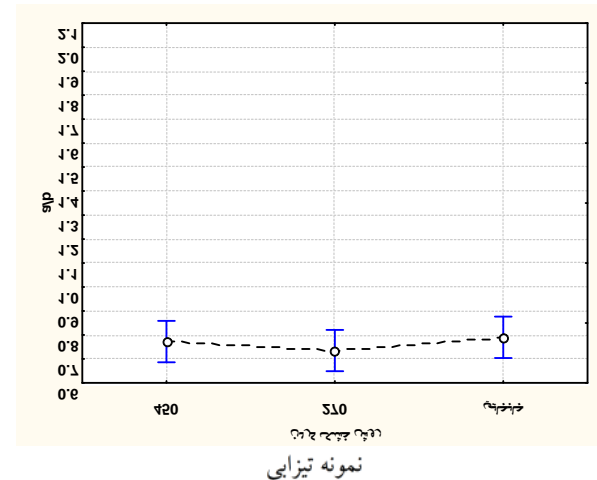
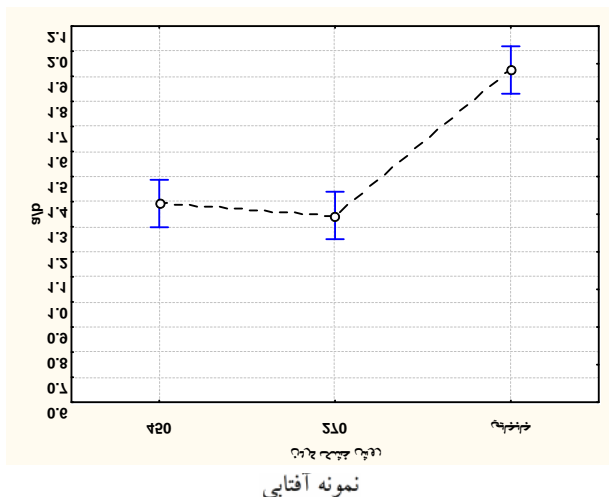
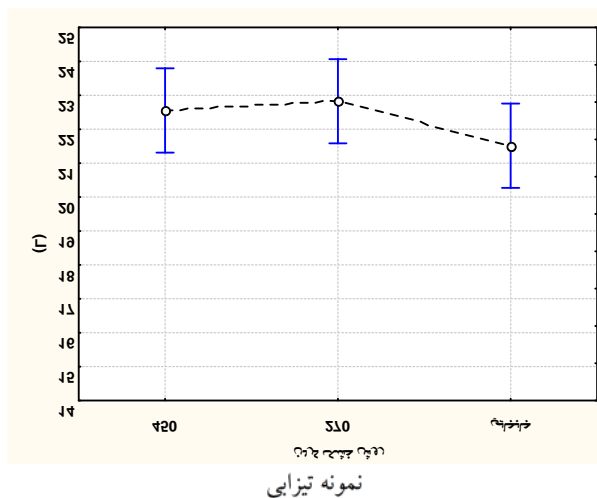
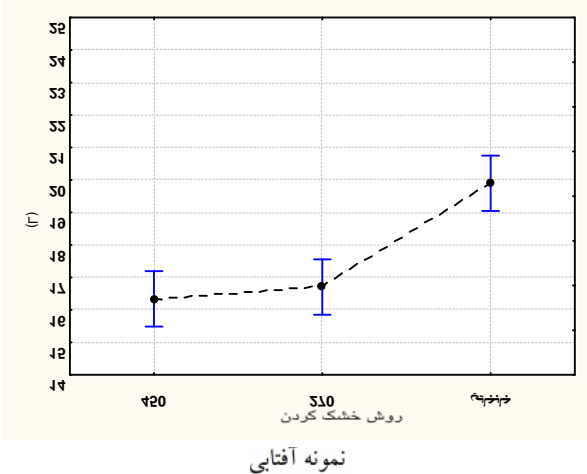
رنگ رنگ یکی از مهمترین ویژگی های کیفی میوه های خشک شده است و در طی خشک کردن و نگهداری طولانی مدت به علت برخی واکنش های شیمیایی و بیوشیمیایی، تغییر می کند. معیار داوری برای تعیین بهترین

نمونه های آفتابی، به دلیل اعمال دمای بالا به مدت زیاد ممکن است نسبت a/b از طریق واکنش مایارد افزایش یابد.

نتیجه گیری کلی

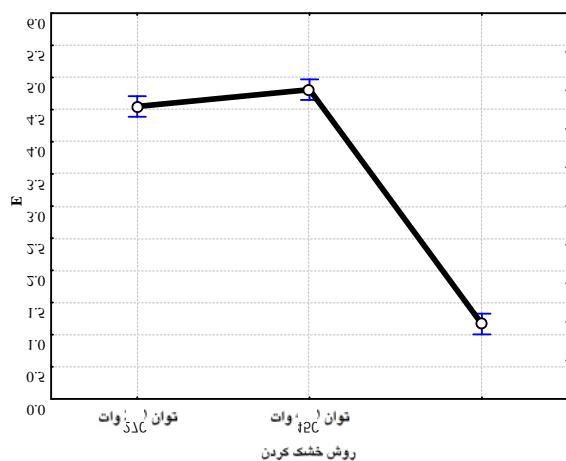
نتایج این تحقیق حاکی از امکان کاربرد مدل دو جمله‌ای در توصیف رفتار خشک کردن نهایی در هر دو نوع کشمش مورد مطالعه است.

خشک کردن نهایی را بر روی L و نسبت a/b نمونه های مورد مطالعه نشان می دهد. بر اساس این نتایج در انگور خشک شده آفتابی، خشک کردن نهایی با روش جابجایی سبب افزایش قابل توجه L و نسبت a/b و روش مایکروویو با توان کم (270 W) سبب افزایش کم L و همینطور سبب کاهش کم نسبت a/b می گردد. در نمونه های تیزابی، خشک کردن نهایی با روش جابجایی اثر نامطلوب، و روش مایکروویو با توان کم (270 W) تاثیر مطلوبی بر روی رنگ نمونه دارد. طی خشک کردن نهایی با روش جابجایی برای



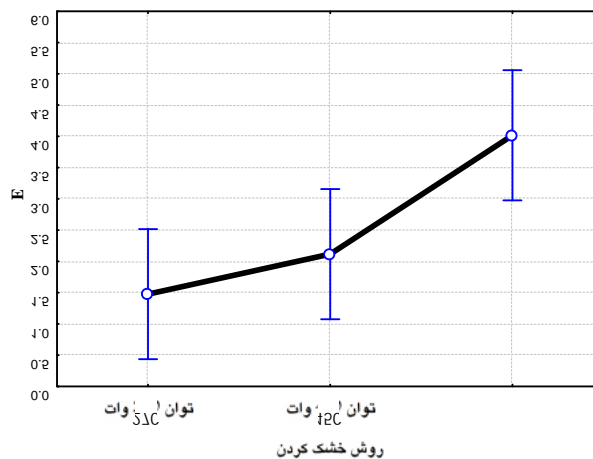
شکل ۶- تاثیر روش خشک کردن نهایی بر روی شاخص های رنگ (L و نسبت a/b) نمونه های انگور خشک شده آفتابی و تیزابی

توجه رقم L در روش خشک کردن جابجایی، این روش برای خشک کردن نهایی مناسب تر به نظر می‌رسد. شکل ۷ تغییرات اختلاف کل رنگ (ΔE) در دوروش مایکروویوی و جابجایی را نشان می‌دهد. آنالیز واریانس اختلاف کل رنگ نشان می‌دهد که در سطح $\alpha = 0.05$ روش خشک کردن تاثیر معنی داری بر روی ΔE دارد.



نمونه آفتابی

با توجه به زمان خشک شدن، ضریب مؤثر نفوذ رطوبت و شاخص های رنگ، به نظر می‌رسد که روش مایکروویو تحت شرایط کنترل شده برای خشک کردن نهایی انگور خشک شده تیزابی قابل استفاده است. با وجود مزیت بالا بودن ضریب مؤثر نفوذ رطوبت روش مایکروویو در 450 W برای خشک کردن نهایی نمونه آفتابی، به دلیل افزایش قابل



نمونه تیزابی

شکل ۷ تاثیر روش خشک کردن نهایی بر روی اختلاف کل رنگ (ΔE) نمونه های انگور خشک شده آفتابی و تیزابی

منابع

- استاندارد ملی ایران، شماره ۶۷۲، اندازه گیری رطوبت خشکبار، چاپ پنجم.
- Abbasi, S. and S. Rahimi, 2007. Microwave and it application in food industries Sonboleh., 20(163): 28-29
- Adu, B. and L. Otten. 1996. Effect of increasing hygroscopicity on the microwave heating of solid foods. Journal of Food Engineering., 27: 35-44
- Aguilera, J.M., K. Oppermann, and F. Sanchez. 1987. Kinetics of browning of sultana grapes. Journal of Food Science., 52(4): 990-993, 1025
- Azzouz, S., A., Guizani, W. Jomaa, and A. Belghith. 2002. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. Journal of Food Engineering., 55: 323-330
- Bruce, D. M. 1985. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Journal of Agricultural Engineering Research., 32: 337-347
- Canellas, J., C., Rossello, S., Simal, L. Soler, and A. Mulet. 1993. Storage conditions affect quality of raisins. Journal of Food Science., 58(4): 805-809
- Clary, C. D., E., Mejia-Meza, S. Wang, and V. E. Petrucci. 2007. Improving grape quality using

- microwave vacuum drying associated with temperature control. *Journal of Food Science.*, 72(1): 23-28
- 9) Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*. Oxford, England: Clarendon Press.
- 10) Diamante, L. M. and P. A. Munro. 1991. Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology.*, 26: 99-109
- 11) Drouzas, A. E. and H. Schubert. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering.*, 28: 203-209
- 12) Ertekin, C. and O. Yaldiz. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering.*, 63: 349-359
- 13) Esmaili, M., R., Sotudeh-gharebagh, Cronin, K., E. Mousavi, M. A. and G. Rezazadeh. 2007. Grape drying, A Review. *Food Reviews International.*, 23: 257-280
- 14) Feng, H. and J. Tang. 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science.*, 63: 679-683
- 15) Funebo, T. and T. Ohlsson. 1998. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering.*, 38: 353-367
- 16) Henderson, S. M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of ASAC.*, 17: 1167-1172
- 17) Henderson, S. M. and S. Pabis. 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research.*, 6: 169-174
- 18) Kostaropoulos, A. E. and G. D. Saravacos. 1995. Microwave pretreatment for sun-dried raisins. *Journal of Food Science.*, 60: 344-347
- 19) Kostaropoulos, A. E., J., Mondala, W. E. L. Spiess, and G. D. Saravacos. 1997. Factors influencing the friction of raisins during processing and handling. *Journal of Food Engineering.*, 33: 385-393
- 20) Krokida, M. K. and D. Marinos-Kouris. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering.*, 57: 1-7
- 21) Mahmutoglu, T., F. Emir, and Y. B. Saygi. 1996. Sun/solar drying of differently treated grapes and storage stability of dried grapes. *Journal of food Engineering.*, 29: 289-300
- 22) Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering.*, 44: 71-78
- 23) Maskan, M. 2001. Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering.*, 48: 169-175
- 24) Mertens, B. and D. Knorr. 1992. Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technology.*, 46(5): 124-133
- 25) Okos, M.R., G., Narishman, R. K. Singh, and A. C. Weitnauer. 1992. Food dehydration. In *Handbook of Food Engineering* (pp.437-562). New York: Marcel Dekker
- 26) Özdemir, M. and Devres, Y. O. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering.*, 42: 225-233
- 27) Page, G. E. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M.S. thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA.
- 28) Prabhanjan, D. G., H. S. Ramaswamy and G. S. V. Raghavan. 1995. Microwave-assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering.*, 25: 283-293
- 29) Simal, S., C., Rossello, E. Sanchez, and J. Canellas. 1996. Quality of raisins treated and stored under different conditions. *Journal Agricultural and Food Chemistry.*, 44: 3297-3302
- 30) Singh, R. P. and D. R. Heldmon. 2002. *Introduction to Food Engineering* Academic Press, Amsterdam
- 31) Togrul, I. T. and D. Pehlivan. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering.*, 55: 209-216
- 32) Tulasidas, T. N. 1994. Combined convective and microwave drying of grapes. Ph.D. thesis, Montreal QC: McGill University: Departmental of Agriculture Engineering
- 33) Tutuncu, M. A. and T. P. Labuza. 1996. Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient. *Journal of Food Engineering.*, 30: 433-447
- 34) Vazques, G., Chenlo, F., Moreira, R. and A. Costoyas. 2000. Effects of various treatments on the drying

- kinetics of Muscatel grapes. *Drying Technology.*, 18(9): 2131-2144
- 35) Wang, C. Y. and R. P. Singh. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers.*, 11: 668-672
- 36) Wang, Z., J., Sun, F., Chen, X. Liao, and X. Hu. 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Journal of Food Engineering.*, 80: 536-544
- 37) White, G. M., I. J. Ross and R. Ponekert. 1981. Fully exposed drying of popcorn. *Transactions of the ASAE.*, 24: 466-468
- 38) Yaldiz, O., C. Ertekin, and H. I. Uzun. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy.*, 26: 457-465
- 39) Yongsawatdigul, J. and S. Gunasekaran. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation.*, 20: 145-156