

(مقاله پژوهشی)

## بررسی تأثیر دما بر سینتیک خشک کردن و میزان بتاکاروتن تفاله هویج با استفاده از آون جابجایی هوای داغ

سارا ناجی طبسی<sup>۱</sup>، احسان اکبری<sup>۲</sup>، آتنا مدیری دوم<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم صنایع غذایی، مشهد، ایران

۲- دانشجوی دکتری شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۳- دانشجوی دکتری علوم صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۲

### چکیده

استفاده از ضایعات محصولات کشاورزی همواره حائز اهمیت بوده، خشک کردن آن‌ها یکی از مهم‌ترین فرآیندها برای نگهداری طولانی‌مدت این محصولات می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی سینتیک خشک کردن تفاله هویج و ارزیابی خصوصیات ضد اکسیدانی و رنگی تفاله هویج پس از خشک کردن بود. بدین منظور تفاله‌های تهیه شده در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و خصوصیات ضد اکسیدانی و رنگی تفاله تازه و خشک شده بررسی گردید. نتایج نشان داد که بهترین مدل جهت پیشگویی سینتیک خشک کردن تفاله‌های هویج در هر سه دما مدل Midilli-Kucuk با همبستگی ( $R^2$ ) ۰/۹۹۹۴، ۰/۹۹۸۶ و ۰/۹۹۹۴ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۰۰۸۸، ۰/۰۰۹۱ و ۰/۰۱۹ به ترتیب برای دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. طی فرایند خشک کردن میزان بتاکاروتن تفاله هویج خشک شده ( $30/10 \pm 0/08$  mg/100g) دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به تفاله تازه ( $150/66 \pm 1/4$  mg/100g) ۸۰/۲ درصد کاهش یافت که این اختلاف در سطح ( $p < 0/005$ ) معنی دار بود و همچنین دمای ۶۰ درجه بیشترین تأثیر را در کاهش بتاکاروتن داشت. با کاهش میزان بتاکاروتن شاخص‌های رنگی  $L$ ،  $a$ ،  $b$  نیز تغییر یافتند. تغییرات شاخص  $a$  همبستگی بالایی (۰/۹۹۹۶) با میزان بتاکاروتن نشان داد.

**واژه های کلیدی:** بتاکاروتن، تفاله هویج، رنگ سنجی، مدل‌سازی تجربی

## ۱- مقدمه

تفاله بخش عمده‌ای از پسماندهای فراوری میوه‌های تازه برای تولید آبمیوه و نوشابه‌های گازدار را تشکیل می‌دهد که حدود ۲۵ درصد از حجم مواد اولیه فراوری است. تفاله همچنین ممکن است یک ماده خام ارزان برای تولید غذا و خوراک دام باشد (۱). مدیریت مناسب پسماندهای فراوری میوه و سبزیجات ممکن است به میزان قابل‌توجهی هزینه حمل و نقل را کاهش دهد. همچنین استفاده مجدد از پسماندها به‌عنوان یک ماده خام برای تولید محصولات جدید به‌عنوان فرصت اقتصادی حائز اهمیت است (۲). مصرف هویج در سال‌های اخیر به دلیل فعالیت ضد اکسیدانی و ضد سرطانی بتاکاروتن افزایش یافته است (۳). هویج بسیار مغذی است زیرا حاوی ویتامین B1، B2، B6، B12 و مواد معدنی مختلف است. با این حال، هویج تازه یک محصول فصلی است و بسیار حساس به رطوبت است (۴). آب هویج دارای محتوای ویژه‌ای از پیش ساز ویتامین A (بتاکاروتن) است. همچنین دارای کمپلکس ویتامین‌های B و بسیاری از مواد معدنی شامل کلسیم، مس، منیزیم، پتاسیم، فسفر، آهن و فولیک اسید می‌باشد. تفاله هویج یک محصول جانبی است که طی فراوری آب هویج به دست می‌آید. بازده آب در هویج تنها ۶۰-۷۰٪ است و حتی تا ۸۰٪ از کاروتن ممکن است در تفاله هویج باقی بماند (۵). تفاله هویج دارای مقدار قابل‌توجهی از تمام ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبرهای رژیمی است. تفاله هویج به علت رطوبت بالا یک محصول فسادپذیر است. خشک کردن یا آبگیری بهترین روش برای افزایش عمر مفید مواد غذایی فاسد پذیر جهت استفاده بیشتر است (۶). تفاله هویج منبع خوبی از فیبرهای رژیمی است که ۵۴/۲ درصد آن را فیبر رژیمی تشکیل داده است (۲). فیبر غذایی به مخلوطی از ترکیبات حاوی پلیمرهای کربوهیدرات و ترکیبات غیر کربوهیدراتی اشاره دارد. به‌طور کلی فیبرهای رژیمی بر اساس حلالیت در آب به دو گروه تقسیم می‌شوند: فیبرهای رژیمی محلول ( $SDF^1$ ) و فیبرهای رژیمی

غیر محلول ( $IDF^2$ ) (۷).  $SDF$  فعالیت ضد چربی خون بالاتری از  $IDF$  دارد. اگرچه فعالیت زیستی  $SDF$  پایین‌تر از ویتامین‌ها یا مواد معدنی است، اما دارای خواص منحصر به فرد با نقش‌های مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی در انسان است و همچنین می‌تواند جذب و حذف فلزات سمی سنگین را انجام دهد (۸) علاوه بر این، در مقایسه با  $IDF$ ،  $SDF$  دارای ظرفیت حفظ آب و گرانوری بسیار خوبی است و می‌تواند به‌راحتی توسط فلور میکروبی در روده تخمیر شود و به سایر محصولات غذایی اضافه شود (۹). مصرف بالای گوشت، کلسترول و عدم مصرف کافی میوه و سبزیجات سبب افزایش بیماری‌های قلبی و عروقی، چاقی و سرطان شده است. مصرف فیبرهای رژیمی سبب کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، سکنه مغزی، فشار خون بالا، دیابت، چاقی و برخی بیماری‌های دستگاه گوارش می‌شود (۱۰). کاهش محتوی رطوبت یکی از روش‌های قدیمی جهت حفاظت از محصولات کشاورزی است. امروزه روش‌های مختلف خشک کردن به‌منظور جلوگیری از فساد و افزایش انبارمانی میوه‌ها و سبزیجات به کار گرفته شده است که خشک کن هوای داغ برای خشک کردن مواد غذایی به‌طور گسترده در سطح تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این خشک کن دمای عملیاتی تأثیر عمده‌ای بر کیفیت محصول خشک شده می‌گذارد (۱۱). خشک کردن مواد با رطوبت بالا یک فرایند پیچیده است که شامل انتقال هم‌زمان حرارت و جرم می‌باشد (۱۲). طی خشک کردن مواد ورودی که شکل و اندازه به خصوصی دارند ممکن است دچار تغییر ساختار شوند. از دست دادن آب باعث تغییر در خواص مکانیکی و ساختاری مواد غذایی می‌شود، در نتیجه منجر به کاهش تحرک ساختاری به علت کمبود آب و افزایش درصد مواد جامد می‌شود (۱۳). در طراحی و کار کردن با خشک کن‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی مناسب مورد نیاز است. محققین تعدادی از مدل‌های شبیه‌سازی را برای سیستم‌های خشک کن با جابه‌جایی اجباری و طبیعی بیان کرده‌اند

با استفاده از آب میوه گیر خانگی (آبمیوه گیر پارس خزر، ۷۰۰، ایران) آب میوه گرفته شد. سپس تفاله هویج جهت انجام آزمایشات بعدی در بسته‌های مناسب قرار گرفت و در یخچال نگهداری شد.

#### ۲-۲- خشک کردن تفاله‌های هویج

تفاله‌های تهیه شده طی فرایند آبیگری از هویج در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از آون جابجایی هوای داغ (memmert-UNB40) تا رسیدن به رطوبت تعادلی (وزن ثابت) خشک گردیدند. آون مجهز به فن و با قدرت ۱۰۰ درصد هوای داخل آون را یکنواخت می‌کرد.

#### ۲-۳- استخراج بتاکاروتن

تفاله هویج خشک شده و تازه با حلال اتیل استات به نسبت ۱ به ۱۰ (وزنی به حجمی) مخلوط گردید و به جهت همگن شدن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط روی همزن مغناطیسی مخلوط شد. بعد از اتمام زمان موردنظر محلول حاوی حلال و تفاله توسط پمپ خلأ و کیف بوختر از کاغذ صافی عبور داده شد. حلالی که از صافی عبور داده شده بود در یک بشر جمع‌آوری گردید و تفاله باقی‌مانده روی کاغذ صافی با حلال اتیل استات تا از بین رفتن رنگ نارنجی شسته و حلال حاصل از این شستشو به حلال قبل اضافه گردید. عصاره جدا شده با تبخیرکننده دوار کاملاً خشک گردید. سپس به رنگدانه تغلیظ شده مجدداً ۵ میلی‌لیتر اتیل استات اضافه گردید و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در ظروف تیره تا زمان آزمایش تعیین میزان بتاکاروتن در فریزر نگهداری شد (۱۷).

#### ۲-۴- تعیین مقدار بتاکاروتن

برای تعیین میزان بتاکاروتن از روش Chan و همکاران (۱۹۸۲) استفاده گردید. با استفاده از دستگاه اسپکتوفوتومتری مقدار بتاکاروتن در طول موج ۴۳۶ نانومتر برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم تفاله با فرمول ۱ محاسبه گردید (۱۸).

(۱۴). در واقع هدف از فرآیند مدل‌سازی، انتخاب مدل‌های مناسب قابل‌استفاده در حیطه کاری مورد نظر و برازش داده‌های آزمایشگاهی با این مدل‌ها می‌باشد به طوری که بتوان از بین این مدل‌ها، بهترین مدل را که داده‌های آزمایشگاهی را برازش می‌کند به دست آورد. بنابراین با انتخاب بهترین مدلی که سینتیک خشک کردن را توصیف کند، می‌توان روند تغییرات ماده غذایی را طی فرایند خشک کردن مورد بررسی قرارداد و خشک‌کن‌های صنعتی مناسب را با توجه به نوع ماده غذایی طراحی کرد. Defraeye و Radu (۲۰۱۸) سینتیک خشک کردن برش‌های میوه سیب در خشک‌کن سینی‌دار را با اندازه‌گیری میزان رطوبت و چروکیدگی طی خشک کردن مورد بررسی قراردادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با جفت کردن مدل تاریخچه آب گرمایی میوه طی خشک کردن و مدل افت کیفیت، بهینه سازی مناسب‌تری از فرایند خشک کردن حاصل می‌شود (۱۵) Azeez و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی سینتیک خشک کردن برش‌های گوجه فرنگی (دمای ۳۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه) دریافته‌اند که مدل پیچ ( $R^2=0.9986$ ) بهترین مدل برای پیش‌بینی فرایند خشک کردن برش‌های گوجه فرنگی است (۱۶). دف از انجام این پژوهش، ارائه مناسب‌ترین مدل برای خشک شدن تفاله هویج، بررسی میزان بتاکاروتن و تغییرات رنگی تفاله هویج پس از خشک کردن است. مدل یاد شده بر اساس متغیر وابسته (رطوبت توده) و دو متغیر مستقل (زمان و دمای خشک شدن) بر داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد. بدین منظور، مدل‌های دینامیکی خشک کردن لایه‌ی نازک محصولات کشاورزی جهت تفاله هویج شبیه‌سازی گردید و در نهایت، بهترین مدل بر اساس پارامترهای مورد بررسی تعیین شد.

#### ۲-مواد و روش‌ها

##### ۲-۱-تهیه تفاله هویج

نمونه‌های هویج بعد از شستشو به قطعات کوچک تبدیل و

رنگی درک شده توسط چشم انسان مطابقت دارد (1).  
(Pedreschi et al. 2006).

$$\text{بتاکاروتن} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{A(S)}{\varepsilon} 1000$$

= A = میزان جذب  
S = فاکتور رقت در محاسبه ε  
ضریب جذب بتاکاروتن  $1/25 \times 10^4$  میکروگرم بر لیتر در طول موج ۴۳۶ نانومتر.

### ۲-۶- مدل سازی فرایند خشک شدن

توسعه مدل سازی خشک کردن تفاله هویج ضروری است تا ویژگی های آن مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه، از ۱۲ مدل متداول جهت بررسی سینتیک خشک کردن تفاله هویج استفاده شد (جدول ۱). در این مدل ها MR نشان دهنده نسبت رطوبت می باشد که طبق فرمول ۳ محاسبه گردید.

(۳)

$$MR = \frac{M_t - M_g}{M_0 - M_g}$$

در این فرمول  $M_t$  میزان رطوبت (گرم بر گرم بر پایه خشک) نمونه در زمان t،  $M_0$  رطوبت اولیه (گرم بر گرم بر پایه خشک) نمونه و  $M_g$  رطوبت (گرم بر گرم بر پایه خشک) نهایی نمونه می باشد (۱۹). برای برازش داده ها از نرم افزار متلب (نسخه ۷.۹ سال ۲۰۰۹) و جهت تعیین بهترین مدل از پارامترهای  $R^2$  و RMSE استفاده شد. بهترین مدل براساس شاخص  $R^2$  و RMSE تعیین گردید.

### ۲-۵- رنگ سنجی

برای تعیین تغییرات رنگی تفاله های هویج در دماهای مختلف از سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  استفاده شد. بدین منظور تفاله های خشک شده در شرایط کاملاً تاریک و بدون مزاحمت های نوری اسکن گردیدند و عکس های تهیه شده با استفاده از نرم افزار Image J مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تغییرات رنگ نمونه ها در فضای رنگی Lab مورد بررسی قرار گرفت.  $L^*$  درخشندگی و روشنایی جزء است که دامنه آن بین صفر تا ۱۰۰ می باشد. پارامترهای  $a^*$  از سبز به قرمز و  $b^*$  از آبی به زرد است که این دو مؤلفه رنگی که از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر است. در مقایسه با مدل های رنگ دیگر مانند RGB، در  $L^*a^*b^*$  فضای ادراک رنگ یکنواخت است و بنابراین، تفاوت دو رنگ اغلب با تفاوت

جدول ۱- مدل های مورد استفاده در برازش داده ها

ردیف	نام مدل	فرمول	رفرنس
۱	Newton	$MR = \exp(-kt)$	(۲۰)
۲	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(۲۱)
۳	Modified Page 2	$MR = \exp[-(kt)^n]$	(۲۱)
۴	Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(۲۲)
۵	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	(۲۳)
۶	Two Term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(۲۰)
۷	Wang & Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(۲۴)
۸	Midilli-Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(۲۵)
۹	exponential Two Term	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	(۲۱)
۱۰	Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	(۲۶)
۱۱	Verma	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	(۲۶)
۱۲	Modified Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	(۲۶)

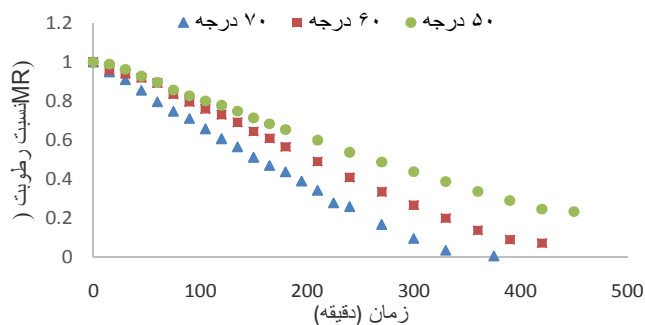
M: رطوبت (d.b): t: زمان (دقیقه) و a، b و c: ضرایب h، g، k و m: ثابت های مدل است

## ۳- نتایج و بحث

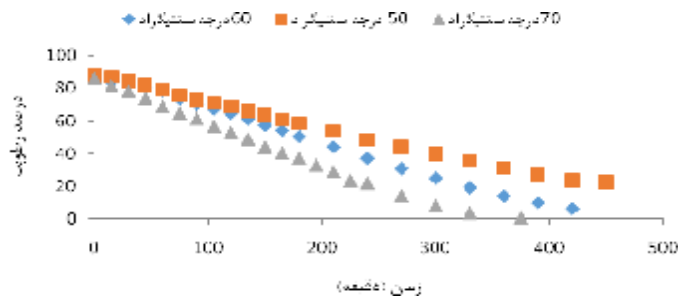
## ۳-۱- مدل سازی

رطوبت اولیه تفاله‌های هویج مورد استفاده ۸۸/۰۵ درصد بود. شکل ۱ تغییرات نسبت رطوبت طی زمان را برای دما-های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تغییرات رطوبت در دماهای بالاتر با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد که بیان‌کننده رابطه

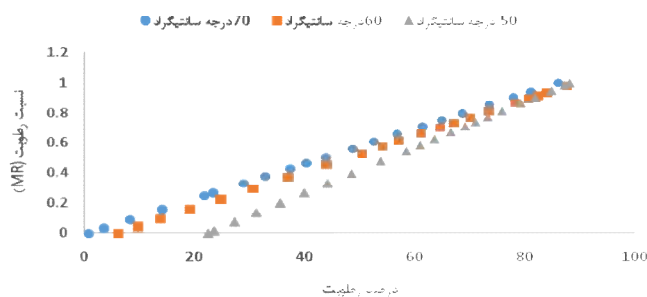
عکس بین زمان خشک شدن و افزایش دما می‌باشد. در دماهای بالاتر به علت وجود اختلاف دمای زیاد بین نمونه و محیط، ضریب نفوذ رطوبت بیشتر می‌شود. رطوبت در ابتدای فرایند با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد ولی در مراحل بعدی کاهش محتوای رطوبت به آهستگی صورت می‌گیرد که به دلیل بالا بودن محتوای رطوبت در ابتدای فرایند است (۲۶).



a



b



c

شکل ۱- تغییرات محتوای نسبت رطوبت در برابر زمان خشک کردن (a)، تغییرات محتوای رطوبت بر حسب زمان خشک کردن (b) و نمودار تغییرات آهنگ خشک کردن بر حسب محتوای رطوبت (c)

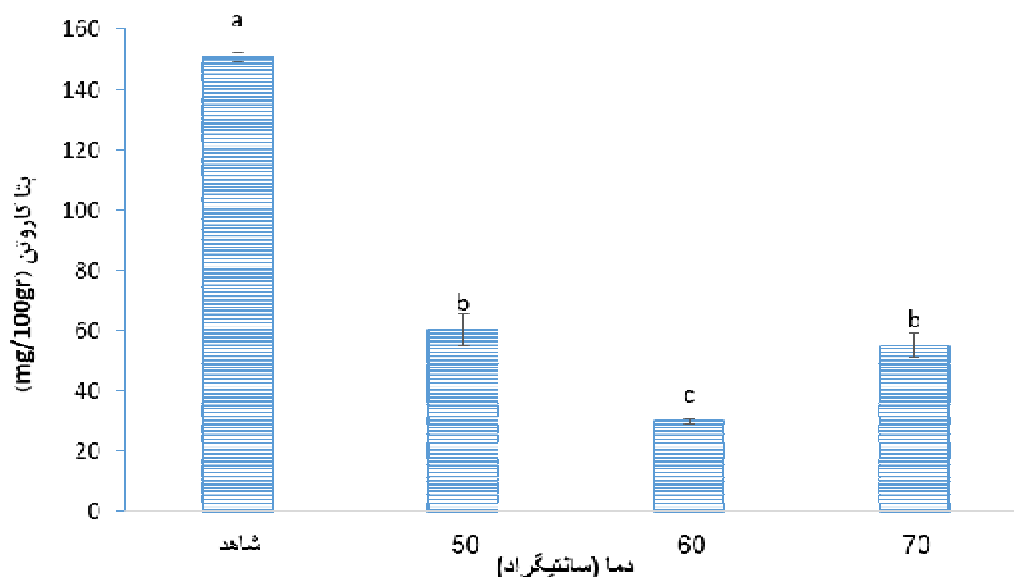
جدول ۲ - نتایج حاصل از برازش مدل‌ها

ثابت											مدل	دما
RMSE	R <sup>2</sup>	h	K <sub>2</sub>	g	b	c	a	n	k			
۰/۰۸۶	۰/۹۲۹۴	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۳۹		Newton	
۰/۰۳۲	۰/۹۹۰۸	-	-	-	-	-	-	۱/۵۸	۰/۰۰۰۷		Page	
۰/۰۷۳	۰/۹۲۹۴	-	-	-	-	-	-	۱۰/۱۴	۰/۰۰۰۳۹		Modified Page	
۰/۰۷۳	۰/۹۵۱۶	-	-	-	-	-	۱/۱۱۳	-	۰/۰۰۰۴۵		Henderson & Pabis	
۰/۰۱۲	۰/۹۹۸۸	-	-	-	-	-۱/۹۳	۲/۹۶	-	۰/۰۰۰۹۸		Logarithmic	
۰/۰۴۴	۰/۹۸۴۵	-	-	-	-۱۷/۷	-	۰/۱۸۷۲	-	۰/۰۰۰۸۶		Two Term	۵۰ درجه
۰/۰۱۶	۰/۹۹۷۷	-	۰/۰۰۹	-	۷۰۱۰ <sup>-۷</sup>	-	-۰/۰۰۲۶	-	-		Wang & Singh	سانتی گراد
۰/۰۰۸۸	۰/۹۹۹۴	-	-	-	-۰/۰۰۰۶	-	۱/۰۰۵	۱/۲۵	۰/۰۰۰۶۳		<b>Midilli-Kucuk</b>	
۰/۰۸۹	۰/۹۳۹۳	-	-	-	-	-	۴/۲۶ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	-	۰/۹۳۰۳		Two Term exponential	
۰/۰۹۳	۰/۹۲۶۳	-	-	-	۰/۰۰۱۵	-	۰/۰۰۷۴	-	۲/۵۴		Approximation of diffusion	
۰/۰۱۷	۰/۹۹۷۵	-	-	۰/۰۰۵۸	-	-	-۴/۶۴	-	۰/۰۰۰۱۴		Verma	
۰/۰۶۷	۰/۹۶۷۹	۰/۰۰۷	-	۰/۰۰۶	۱/۸۱	-۱۶/۹۴	-۰/۱۴۲۳	-	۰/۳۸۴۷		Modified Henderson & Pabis	
۰/۰۹۴	۰/۹۱۹۲	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰۳۹		Newton	
۰/۰۲۹	۰/۹۹۲۸	-	-	-	-	-	-	۱/۶۷	۰/۰۰۰۱۱		Page	
۰/۰۹۶	۰/۹۱۹۲	-	-	-	-	-	-	۸/۴۲	۰/۰۰۰۴۷		Modified Page	
۰/۰۸۱۴	۰/۹۴۲۹	-	-	-	-	-	۱/۱۱۸	-	۰/۰۰۰۴۵		Henderson & Pabis	
۰/۰۲۱	۰/۹۹۶۳	-	-	-	-	-۲/۳۶۶	۳/۳۹۶	-	۰/۰۰۰۸		Logarithmic	
۰/۰۴۵	۰/۹۸۴	-	۰/۰۰۹۱	-	۳۲/۰۹	-	۳۳/۱۱	-	۰/۰۰۰۸۸		Two Term	
۰/۰۲۴	۰/۹۹۵	-	-	-	۵۰۱۰ <sup>-۷</sup>	-	۰/۰۰۲۶	-	-		Wang & Singh	۶۰ درجه
۰/۰۰۹۱	۰/۹۹۹۴	-	-	-	۰/۰۰۰۳۷	-	۰/۹۸۲۴	۱/۵۱	۰/۰۰۰۱۸		<b>Midilli-Kucuk</b>	سانتی گراد
۰/۰۹۶۸	۰/۹۱۹۲	-	-	-	-	-	۴/۲۶ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	-	۹۲/۸۷		Two Term exponential	
۰/۰۹۹	۰/۹۱۹۵	-	-	-	۰/۰۰۱۵	-	-۰/۰۰۰۷	-	۲/۵۶		Approximation of diffusion	
۰/۰۲۶	۰/۹۹۴۴	-	-	۰/۰۰۴۷	-	-	-۱/۰/۳۴	-	۰/۰۰۰۲۵		Verma	
۰/۰۸۴	۰/۹۵۰۵	۰/۰۰۴۹	-	۰/۰۰۴۸	۱/۱۹	۰/۰۲۷	۰/۱۴۸۶	-	۰/۵۱۹		Modified Henderson & Pabis	
۰/۰۸	۰/۹۴	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۰۵		Newton	
۰/۰۳۲	۰/۹۹۰۱	-	-	-	-	-	-	۱/۵۳	۰/۰۰۰۰۳		Page	
۰/۰۷۹	۰/۹۴۱۵	-	-	-	-	-	-	۱۰/۰۲	۰/۰۰۰۵۲		Modified Page	
۰/۰۹۶	۰/۹۵۵۲	-	-	-	-	-	۰/۰۹۴	-	۰/۰۰۰۵۸		Henderson & Pabis	
۰/۰۲۹	۰/۹۹۲۵	-	-	-	-	-۰/۶۴۹	۰/۶۷۹	-	۰/۰۰۰۲۵		Logarithmic	
۰/۰۴۳۴	۰/۹۸۴۲	-	۰/۰۱۰۹	-	-۰/۳۱۶۵	-	۰/۳۲۶۷	-	۰/۰۱۰۶		Two Term	
۰/۰۲۶	۰/۹۹۳۴	-	-	-	۳ × ۱۰ <sup>-۶</sup>	-	-۰/۰۰۰۴	-	-		Wang & Singh	۷۰ درجه
۰/۰۱۹	۰/۹۹۶۸	-	-	-	۰/۰۰۰۳	-	۰/۹۶۹۴	۱/۴۷	۰/۰۰۰۰۴		<b>Midilli-Kucuk</b>	سانتی گراد
۰/۰۷۹	۰/۹۴۱۴	-	-	-	-	-	۵/۷ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	-	۰/۹۱۲۷		Two Term exponential	
۰/۰۹۸	۰/۹۱۴۴	-	-	-	۰/۰۰۱۷	-	۰/۰۷۱	-	۲/۸۱۵		Approximation of diffusion	
۰/۰۳۰۸	۰/۹۹۱۶	-	-	۰/۰۰۱۲	-	-	-۲۵/۳۸	-	۰/۰۰۰۱		Verma	
۰/۰۷۲۳	۰/۹۶۰۹	۰/۰۰۶۱	-	۰/۰۰۶۱	۰/۰۴۷	۰/۰۹۶	-۰/۱۱۹	-	۰/۵۰۱		Modified Henderson & Pabis	

همکاران (۲۰۱۲) به بررسی خشک کردن تفاله هویج تحت شرایط دمایی ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت جریان هوای ۰/۷ متر بر ثانیه پرداختند. بهترین مدل برای فرایند خشک کردن را مدل Hii, Law and Choke و انرژی فعال‌سازی را ۲۳/۰۵ KJ/mol گزارش کردند (۲۱).

**۳-۲- تأثیر دما هوای خشک کردن بر میزان بتاکاروتن**  
 شکل (۲) تغییرات میزان بتاکاروتن را در دماهای مختلف خشک کردن نشان می‌دهد که بیان‌کننده کاهش معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در میزان بتاکاروتن طی فرایند خشک کردن می‌باشد. در طی فرایند خشک کردن میزان بتاکاروتن تفاله هویج خشک شده ( $30/10 \pm 0/08$  mg/100g) دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به تفاله تازه ( $150/66 \pm 1/4$  mg/100g) ۸۰/۲ درصد کاهش یافت که این اختلاف در سطح ( $p < 0/005$ ) معنی‌دار بود تخریب بتاکاروتن به عوامل مختلفی از جمله دمای خشک کردن، زمان خشک کردن و میزان اکسیژن بستگی دارد (۳). با افزایش دما، زمان خشک کردن کمتر می‌شود. در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد مدت زمان خشک شدن تفاله هویج برابر ۴۵۰ دقیقه بود ولی به دلیل دمای پایین خشک کردن میزان بتاکاروتن بیشتری حفظ گردید و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد زمان خشک کردن ۳۷۰ دقیقه بود که مدت در زمان کمتری خشک شد به همین دلیل در دو دمای ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد میزان بتاکاروتن بیشتر حفظ گردید و نسبت به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد کمتر تخریب گردیدند. Zielinska و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی سینتیک تخریب بتاکاروتن هویج تکه تکه شده در دماهای ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ پرداختند. این محققین بیان کردند با افزایش دما میزان بتاکاروتن کاهش می‌یابد و از سینتیک درجه اول پیروی می‌کند (۲۸).

بر اساس رطوبت توده طی خشک شدن آزمایشگاهی تفاله هویج در دماهای متفاوت، از مدل‌های جدول (۱) برای برازش منحنی خشک شدن استفاده شد. با توجه به مقادیر  $R^2$  و RMSE مدل رگرسیونی میدلی و همکاران تغییرات رطوبت طی خشک کردن تفاله‌های هویج را بهتر برازش کرد که  $R^2$  برای دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر ۰/۹۹۹۴، ۰/۹۹۹۴ و ۰/۹۹۶۸ و RMSE به ترتیب برابر ۰/۰۰۸۸، ۰/۰۰۹۱ و ۰/۰۱۹ به دست آمد. همچنین نتایج برازش متوسط شاخص‌های آماری و مقادیر ضریب K و ثابت‌ها برای سایر مدل‌ها در جدول ۲ آمده است. ضریب همبستگی هر چه بالاتر باشد، نشان دهنده همبستگی بیشتر میان مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر عددی حاصل از آزمایش می‌باشد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) پارامتر بسیار مناسبی است تا انحراف مقادیر به دست آمده از آزمایش تجربی را از مقادیر محاسبه شده توسط مدل ریاضی مربوطه نشان دهد. بدیهی است که هر چه این عدد به سمت صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده قابلیت بیشتر مدل مربوطه در پردازش داده‌های آزمایشی می‌باشد. Wang و همکاران (۲۰۰۷) مدل‌سازی خشک کردن تفاله سیب را در دمای ۷۵، ۸۵، ۹۵ و ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت هوای  $0/3 \pm 1/2$  مورد بررسی قرار داده و نشان دادند مدل لگاریتمی بهترین مدل جهت پیش‌بینی فرآیند خشک کردن است (۲۷). Togrul و Pehlivan (۲۰۰۳) طی آزمایشی، خشک کردن زردآلو را در چهار سطح دمایی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و چهار سطح جریان هوای ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه مورد بررسی قرار دادند و نتایج این محققین نشان داد مدل لگاریتمی نسبت به سایر مدل‌ها رفتار خشک کردن را بهتر توصیف می‌کند (۲۳). Kumar و



شکل ۲- تغییرات میزان بتاکاروتن تفاله هویج در دماهای مختلف خشک کردن

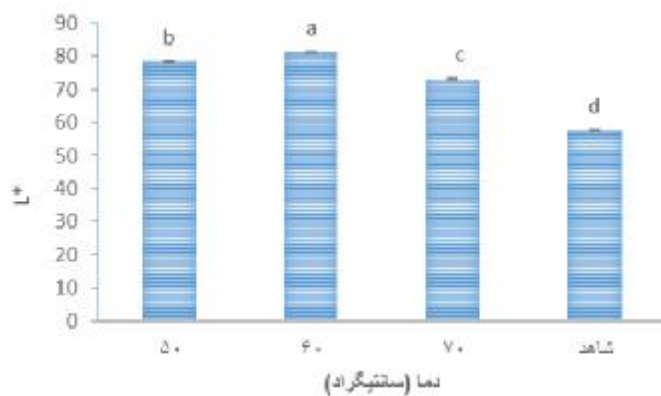
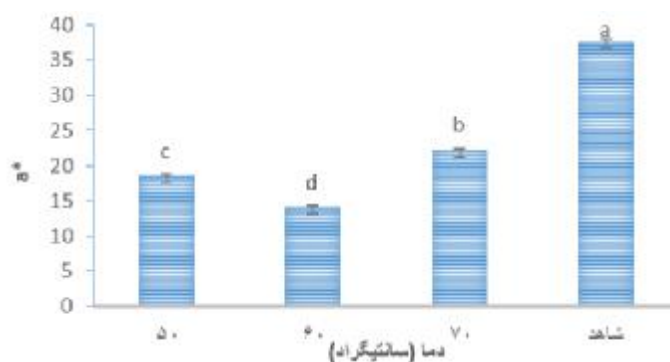
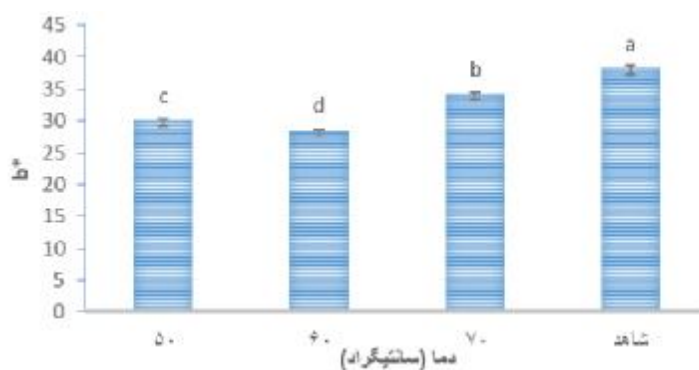
خشک کردن قرار می گیرند. تغییر رنگ در مواد غذایی حرارت دیده به علت تخریب رنگدانه واکنش مایلارد و اکسیداسیون آسکوربیک اسید رخ می دهد. به ویژه، کاروتنوئیدها در اثر حضور اکسیژن سریع تجزیه می شوند (۲۹). رنگدانه اصلی هویج کاروتنوئیدهای آلفا و بتا می باشد که ۹۰ درصد آن ها را تشکیل می دهد (۳۰). بنابراین، از دست دادن رنگ طبیعی بافت هویج به تخریب حرارتی این کاروتنوئیدهای اصلی بستگی دارد. Sumnu و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان کردند که طی فرایند خشک کردن تکه های هویج، میزان روشنایی افزایش می یابد (۳۱). Koca و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که زردی و قرمزی در هویج به شدت به میزان بتاکاروتن وابسته است که طی خشک کردن کاهش می یابد (۳۲).

### ۳-۳- تاثیر دما هوای خشک کردن بر رنگ پوره تفاله

#### زرشک

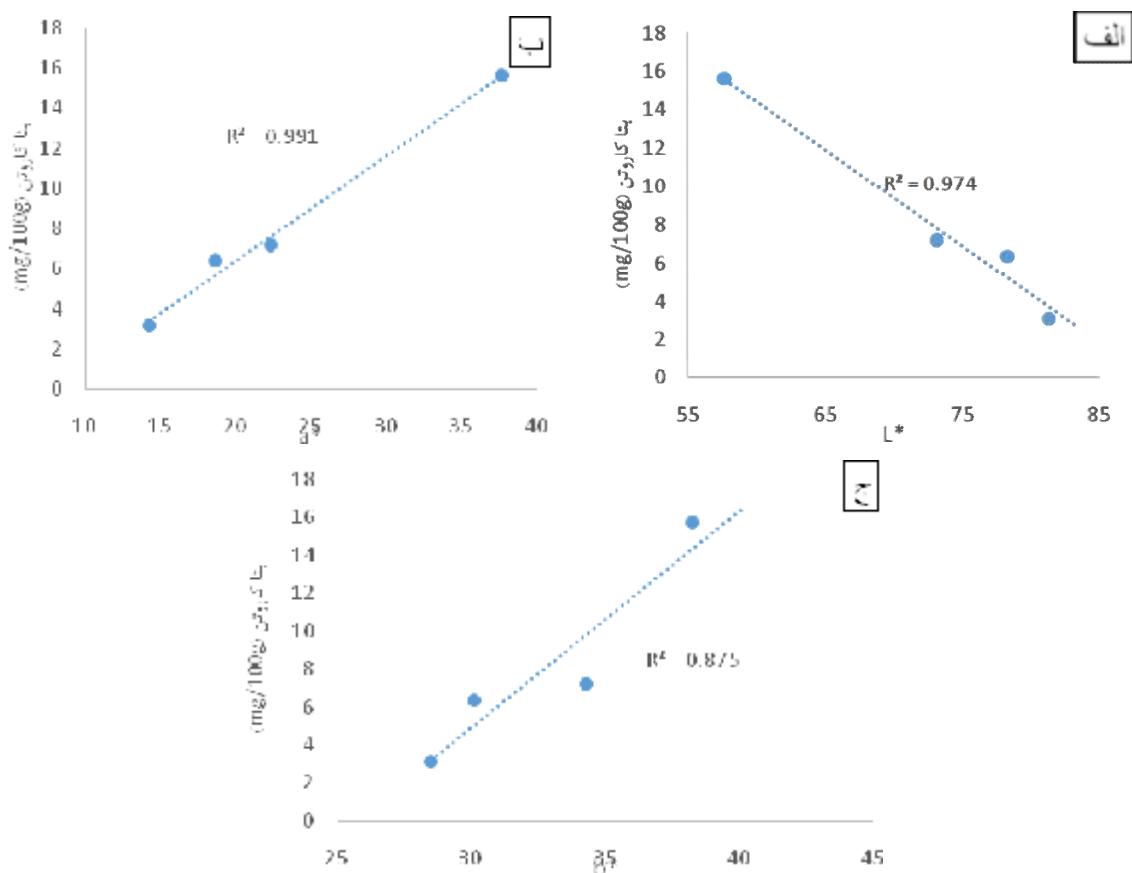
شکل های ۳، ۴ و ۵ تغییرات شاخص های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  تفاله هویج را در دماهای مختلف نشان می دهد. شکل ها بیان کننده تأثیر معنی دار ( $p < 0/05$ ) دمای خشک کردن بر سه شاخص رنگی است. نمونه شاهد، تفاله هویج قبل از خشک کردن می باشد که شاخص های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  آن به ترتیب برابر  $0/17 \pm 57/7$ ،  $0/25 \pm 37/72$  و  $0/34 \pm 38/25$  است. طی فرایند خشک کردن شاخص  $L^*$  (روشنایی) تفاله های خشک شده افزایش و شاخص های  $a^*$  (قرمزی) و  $b^*$  (زردی) نمونه ها کاهش یافت. اولین ویژگی کیفی مورد بررسی توسط مصرف کنندگان مواد غذایی ویژگی های ظاهری آن است که معمولاً تحت تأثیر فرایند



شکل ۳- تأثیر دما بر شاخص رنگی  $L^*$  تفاله هویجشکل ۴- تأثیر دما بر شاخص رنگی  $a^*$  تفاله هویجشکل ۵- تأثیر دما بر شاخص رنگی  $b^*$  تفاله هویج

$a^*$  و  $b^*$  رابطه مستقیم دارد در حالی که با شاخص  $L^*$  رابطه عکس داشت. در مطالعه صورت گرفته توسط Wu و همکاران (۲۰۱۴) و Koca و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند رابطه معنی داری بین تغییرات بتاکاروتن و ویژگی‌های رنگی قطعات هویج طی خشک کردن وجود دارد (۳۲, ۳۳).

شکل ۶ همبستگی بین تغییرات بتاکاروتن و فاکتورهای رنگی را طی خشک کردن تفاله‌های هویج نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد تغییرات بتاکاروتن همبستگی بالایی ( $R^2=0.9912$ ) با تغییرات شاخص قرمزی ( $a^*$ ) دارد. تغییرات بتاکاروتن با تغییرات شاخص‌های رنگی



شکل ۶- همبستگی میزان تغییرات بتاکاروتن و فاکتورهای رنگ‌سنجی: الف) شاخص  $L^*$ ، ب) شاخص  $a^*$  و ج) شاخص  $b^*$

#### ۴- منابع

- 5.Bohm, V., Otto, K. and Weissleder, F. 1999. Editors. Yield of juice and carotenoids of the carrot juice production. Symposium Jena-Thuringen, Germany.
- 6.Roberts, J.S., Kidd, D.R. and Padilla-Zakour, O. 2008. Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering*. 89(4):460-5.
- 7.Huang, Z., Ye, R., Chen, J. and Xu, F. 2013. An improved method for rapid quantitative analysis of the insoluble dietary fiber in common cereals and some sorts of beans. *Journal of cereal science*. 57(3):270-274.
- 8.Gao, A., Yan, X., Xu, X., Ye, R. 2015. Chen Y. Physicochemical and bioactive properties of soluble dietary fibers from Blasting Extrusion Processing (BEP)-extruded carrot residues. *Food and bioprocess technology*. 8(10):2036-2046.
- 9.Feng, T., Su, Q., Zhuang, H., Ye, R., Gu, Z. and Jin, Z. 2014. Ghost structures, pasting, rheological and textural properties between
1. Arvanitoyannis, I., Chalhoub, C., Gotsiou, P., Lydakiss-Simantiris, N. and Kefalas, P. 2005. Novel quality control methods in conjunction with chemometrics (multivariate analysis) for detecting honey authenticity. *Critical reviews in food science and nutrition*. 45(3):193-203.
2. Nawirska, A. and Kwaśniewska, M. 2005. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*. 91(2):221-5.
3. Suvarnakuta, P., Devahastin, S., Mujumdar, AS. 2005 Drying Kinetics and  $\beta$ -Carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes. *Journal of Food Science*. 70(8): 1-8
- 4.Prakash, S., Jha, S. and Datta, N. 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*. 62(3):305-13.

- 20.Henderson, S. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*. 17(6):1167-1168.
- 21.Kumar, N., Sarkar, B. and Sharma, H. 2012. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace. *Journal of food science and technology*. 49(1):33-41.
- 22.Henderson, S. 1961. Grain drying theory temperature effect of drying coefficient. *J Agri Eng Res*. 6:169-174.
- 23.Toğrul, İ.T. and Pehlivan, D. 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*. 58(1):23-32.
- 24.Wang, C. 1978. Singh R. Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying, ASAE Meeting paper No. 78-6505, St. Joseph, MI, ASAE.
- 25.Midilli, A., Kucuk, H. and Yapar, Z. 2002. A new model for single-layer drying. *Drying technology*. 20(7):1503-1513.
- 26.Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*. 26(5):457-465.
- 27.Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., et al. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*. 40(1):39-46.
- 28.Zielinska, M. and Markowski, M. 2012. Color characteristics of carrots: effect of drying and rehydration. *International Journal of Food Properties*. 15(2):450-466.
- 29.Goldman, M., Horev, B. and Saguy, I. 1983. Decolorization of  $\beta$ -Carotene in Model Systems Simulating Dehydrated Foods. Mechanism and Kinetic Principles. *Journal of Food Science*. 48(3):751-754.
- 30.Mangels, A.R., Holden, J.M., Beecher, G.R., Forman, M.R. and Lanza, E. 1993. Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association*. 93(3):284-296.
- 31.Sumnu, G., Turabi, E. and Oztop, M. 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. *LWT-Food Science and Technology*. 38(5):549-553.
32. Koca, N., Burdurlu, H.S. and Karadeniz, F. 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*. 78(2):449-455.
- 33.Wu, B., Ma, H., Qu, W., Wang, B., Zhang, X., Wang, P, et al. 2014. Catalytic infrared and hot air dehydration of carrot slices. *Journal of food process engineering*. 37(2):111-121.
- Mesona Blumes gum and various starches. *Journal of food quality*. 37(2):73-82.
- 10.Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. and Attia, H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*. 124(2):411-421.
- 11.Bondaruk, J., Markowski, M. and Błaszczak, W. 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of food engineering*. 81(2):306-312.
- 12.Yilbas, B., Hussain, M. and Dincer, I. 2003. Heat and moisture diffusion in slab products due to convective boundary condition. *Heat and Mass Transfer*. 39(5):471-276.
- 13.Márquez, C.A. and De Michelis, A. 2011. Comparison of drying kinetics for small fruits with and without particle shrinkage considerations. *Food and Bioprocess Technology*. 4(7):1212-1218.
- 14.Tiris, C., Ozbalta, N., Tiris, M. and Dincer, I. 1994. Experimental testing of a new solar dryer. *International Journal of Energy Research*. 18(4):483-491.
- 15.Defraeye, T. and Radu, A. 2018. Insights in convective drying of fruit by coupled modeling of fruit drying, deformation, quality evolution and convective exchange with the airflow. *Applied Thermal Engineering*. 129:1026-1038.
- 16.Azeez, L., Adebisi, S.A., Oyediji, A.O., Adetoro, R.O. and Tijani, K.O. 2017. Bioactive compounds' contents, drying kinetics and mathematical modelling of tomato slices influenced by drying temperatures and time. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. *In Press*
- 17.Chemat, F. and Khan, M.K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*. 18(4):813-835.
- 18.Chan, H.t. and Cavaletto, C.g. 1982. Aseptically packaged papaya and guava puree: Changes in chemical and sensory quality during processing and storage. *Journal of Food Science*. 47(4):1164-1169.
- 19.Henderson, S.M. and Perry, R.L.1976. Agricultural process engineering: AVI Publishing Co. Inc.

(Original Research Paper)

## The Effect of Temperature on Drying Kinetics and Beta-Carotene Content of Carrot Pomace Using Convective Hot Air Dryer

Sara Naji Tabasi<sup>1\*</sup>, Ehsan Akbari<sup>2</sup>, Atena Modiri<sup>3</sup>

- 1- Assistant Professor, Department of Food Nano technology, Research Institute of Food Science and Technology(RIFST), Mashhad, Iran
- 2- PhD Student, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran
- 3- PhD Student of Food Sciences and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran.

Received:03/08/2018

Accepted:18/02/2019

### Abstract

The use of agricultural waste is always important; one of the most important processes for increasing their shelf-life is drying. The purpose of this study was to investigate the drying kinetics of carrot pomace and evaluating the antioxidant and color properties of it. For this purpose, the prepared pomace was dried at 50, 60 and 70 °C, and the antioxidant and colorant properties of fresh and dried pomace were studied. The results showed that the best model for predicting drying kinetics of carrot pomace was Midilli-Kucuk model with correlation coefficient ( $R^2$ ) of 0.9994, 0.9994 and 0.9986 and root mean square error (RMSE) 0.0088, 0.0091 and 0.019 for the temperatures of 50, 60 and 70 °C, respectively. During the drying process, the amount of carrot pulps beta-carotene ( $30.10 \pm 0.08$  at 60 °C) 80.2% was reduced compared to fresh pomace ( $150.66 \pm 1.4$  mg/100g), this difference was significant ( $p < 0.005$ ). Also, the temperature of 60 °C had the greatest effect on the reduction of beta-carotene. Reducing the amount of beta-carotene led to the color indicators alterations. An indicator changes showed a high correlation (0.988) with beta-carotene content.

**Keywords:** Beta-carotene; Carrot Pulp; Colorimetry; Experimental Modeling.

---

\*Corresponding Author: [s.najitabasi@rifst.ac.ir](mailto:s.najitabasi@rifst.ac.ir)