



تاثیر پوشش ریحان و کیتوزان بر سینتیک خشک کردن، رنگ، بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگه‌های سیب: خشک کردن آون هوای داغ و تحت خلاء

نگار فیروزی^۱، رضا فرهمندفر^{۲*}، جعفر محمدزاده میلانی^۳، علی متولی^۴

- ۱- کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
- ۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
- ۴- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

کلمات کلیدی:

آون،

پوشش‌دهی،

خشک کردن،

ریحان،

کیتوزان.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.393

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.9.2

* مسئول مکاتبات:

r.farahmandfar@sanru.ac.ir

به کارگیری پوشش‌های خوراکی می‌تواند به کاهش اثرات نامطلوب ایجاد شده توسط فرآیند خشک کردن میوه و سبزی، کمک نماید. در این پژوهش، اثر دو پوشش خوراکی ریحان و کیتوزان (با غلظت‌های ۰، ۵/۵ و ۱ درصد) بر سینتیک خشک کردن، رنگ، بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگه‌های سیب در خشک‌کن‌های آون هوای داغ و خلاء در دماهای مختلف (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش‌های مختلف در هر دو روش خشک‌کردن سبب افزایش زمان خشک‌کردن شد. برازش مدل‌های مختلف ریاضی بر داده‌های تجربی نشان داد که مدل میدیلی برای پوشش صمغ ریحان و مدل تقریب نفوذ برای پوشش کیتوزان با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها قادر به پیش‌بینی محتوی رطوبتی هستند. با افزایش غلظت پوشش یا کاهش دمای خشک کردن، مقدار روشنایی، چسبندگی، پیوستگی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش ولی مقدار قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن، تغییر رنگ کلی و سفتی کاهش یافت. به طور کلی، پیش تیمارهای پوشش‌دهی ریحان و کیتوزان رویکرد مؤثری در بهبود کیفیت میوه سیب خشک شده در صنعت خشک کردن محسوب می‌شود.

۱- مقدمه

سیب درختی یکی از مهم‌ترین میوه‌های مناطق سردسیری و معتدله است که میوه تازه و فرآورده‌های آن بزرگترین تجارت جهانی را در بین میوه‌های باغی دارا می‌باشد. سیب یک میوه محبوب در سراسر جهان و منبع مناسبی از ویتامین C و فیبر است. علاوه بر این، سیب غنی از ترکیبات فنلی همچون اسید کلروژنیک، پروسیانیدین B₂ و کورستین می‌باشد. سطح فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه سیب بالا بوده و خطر ابتلا به سرطان پروستات، کبد، کولون و ریه را کاهش می‌دهد [۱]. ترکیبات پلی‌فنلی و فلاونوئیدی در تشکیل رنگ میوه سیب نقش اساسی دارند. ترکیبات یاد شده همچنین نقش مهمی را در درمان بیماری‌های حاد قلبی و انواع سرطان ایفا می‌نمایند. این ترکیبات از اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک جلوگیری می‌کنند [۲ و ۳]. در فرهنگ عامه معروف است که خوردن یک سیب در روز فرد را از مراجعه به پزشک دور می‌کند. سیب درختی ایران از جمله محصولات باغیانی بخش کشاورزی است به طوری که براساس جدیدترین آمار منتشره وزارت جهاد کشاورزی نزدیک به ۱۴۸۶۶۶ هکتار زیر کشت این محصول رفته و تولیدی معادل ۲۳۵۳ هزارتن داشته است [۴]. با برداشت سیب، حجم زیادی از آن قابل مصرف به صورت تازه خوری نبوده و بایستی با روش‌های مختلف فراوری شود. خشک کردن قطعات سیب یکی از این روش‌ها می‌باشد.

خشک کردن به فعالیتی گفته می‌شود که توسط آن فعالیت آبی یک ماده غذایی از طریق کاهش و یا حذف آب کاهش پیدا کند. در فرآیند خشک کردن، با کاهش آب موجود در مواد غذایی فعالیت میکروارگانیسم‌ها و به دنبال آن واکنش‌های شیمیایی مربوط به فساد مواد غذایی و اثر آنزیم‌های نامطلوب نیز کاهش یافته در نتیجه مدت زمان ماندگاری مواد غذایی افزایش پیدا می‌کند. از سوی دیگر عمل خشک کردن باعث کاهش وزن و حجم ماده‌ی غذایی شده که این امر موجب می‌شود انتقال مواد غذایی آسان‌تر صورت گرفته و هزینه‌های حمل و نقل و احتمال آسیب دیدگی مواد غذایی در حین حمل و نقل کاهش یابد. در فرآیند خشک کردن دو معیار ویژگی محصول و شرایط خشک کردن بسیار مهم است. در خشک کردن مواد غذایی ممکن است بسیاری از ویژگی‌های مواد غذایی از قبیل ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و ساختاری دچار

تغییر گردد. بنابراین در طی فرآیند خشک کردن مواد غذایی، باید بسیاری از ویژگی‌های تغذیه‌ای از قبیل ویتامین، مواد معدنی، رنگ، شکل، بافت و ... حفظ شود [۵ و ۶].

امروزه فرآیند خشک کردن به روش‌های متفاوتی همچون خشک کردن در آون (هوای داغ)، خشک کردن تحت خلاء و غیره انجام می‌پذیرد. خشک کردن هوای داغ، رایج‌ترین نوع خشک کردن برای میوه‌ها و سبزیجات است. در این روش محصول در درون محفظه‌ای قرار می‌گیرد و جریان هوای داغ از روی آنها عبور داده می‌شود. مشکل اصلی این نوع خشک کردن، طولانی بودن زمان خشک کردن می‌باشد [۷]. در روش خشک کردن با هوای گرم به دلیل پایین بودن ضریب هدایت حرارتی مواد غذایی، انتقال حرارت به قسمت‌های درونی ماده غذایی به کندی صورت می‌گیرد، بنابراین مدت زمان طولانی‌تری برای خشک کردن نیاز است لذا کارایی این روش نسبت به روش‌های دیگر خشک کردن کمتر بوده و قدیمی‌تر می‌باشد [۸]. در خشک کردن تحت خلاء، کاهش رطوبت و یا حذف رطوبت از مواد غذایی در فشار پایین صورت می‌گیرد. در خشک کن‌های خلاء، انتقال جرم به دلیل افزایش اختلاف فشار بخار بین داخل و خارج از محصول بسیار زیاد است. فشار پایین اجازه می‌دهد که دمای محصول کاهش یافته و کیفیت آن بالاتر برود. خلاء میزان بخار در محصول را افزایش می‌دهد و ساختاری پفکی در محصول به وجود می‌آورد. در این روش خشک کردن به دلیل سرعت پایین و عدم وجود اکسیژن، محصولی با کیفیت و ارزش غذایی بالا به دست خواهد آمد [۹]. خشک کردن تحت خلاء در فشار پایین اجازه می‌دهد دمای خشک کردن به کمترین میزان خود برسد و کیفیتی بالاتر از روند معمولی خشک کردن با هوای داغ در فشار اتمسفر به دست بیاید. خشک کردن خلاء برای محصولات حساس به حرارت و اکسید شونده مناسب می‌باشد [۱۰].

پوشش‌های خوراکی برای افزایش عمر ماندگاری مواد غذایی و جلوگیری از آسیب‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی استفاده می‌شود. پوشش‌های خوراکی جزئی از ماده غذایی محسوب می‌شوند و در کنار اثرات محافظت‌کننده، باعث جلای ظاهر محصول غذایی پوشش دهی شده می‌شوند و تمایل مصرف‌کننده برای استفاده از آنها روند افزایشی پیدا می‌کند [۱۱]. پوشش‌های خوراکی را بر اساس مواد سازنده‌شان می‌توان به سه گروه هیدروکلوئیدها (پروتئین و پلی‌ساکارید)، لیپید و

گردیده، سپس آسیاب و الک با (مش ۱۸) شد و پودر صمغ‌ها در ظروف دربسته و در مکان خشک به منظور انجام آزمایشات مورد نظر نگهداری شدند.

۲-۳- محلول کیتوزان

برای تهیه محلول پوشش خوراکی کیتوزان ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد مقدار ۵، ۱۰ و ۱۵ گرم از پودر کیتوزان در ۵۰ میلی لیتر اسید استیک، ۱۰ گرم توئین ۸۰ و ۹۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شدند. همچنین از پلاستی سایزر سوربیتول به مقدار ۵ گرم و همزن مغناطیسی- حرارتی با تنظیم بر روی ۶۰ درجه سانتیگراد برای حل شدن بهتر کیتوزان استفاده شد. در حین تهیه محلول pH محلول به وسیله ۰/۱HCL نرمال به ۴/۷-۴/۸ رسانده شد و در نهایت حجم محلول به ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد [۱۵].

۲-۴- پوشش دهی و خشک کردن

ابتدا میوه سیب با استفاده از اسلایسر به اندازه‌های یکسان برش و سپس برش‌های یکسان سیب به مدت ۳۰ ثانیه در محلولی از پوشش‌ها قرار داده شد. پوشش دهی به روش غوطه وری انجام گردید و بعد از پوشش دهی بر روی سطح توری قرار گرفت تا خشک شود. تعدادی از اسلایس‌های سیب بدون پوشش به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برش‌های سیب به روش‌های مختلف همچون خشک کردن آن معمولی، خشک کردن تحت خلاء، در دماهای ۴۰ و ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد تیمار شدند.

۲-۵- مدل سازی فرآیند خشک کردن

برای مدل سازی خشک کردن برگه‌های سیب، از نسبت رطوبت (MR) نمونه‌ها در طی خشک کردن استفاده شد. این پارامتر، مقدار رطوبت برش‌های میوه را در هر لحظه نسبت به رطوبت اولیه و تعادلی بیان کرده و از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

که MR نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t رطوبت در لحظه t (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد)، M_e رطوبت تعادلی (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد)، M_0 رطوبت اولیه (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد) است. با توجه به سطح بالای رطوبت اولیه ورقه‌های سیب، مقادیر M_e در مقایسه با مقادیر M_0 برای زمان‌های طولانی خشک کردن، بسیار کوچک هستند لذا

پوشش‌های مرکب تقسیم کرد. هیدروکلئیدها یا صمغ‌ها گروه متنوعی از پلیمرهای بلند زنجیره هستند که به سهولت قابلیت پخش پذیری داشته و بطور کامل یا نسبی قابلیت انحلال در آب را دارند. بیشتر صمغ‌های گیاهی از جنس هتروپلی ساکارید می‌باشند [۱۲]. دانه ریحان با توجه به مقادیر بالای هیدروکلئید در ساختارش و به واسطه فراوانی و سهولت در استخراج صمغ آن و نیز ویژگی‌های مثبت صمغ آن همچون پایدار کنندگی و قوام دهنده‌گی، می‌تواند به عنوان یک منبع بسیار مناسب برای حصول صمغ مورد استفاده قرار گیرد [۱۳]. کیتوزان به علت داشتن ویژگی‌های زیر کاربردهای زیادی پیدا کرد: داشتن خاصیت انبساط و کشش پذیری بالا، زیستی سازگاری، تجزیه پذیری زیستی، قدرت پالایش بیولوژیکی در طبیعت، خاصیت ضد ویروسی و ضد باکتریایی، غیر سمی و غیر آلرژی بودن، خاصیت ژله‌ای شدن و قوام دهنده‌گی، ابر جاذب بودن [۱۴].

امروزه با توجه به اهمیت خشک کردن در فرآوری غذایی و توسعه استفاده از بیوپلیمرها (همچون کربوهیدرات‌ها) در بسته بندی مواد غذایی، تلفیق روش‌های مختلف نگهداری همچون خشک کردن و پوشش‌های خوراکی می‌تواند در افزایش عمر نگهداری محصولات غذایی مؤثر باشد، لذا هدف از این تحقیق بررسی روش‌های مختلف خشک کردن (آون هوای داغ و خلاء) و نوع پوشش خوراکی (صمغ ریحان و کیتوزان) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ورقه‌های سیب بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

سیب و دانه‌های بومی از بازار محلی آمل و مواد شیمیایی از شرکت‌های سیگما و مرک خریداری شد. دانه‌ها به منظور از بین بردن ناخالصی‌ها و مواد خارجی مثل خار و خاشاک، سنگ، دانه‌های شکسته و کاه به شیوه دستی تمیز شدند.

۲-۲- استخراج صمغ دانه ریحان

در فرآیند استخراج صمغ دانه ریحان نسبت آب به دانه ۱ به ۶۵ در نظر گرفته و سپس از آب دیونیزه با pH ۷ استفاده شد و جهت تکمیل فرایند در حمام آب داغ در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و به طور متناوب همزده می‌شد. در نهایت عصاره هیدروکلئیدی توسط اکستراکتور آزمایشگاهی استخراج شد و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک

داده‌های بدست آمده از خشک کردن ورقه‌های سیب توسط هفت مدل معروف لایه نازک خشک کردن همچون نیوتن، هندرسون و پاییس، پیچ، لگاریتمی، میدلی، تقریب نفوذ و ورما (که به طور گسترده در مواد غذایی و بیولوژیکی به کار می‌روند)، مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱).

می‌توان معادله نسبت رطوبت در طی خشک کردن را به صورت زیر خلاصه کرد:

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

Table 1 Drying models used to fit data obtained during drying of apple slices

Model	Equation	References
Midili et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	[16]
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	[17]
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[18]
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	[19]
Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	[20]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[21]
Newton	$MR = \exp(-kt)$	[22]

توسط دو عدد لامپ روشن می‌شود. در بالاترین قسمت این مقطع، یک دستگاه دوربین آنالوگ برای عکس برداری نصب شد. این دوربین با استفاده از یک کارت واسط به کامپیوتر متصل شد. به این سیستم، پارامترهای رنگی همچون b , a , L ، BI و ΔE بدست آمد.

۲-۷- اندازه‌گیری خصوصیات بافتی

ارزیابی سفتی بافت میوه خشک شده توسط دستگاه بافت سنج صورت گرفت. در این آزمون از پروب استوانه‌ای ۳۶ میلی متری با سرعت حرکت ۵۰ میلی متر بر دقیقه و مقدار نیرویی که فک بالایی دستگاه به نمونه وارد می‌کند و نمونه را تا رسیدن به تغییر شکل ۴۰ درصدی فشرده می‌کند، استفاده شد و پیشینه نیروی مورد نیاز (بر حسب نیوتن) برای ایجاد این تغییر شکل برای نمونه‌های مختلف محاسبه گردید.

۲-۸- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

۱۰ گرم برگه سیب خشک شده با ۱۰۰ سی سی مخلوط آب-اتانول (۵۰-۵۰) مخلوط گردید و به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق بر روی شیکر^۱ با سرعت ۱۶۰ rpm قرار گرفت. سپس محلول رویی توسط قیف بوخنر و کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. در مرحله بعد، عصاره حاوی حلال به منظور حلال زدائی، در سطح پلیت‌های شیشه‌ای پخش و در آون با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد گذاشته شد. پس از تبخیر حلال، عصاره‌ها تا رسیدن به وزن ثابت در دسیکاتور قرار

مدل‌های مذکور با نسبت رطوبت های به دست آمده حاصل از آزمایش‌های مختلف به کمک نرم افزار ۲۰۱۰ برازش داده شد و برای تعیین بهترین مدل از سه معیار ضریب تعیین (R^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. بهترین برازشی که می‌تواند خصوصیات خشک شدن برگه‌های سیب را توصیف کند معادله‌ای است که بیشترین ضریب همبستگی (R^2)، کمترین مربع کای (χ^2) و کمترین ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) را داشته باشد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pre} - MR_{exp,i})^2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - m} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (5)$$

که در آن، $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت تجربی i ام، $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت پیشگویی شده i ام، N تعداد مشاهدات و m تعداد ثابت‌های خشک کردن است.

۲-۶- رنگ سنجی

رنگ سطح هر نمونه از برش سیب را قبل و بعد خشک کردن با استفاده از پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. این دستگاه دارای یک محفظه با مقطع دوزنقه‌ای و از جنس MDF بود که

1. Shaker

بالاترین زمان خشک کردن مربوط به نمودارهای 40°C و پایین ترین زمان خشک شدن مربوط به نمودارهای 60°C بود. دلیل این امر آن است که افزایش دمای خشک کردن سبب افزایش دمای ماده در حال خشک شدن گردیده و به دنبال آن با افزایش دمای ماده، تغییر در گرمای نهان تبخیر و افزایش جنبش مولکول های آب موجود در محصول (ماده) در اثر گرما اتفاق افتاده و در نهایت سرعت تبخیر و آهنگ انتقال جرم در ماده در حال خشک شدن افزایش خواهد داشت. همچنین بررسی اثر استفاده از پوشش های مختلف بر زمان خشک شدن در دماهای مختلف نشان داد که استفاده از پوشش در برخی موارد می تواند زمان خشک کردن را کمی افزایش دهد. از طرف دیگر با مشاهده نمودارها می توان نتیجه گرفت که با افزایش دما از 40°C به 50°C میزان تغییرات زمان خشک شدن نسبت به تغییرات دما از 50°C به 60°C بالاتر است. دلیل این امر می تواند آن باشد که با افزایش دما، منافذ سطحی روی سطح بیرونی لایه های سیب به علت وجود چروکیدگی و کاهش حجم محصول، کوچک تر از قبل شده و رطوبت درونی ماده نمی تواند به سرعت از سطح محصول خارج شود. افزون بر آن، تجمع املاح حاصل از تبخیر رطوبت در لوله های موئین سبب سخت تر شدن لایه سطحی شده و عمل خروج رطوبت مشکل تر می شود. این پدیده (یعنی بسته شدن منافذ سطحی ورقه های سیب) با افزودن پوشش های مختلف تشدید شده و در طول فرآیند خشک شدن می تواند مواد موجود در پوشش ها با از دست دادن رطوبت منافذ سطحی ورقه های سیب را پر کرده و انتقال جرم (رطوبت) را از قسمت داخلی محسوب به بخش سطحی دچار مشکل سازد.

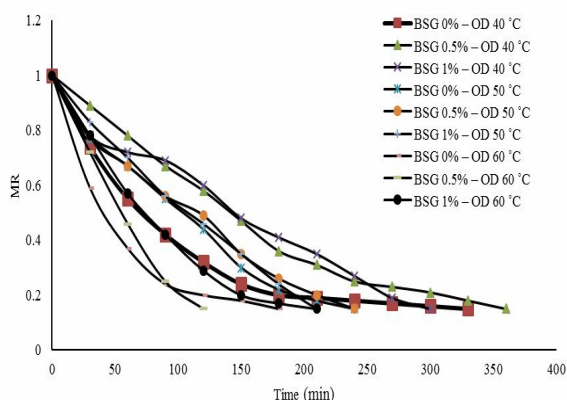


Fig 1 Drying kinetics of apple slices under different BSG concentrations and drying temperatures of hot air oven drying.

گرفت. عصاره های حاصل تا زمان آزمایش در دمای 4°C درجه سانتیگراد نگهداری شد. محلول $0/0/0/6$ درصد رادیکال آزاد DPPH در تولوئن تهیه شد، سپس به لوله های آزمایش حامل یک میلی لیتر محلول تولوئن نمونه با غلظت های مختلف (بسته به قدرت مهار کنندگی رادیکال آزاد)، یک میلی لیتر از محلول فوق اضافه شد. لوله های آزمایش بعد از ورتکس شدن به مدت یک ساعت در جای تاریک نگهداری شدند و سپس جذب آنها در طول موج 512 نانومتر در برابر شاهد توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید و سپس درصد مهار کنندگی رادیکال آزاد بر حسب معادله زیر اندازه گیری شد [۲۳].

$$I\% = \left(\frac{A_{blank} - A_{sample}}{A_{sample}} \right) \times 100 \quad (6)$$

در این فرمول A_{blank} جذب نوری کنترل منفی (فاقد عصاره) را نشان می دهد و A_{sample} میزان جذب نوری عصاره را بیان می کند.

۲-۹- روش آماری

برش های سیب های پوشش داده شده با صمغ ریحان و کیتوزان به روش های مختلف همچون خشک کردن آون معمولی و خلاء (در سه دما 40°C ، 50°C ، 60°C درجه سانتیگراد) انجام شد. در تجزیه و تحلیل نتایج، مدل سازی به کمک نرم افزار MATLAB و مقایسه میانگین در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی به کمک از نرم افزار SPSS صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سینتیک خشک کردن و مدل سازی

بررسی سینتیک خشک کردن ورقه های سیب (شکل های ۱ و ۲) با استفاده از پوشش های مختلف (صمغ ریحان و کیتوزان) در دماهای مختلف (40°C ، 50°C و 60°C) و همچنین روش های مختلف خشک کردن (آون جریان هوای گرم و تحت خلاء) نشان داد که در تمام تیمارها، فرآیند خشک شدن در دوره سرعت نزولی اتفاق افتاد و با وجود پوشش های مختلف بر روی لایه های سیب مرحله سرعت ثابت خشک کردن مشاهده نشد. این نتایج نشان از این است که پدیده فیزیکی انتشار ساز و کار حاکم بر خروج رطوبت از لایه های سیب در حالت با و بدون پوشش است. همچنین نتایج بدست آمده نشان از افزایش شیب نمودارهای خشک شدن با افزایش دما داشت به طوری

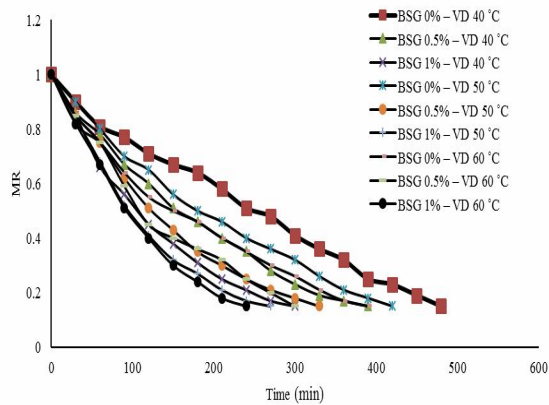


Fig 3 Drying kinetics of apple slices under different BSG concentrations and drying temperatures of vacuum drying.

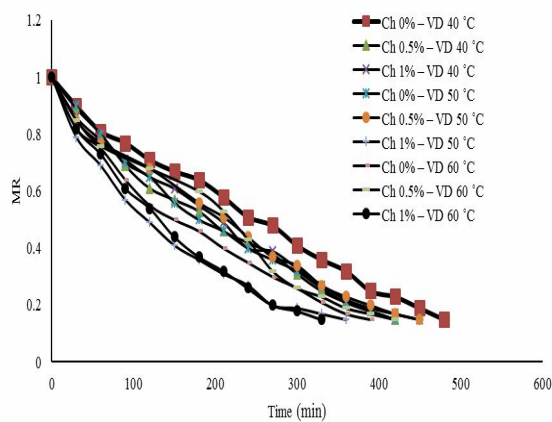


Fig 4 Drying kinetics of apple slices under different chitosan concentrations and drying temperatures of vacuum drying.

باید توجه داشت که استفاده از روش تحت خلاء به دلیل بسته بودن محفظه خشک‌شدن و آب بندی محفظه و عدم گردش هوا با سرعت مناسب در اطراف محصول سبب می‌شود تا رطوبت هوای اطراف محصول بالا رفته و به دنبال آن گرادیان رطوبتی بین محصول و هوای اطراف کاهش یافته و به دنبال آن سرعت خروج رطوبت کاهش یافته و زمان خشک‌شدن افزایش یابد. البته باید توجه داشت در فرآیند خشک‌کردن تحت خلاء پمپ خلاء دائما در حال کار نمی‌باشد و بلافاصله با کاهش فشار در محفظه، پمپ وارد مدار شده و این امر سبب می‌شود تا خروج رطوبت به وسیله مکش پمپ دائمی نباشد. با فرض دائمی بودن کارکرد پمپ نیز بدلیل تخلیه کامل هوا از محفظه خشک‌کن، انتقال و جابه‌جایی رطوبت از اطراف محصول کمی دچار اختلال شده و از این زمان خشک‌شدن نسبت به روش جریان هوای گرم افزایش می‌یابد.

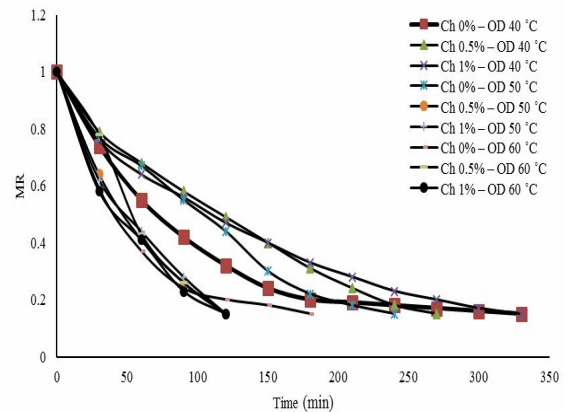


Fig 2 Drying kinetics of apple slices under different chitosan concentrations and drying temperatures of hot air oven drying.

همچنین مقایسه زمان خشک‌شدن در غلظت‌های مختلف استفاده از پوشش نشان داد که بالاترین زمان مربوط به استفاده از غلظت بالاتر (در هر دو پوشش صمغ ریجان و کیتوزان) و پایین‌ترین زمان خشک‌شدن مربوط به استفاده از پایین‌ترین غلظت (در هر دو پوشش) می‌باشد.

بررسی نمودارهای خشک‌شدن در روش خشک‌کردن تحت خلاء در تیمارهای مختلف دما و پوشش نشان از آن داشت که در این روش نیز مانند روش جریان هوای گرم، فرآیند خشک‌کردن در مرحله نزولی رخ داده و فرآیند ثابت خشک‌شدن در آن مشاهده نشد. نتایج نشان از افزایش سرعت خشک‌شدن، بالابودن شیب منحنی‌های خشک‌شدن و کاهش زمان خشک‌کردن ورقه‌های سیب در اثر افزایش دما و کاهش غلظت پوشش‌های استفاده شده داشتند. افزایش دما در فرآیند خشک‌کردن ورقه‌های سیب می‌گردد تا گرادیان حرارتی در داخل و بیرون این ماده بیشتر شده و در نتیجه آهنگ تبخیر رطوبت بیشتر شده و به دنبال آن زمان خشک‌شدن کاهش می‌یابد. مقایسه نمودارهای بدست آمده در روش‌های خشک‌کردن جریان هوای گرم با تحت خلاء در تیمارهای یکسان نشان از افزایش زمان خشک‌شدن در روش تحت خلاء می‌باشد. دلیل این امر آن است که روش جریان هوای گرم، جریان باد در محیط خشک‌کن می‌تواند رطوبت خارج شده از اطراف محصول در حال خشک‌شدن دور کرده و رطوبت هوای اطراف محصول اشباع نشود. اشباع نشدن هوای اطراف محصول از رطوبت می‌تواند پتانسیل جذب رطوبت بالایی داشته باشد.

مختلف، مدل‌های معرفی شده در جدول ۲ و ۳، بر منحنی‌های خشک شدن حاصل از داده‌های آزمایشی برازش داده شدند.

رطوبت اولیه ورقه‌های سیب به روش وزنی (آون) بر پایه تر بدست آمد. پس از بدست آوردن مقادیر نسبت رطوبت در دماهای مختلف خشک کردن و همچنین پوشش‌ها با غلظت‌های

Table 2 Statistical results of different mathematical models for apple slices under hot air oven drying.

	Approximation of diffusion			Midili			Logarithmic			Page		
	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²
<i>Basil seed gum coating</i>												
BSG 0% – OD 40 °C	.00730	.000587	.9994	.00720	.000519	.9994	.01074	.001269	.9986	.03289	.012980	.9859
BSG 0.5% – OD 40 °C	.02536	.006432	.9936	.01307	.001500	.9985	.02407	.005793	.9942	.01728	.003283	.9967
BSG 1% – OD 40 °C	.03347	.008960	.9875	.02316	.003760	.9948	.02870	.006589	.9908	.03100	.009110	.9873
BSG 0% – OD 50 °C	.02398	.006325	.9934	.02412	.005816	.9940	.02821	.008752	.9909	.03734	.016730	.9826
BSG 0.5% – OD 50 °C	.03298	.010880	.9886	.03111	.008710	.9909	.03497	.012230	.9872	.03477	.013300	.986
BSG 1% – OD 50 °C	.01219	.000743	.9988	.01293	.000836	.9986	.01342	.000900	.9985	.02585	.004009	.9933
BSG 0% – OD 60 °C	.01739	.001210	.9980	.01459	.000638	.9989	.02211	.001956	.9967	.03761	.007073	.9881
BSG 0.5% – OD 60 °C	.01790	.001282	.9978	.00797	.000190	.9997	.02052	.001685	.9972	.01774	.001573	.9974
BSG 1% – OD 60 °C	.02106	.002661	.9964	.02003	.002407	.9967	.02016	.002439	.9967	.01766	.002184	.9971
<i>Chitosan coating</i>												
Ch 0% – OD 40 °C	.00730	.000587	.9994	.00720	.000519	.9994	.01074	.001269	.9986	.03289	.012980	.9859
Ch 0.5% – OD 40 °C	.01722	.002668	.9967	.01754	.002462	.9970	.01837	.003039	.9963	.01860	.003459	.9953
Ch 1% – OD 40 °C	.02407	.005214	.9934	.04196	.014090	.9823	.02967	.007922	.99	.02466	.006080	.9923
Ch 0% – OD 50 °C	.02398	.006325	.9934	.02412	.005816	.9940	.02821	.008752	.9909	.03734	.016730	.9826
Ch 0.5% – OD 50 °C	.01471	.000866	.9986	.01635	.000801	.9987	.02050	.001681	.9972	.01893	.001792	.9971
Ch 1% – OD 50 °C	.01344	.000722	.9988	.02174	.001890	.9968	.01585	.001005	.9983	.01737	.001207	.9979
Ch 0% – OD 60 °C	.01739	.001210	.9980	.01459	.000638	.9989	.02211	.001956	.9967	.03761	.007073	.9881
Ch 0.5% – OD 60 °C	.02747	.002263	.9961	.01748	.000061	.9989	.03967	.004722	.9918	.03967	.004722	.9918
Ch 1% – OD 60 °C	.01233	.000304	.9993	.01720	.002959	.9994	.01477	.000436	.9991	.01076	.000347	.9993

BSG = Basil seed gum

Ch = Chitosan

OD = Oven drying

Table 3 Statistical results of different mathematical models for apple slices under vacuum oven drying.

	Approximation of diffusion			Midili			Logarithmic			Page		
	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²
<i>Basil seed gum coating</i>												
BSG 0% – VD 40 °C	.02802	.010990	.9901	.00963	.001207	.9989	.01250	.002189	.9980	.02831	.012020	.9892
BSG 0.5% – VD 40 °C	.00808	.000653	.9993	.01036	.000107	.9989	.01926	.004453	.9955	.01159	.001611	.9984
BSG 1% – VD 40 °C	.00977	.001040	.9989	.02194	.004814	.9950	.00813	.000722	.9992	.00862	.000891	.9991
BSG 0% – VD 50 °C	.01764	.003735	.9962	.01731	.003296	.9967	.01815	.003952	.9960	.02163	.006081	.9939
BSG 0.5% – VD 50 °C	.01878	.003164	.9964	.01682	.002264	.9974	.01863	.003312	.9964	.01963	.003853	.9956
BSG 1% – VD 50 °C	.01922	.002585	.9967	.01036	.000644	.9992	.01811	.002296	.9970	.01564	.001957	.9975
BSG 0% – VD 60 °C	.03263	.011710	.9869	.00894	.000800	.9991	.01472	.002384	.9973	.02463	.007281	.9919
BSG 0.5% – VD 60 °C	.01396	.001559	.9979	.01544	.008669	.9978	.01452	.001686	.9978	.01389	.001737	.9977
BSG 1% – VD 60 °C	.02335	.003271	.9954	.01880	.000282	.9969	.01309	.001029	.9986	.00704	.000347	.9995
<i>Chitosan coating</i>												
Ch 0% – VD 40 °C	.02802	.010990	.9901	.00963	.001207	.9989	.01250	.002189	.9980	.02831	.012020	.9892
Ch 0.5% – VD 40 °C	.06336	.044160	.9516	.02839	.008061	.9912	.94900	.042960	.9530	.05405	.035060	.9616
Ch 1% – VD 40 °C	.02742	.009774	.9903	.01278	.001960	.9988	.01867	.004532	.9955	.02699	.010200	.9899
Ch 0% – VD 50 °C	.01764	.003735	.9962	.01731	.003296	.9967	.01815	.003952	.9960	.02163	.006081	.9939
Ch 0.5% – VD 50 °C	.02814	.008712	.9907	.01636	.002675	.9971	.02365	.006153	.9934	.03660	.016070	.9828
Ch 1% – VD 50 °C	.01081	.001169	.9986	.01237	.001378	.9984	.01492	.002225	.9974	.01148	.001451	.9983
Ch 0% – VD 60 °C	.03263	.011710	.9869	.00894	.000800	.9991	.01472	.002384	.9973	.02463	.007281	.9919
Ch 0.5% – VD 60 °C	.05190	.026930	.9722	.04290	.016560	.9829	.04415	.017220	.9822	.04724	.024550	.9747
Ch 1% – VD 60 °C	.01134	.001158	.9986	.01113	.000990	.9988	.01038	.0009703	.9988	.01183	.001401	.9983

BSG = Basil seed gum

Ch = Chitosan

VD = Vacuum drying

گردید. سپس مدل‌های خشک شدن لایه نازک با توجه به مقادیر R^2 ، χ^2 و RMSE ارزیابی شده و مدل بهتر انتخاب شد. نتایج حاصل از برازش مدل‌های ارائه شده با داده‌های آزمایشگاهی

مقادیر ضرایب ثابت مدل‌های توصیفی (n, a, b, c و k) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی سینتیک خشک کردن ورقه‌های سیب و به کمک محیط برازش نرم افزار MTLAB برآورد

۸/۲۵ بدست آمد. با روش‌های مختلف خشک کردن (هوای داغ و خلاء) در نمونه‌های حاوی پوشش (ریحان و کیتوزان)؛ ورقه‌های سیب خشک شده در 40°C حاوی ۱٪ پوشش، دارای بیشترین روشنایی (L^*) و کمترین میزان قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی بودند و در ورقه‌های سیب خشک شده در 50°C حاوی ۰/۵٪ پوشش؛ کمترین روشنایی و بیشترین میزان قرمزی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی را به خود اختصاص دادند.

به طور کلی، افزایش غلظت پوشش (ریحان و کیتوزان) تاثیر معنی‌داری بر پارامترهای رنگی ورقه‌های سیب داشت (۰/۰۵ $P <$) به طوری که با افزایش غلظت پوشش در هر یک از دماهای مورد بررسی آون، مقدار L^* روند صعودی به خود گرفت ولی مقدار قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی کاهش یافت لذا می‌توان گفت برگه‌های سیب بدون پوشش دارای روشنایی کمتر و قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی بیشتری نسبت به نمونه‌های پوشش‌دار در آون هوای داغ و آون خلاء هستند. محققین مختلف بیان کردند که پوشش‌ها به عنوان عوامل حفاظتی در هنگام خشک کردن عمل می‌کنند و باعث افزایش شفافیت و کاهش قهوه‌ای شدن می‌لارد می‌شوند [۲۴، ۲۵ و ۲۶]. با بررسی نتایج حاصل از آزمایشات، اثر صمغ دانه ریحان بر روی ورقه‌های سیب رنگ روشن‌تر، شاخص BI و ΔE کمتر نسبت به نمونه‌های دارای پوشش کیتوزان (در دما، غلظت پوشش و روش خشک کردن مشابه) بود. لذا به طور کلی می‌توان گفت که با افزایش درجه حرارت، محصول به سمت تیره شدن پیش رفت که علت آن انجام واکنش‌های قهوه‌ای غیر آنزیمی بود. ولی وجود پوشش (ریحان و کیتوزان) بر روی ورقه‌های سیب به عنوان یک لایه محافظتی در برابر عوامل مخرب (همچون اکسیژن) از انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن جلوگیری کرد.

از طرف دیگر، با افزایش دما در هر یک از سطوح غلظتی پوشش، شاخص روشنایی کاهش و شاخص قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی افزایش یافت. Salehi و Kashaninejad (۲۰۱۷) در مقاله‌ای در مورد اثرات روش‌های خشک کردن بر روی صمغ دانه ریحان به این نتیجه رسیدند که در اثر دما صمغ دانه ریحان رنگ روشن‌تری به خود می‌گیرد ولی با افزایش دما مقدار L^* کاهش پیدا می‌کند و اختلاف رنگ بیشتر می‌شود [۲۷]. Silva و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که با افزایش دمای خشک کردن نمونه‌های آناناس، مقدار L^* کاهش می‌یابد [۲۶].

بر اساس بر اساس مقادیر بیشتر R^2 و مقادیر کمتر χ^2 و RMSE نشان داد که تقریباً همه مدل‌ها مناسبند، اما مدل میدیلی برای پوشش‌های صمغ ریحان و مدل تقریب پخش برای پوشش‌های با ماده کیتوزان با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها، فرآیند خشک‌شدن ورقه‌های سیب را پیش‌بینی کردند.

۳-۲- رنگ

رنگ یکی از مهمترین ویژگی‌های کیفی میوه‌های خشک شده است و در طی خشک کردن و نگهداری طولانی مدت به علت برخی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی، تغییر می‌کند. به طور کلی، رنگ محصولات غذایی با استفاده از فضای رنگی CIELAB تجسم و کمی می‌شود. لذا هر رنگ با یک نقطه رنگ حاصل از سه عدد L^* ، a^* و b^* در فضای رنگ نشان داده می‌شود. فضای رنگی سه بعدی از سه محور عمود بر هم تشکیل شده است. محور L^* میزان روشنایی را نشان می‌دهد به طوری که یک شی کاملاً سفید دارای $L^*=100$ و مقدار L^* برای یک جسم کاملاً سیاه برابر صفر است. رنگ‌های اصلی (واقعی) با استفاده از دو محور دیگر در صفحه افقی توصیف می‌شوند. محور اول یعنی a^* در قسمت مثبت ($+a^*$)، قرمز و در قسمت منفی ($-a^*$)، سبز می‌باشد و محور دیگر یعنی b^* ، رنگ از آبی ($-b^*$) به زرد ($+b^*$) تبدیل می‌گردد. لازم به ذکر است که مولفه‌های a^* و b^* در محدوده بین -120 و $+120$ قرار دارند. شاخص قهوه‌ای شدن (BI) و تغییر رنگ کلی (ΔE) نیز برای ارزیابی ویژگی‌های رنگی محصولات غذایی به کار می‌روند.

جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ اثر پوشش‌های ریحان و کیتوزان در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۱ درصد و دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد بر ویژگی‌های رنگی ورقه‌های سیب خشک شده با آون هوای داغ و خلاء را نشان می‌دهند. در روش خشک کردن آون هوای داغ، مقدار L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی)، b^* (زردی)، BI و ΔE برای نمونه‌های بدون صمغ، در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۹/۶۵، ۴/۹۰، ۳۲/۹۳، ۶۷/۷۰ و ۵/۶۳، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۷/۲۴، ۷/۴۲، ۳۳/۸۲، ۸۰/۸۵ و ۶/۸۴ و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۳/۱۷، ۸/۹۲، ۳۵/۱۲، ۸۸/۱۵ و ۷/۲۵ و در خشک کردن آون خلاء مقدار این پارامترهای رنگی برای نمونه‌های بدون صمغ، در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۹/۴۲، ۶/۲۵، ۴۰/۱۹، ۸۸/۸۲ و ۷/۱۳، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۷/۸۷، ۸/۴۹، ۴۷/۴۲، ۱۱۸/۷۷ و ۷/۵۲ و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۶۵/۷۲، ۹/۶۲، ۵۲/۱۸، ۱۴۵/۷۵ و

Table 4 Color changes of apple slices under different BSG concentrations and drying temperatures of hot air oven drying.

Oven drying	L*	a*	b*	BI	ΔE
BSG 0% – OD 40 °C	69.65±1.04 ^c	4.90±0.17 ^b	32.93±0.50 ^b	64.70±1.30 ^c	5.63±0.95 ^b
BSG 0.5% – OD 40 °C	78.12±0.80 ^b	2.80±0.38 ^d	29.70±0.80 ^d	47.05±0.30 ^g	4.18±0.70 ^c
BSG 1% – OD 40 °C	80.24±0.70 ^a	2.12±0.02 ^d	28.85±1.20 ^d	45.38±0.25 ^h	3.25±0.30 ^c
BSG 0% – OD 50 °C	67.24±1.13 ^f	7.42±1.07 ^a	34.82±0.20 ^a	80.85±1.15 ^b	6.84±1.20 ^a
BSG 0.5% – OD 50 °C	75.19±1.02 ^c	3.50±0.94 ^c	30.91±0.52 ^c	54.94±0.50 ^c	5.19±0.40 ^b
BSG 1% – OD 50 °C	78.62±0.70 ^b	2.45±0.44 ^d	30.01±1.71 ^c	49.11±0.95 ^f	3.80±0.65 ^c
BSG 0% – OD 60 °C	63.17±1.48 ^g	8.92±0.48 ^a	35.12±0.30 ^a	88.15±1.50 ^a	7.25±1.04 ^a
BSG 0.5% – OD 60 °C	72.43±0.97 ^d	3.60±0.39 ^c	30.82±0.40 ^c	57.53±0.80 ^d	5.25±0.98 ^b
BSG 1% – OD 60 °C	73.92±1.08 ^d	3.00±1.01 ^c	30.10±0.12 ^c	53.86±0.15 ^c	3.92±0.81 ^c

BSG = Basil seed gum

OD = Oven drying

Table 5 Color changes of apple slices under different chitosan concentrations and drying temperatures of hot air oven drying.

Oven drying	L*	a*	b*	BI	ΔE
Ch 0% – OD 40 °C	69.65±1.04 ^f	4.90±0.17 ^b	32.93±0.50 ^c	64.70±1.30 ^c	5.63±0.95 ^c
Ch 0.5% – OD 40 °C	73.87±0.71 ^b	3.24±0.42 ^d	30.67±0.25 ^e	53.22±0.63 ^g	4.85±0.17 ^d
Ch 1% – OD 40 °C	75.46±0.76 ^a	3.30±0.37 ^d	29.00±0.54 ^f	52.56±0.45 ^h	4.32±0.24 ^d
Ch 0% – OD 50 °C	67.24±1.13 ^g	7.42±1.07 ^a	33.82±0.20 ^b	80.85±1.15 ^b	6.84±1.20 ^b
Ch 0.5% – OD 50 °C	72.59±0.64 ^c	3.95±0.32 ^d	31.52±0.67 ^d	58.87±0.74 ^e	5.51±0.20 ^c
Ch 1% – OD 50 °C	73.12±0.36 ^b	4.10±0.19 ^c	30.49±0.24 ^e	57.88±0.29 ^f	5.10±0.27 ^c
Ch 0% – OD 60 °C	63.17±1.48 ^h	8.92±0.48 ^a	35.12±0.30 ^a	88.15±1.50 ^a	7.25±1.04 ^a
Ch 0.5% – OD 60 °C	70.02±1.10 ^c	4.32±0.30 ^c	31.92±0.74 ^d	63.50±0.82 ^d	5.82±0.37 ^c
Ch 1% – OD 60 °C	71.63±0.82 ^d	4.63±0.27 ^c	32.40±0.31 ^c	63.17±0.33 ^d	5.60±0.43 ^c

Ch = Chitosan

OD = Oven drying

Table 6 Color changes of apple slices under different BSG concentrations and drying temperatures of vacuum drying.

Vacuum drying	L*	a*	b*	BI	ΔE
BSG 0% – VD 40 °C	69.42±0.82 ^e	6.25±0.93 ^c	40.19±0.73 ^c	88.82±1.07 ^c	6.13±0.90 ^c
BSG 0.5% – VD 40 °C	75.48±0.73 ^b	3.72±0.48 ^e	33.28±0.56 ^f	60.04±0.43 ^g	4.62±0.37 ^e
BSG 1% – VD 40 °C	77.89±0.64 ^a	3.50±0.61 ^e	31.52±0.37 ^g	53.96±0.52 ^h	4.12±0.25 ^e
BSG 0% – VD 50 °C	67.87±0.63 ^f	8.49±1.12 ^b	47.42±0.81 ^b	118.77±1.12 ^b	7.52±0.62 ^b
BSG 0.5% – VD 50 °C	74.33±0.39 ^c	4.12±0.53 ^d	34.19±0.42 ^e	63.69±0.38 ^f	5.82±0.48 ^d
BSG 1% – VD 50 °C	75.19±0.48 ^b	3.86±0.27 ^e	33.72±0.19 ^f	61.48±0.27 ^g	5.54±0.31 ^d
BSG 0% – VD 60 °C	65.72±1.20 ^g	9.62±0.74 ^a	52.18±1.02 ^a	145.75±1.20 ^a	8.25±1.01 ^a
BSG 0.5% – VD 60 °C	71.25±0.66 ^{dc}	4.92±0.42 ^d	36.48±0.64 ^d	74.11±0.71 ^d	6.20±0.43 ^c
BSG 1% – VD 60 °C	72.47±0.40 ^d	4.37±0.61 ^d	34.81±0.21 ^e	67.69±0.39 ^e	5.90±0.21 ^d

BSG = Basil seed gum

VD = Vacuum drying

Table 7 Color changes of apple slices under different chitosan concentrations and drying temperatures of vacuum drying.

Vacuum drying	L*	a*	b*	BI	ΔE
Ch 0% – VD 40 °C	69.42±0.82 ^e	6.25±0.93 ^c	40.19±0.73 ^c	88.82±1.07 ^c	6.13±0.90 ^c
Ch 0.5% – VD 40 °C	71.23±0.26 ^c	4.03±0.49 ^e	34.61±0.41 ^g	69.76±0.39 ^h	5.02±0.45 ^d
Ch 1% – VD 40 °C	73.62±0.72 ^a	4.18±0.25 ^e	35.46±0.22 ^h	63.96±0.64 ⁱ	4.52±0.30 ^e
Ch 0% – VD 50 °C	67.87±0.63 ^f	8.49±1.12 ^b	47.42±0.81 ^b	118.77±1.12 ^b	7.52±0.62 ^b
Ch 0.5% – VD 50 °C	71.84±0.65 ^c	4.53±0.78 ^e	36.13±0.51 ^e	74.88±0.71 ^f	6.12±0.54 ^c
Ch 1% – VD 50 °C	72.56±0.47 ^b	4.89±0.30 ^e	37.78±0.26 ^f	72.72±0.29 ^g	5.98±0.42 ^d
Ch 0% – VD 60 °C	65.72±1.20 ^g	9.62±0.74 ^a	52.18±1.02 ^a	145.75±1.20 ^a	8.25±1.01 ^a
Ch 0.5% – VD 60 °C	69.12±0.21 ^e	5.37±0.17 ^d	37.15±0.23 ^e	80.07±0.59 ^d	6.95±0.21 ^c
Ch 1% – VD 60 °C	70.82±0.42 ^d	5.84±0.33 ^d	38.89±0.44 ^d	78.89±0.42 ^e	6.54±0.21 ^c

Ch = Chitosan

VD = Vacuum drying

۳-۳- بافت

سفتی و بیشترین چسبندگی و پیوستگی و برگه‌های سبب دارای ۰/۵٪ پوشش در ۶۰ درجه سانتیگراد دارای بیشترین سفتی و کمترین چسبندگی و پیوستگی بودند (جدول ۸ و ۹). به طور کلی، با افزایش غلظت هر یک از پوشش‌های ریحان و کیتوزان در دماهای یکسان، مقدار سفتی کاهش و مقدار چسبندگی و پیوستگی افزایش یافت. این روند در هر یک از روش‌های خشک کردن آن هوای داغ و خلاء مشاهده شد. از طرف دیگر، با افزایش درجه حرارت در هر از سطوح غلظتی پوشش‌ها (ریحان و کیتوزان) میزان سفتی افزایش یافت ولی چسبندگی و پیوستگی روند نزولی به خود گرفت. در بین پوشش‌های استفاده شده در غلظت و شرایط خشک کردن مشابه، میزان سفتی پوشش ریحان < کیتوزان و میزان چسبندگی پوشش ریحان > کیتوزان بود.

آنالیز پروفایل بافت (TPA) یک آزمون تقلیدی از جویدن است و یکی از عوامل اصلی در پذیرش مواد غذایی محسوب می‌گردد. سفتی نیروی لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص و از لحاظ حسی معادل نیروی لازم برای فشردن محصول غذایی بین دندان‌های آسیاب می‌باشد. چسبندگی مقدار کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروهای چسبندگی بین مولکول‌های غذا و سطوح تعریف می‌گردد. از طرف دیگر، پیوستگی شدت پیوندهای داخلی بدنه سازنده مواد غذایی را نشان می‌دهد. در بررسی نمونه‌های با پوشش ریحان و کیتوزان روش آن هوای داغ و در نمونه‌های با پوشش ریحان و کیتوزان روش خشک کردن خلاء مشاهده شد که برگه‌های سبب دارای ۱٪ پوشش در ۴۰ درجه سانتیگراد دارای کمترین

Table 8 Textural properties and antioxidant activity of apple slices under different BSG concentrations and drying temperatures.

	Oven drying				Vacuum drying			
	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness	IC ₅₀	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness	IC ₅₀
BSG 0% -40 °C	70.38±1.02 ^c	229.13±1.72 ^f	138.73±0.92 ^c	10.54 ^c	69.13±0.73 ^c	228.72±1.61 ^c	139.14±1.42 ^f	11.28 ^c
BSG 0.5% -40 °C	58.32±0.43 ^c	253.16±1.86 ^b	175.19±1.13 ^b	5.84 ^f	58.07±0.72 ^{ef}	254.02±1.42 ^b	176.01±0.82 ^b	6.24 ^e
BSG 1% -40 °C	56.75±0.61 ^f	256.72±2.10 ^a	180.72±0.82 ^a	5.18 ^g	56.42±0.43 ^f	256.92±1.14 ^a	180.92±1.13 ^a	5.49 ^f
BSG 0% -50 °C	76.12±0.92 ^b	212.81±1.90 ^g	130.18±1.20 ^f	11.79 ^b	75.82±1.27 ^b	202.81±1.15 ^f	129.87±0.98 ^g	12.07 ^b
BSG 0.5% -50 °C	60.81±0.77 ^d	250.19±1.14 ^c	171.42±1.32 ^c	6.69 ^e	60.25±0.59 ^d	249.92±0.71 ^c	171.50±0.38 ^d	6.97 ^e
BSG 1% -50 °C	58.92±0.35 ^c	253.72±0.75 ^b	174.62±0.71 ^b	5.94 ^g	58.37±0.42 ^{ef}	253.41±0.65 ^b	174.20±0.41 ^c	6.25 ^e
BSG 0% -60 °C	82.45±0.85 ^a	198.89±1.21 ^h	129.14±1.37 ^f	13.56 ^a	80.63±1.25 ^a	196.25±0.82 ^g	128.42±0.55 ^h	13.84 ^a
BSG 0.5% -60 °C	61.93±0.69 ^d	245.74±0.95 ^c	168.44±0.77 ^d	7.24 ^d	61.25±0.72 ^d	245.91±1.17 ^d	169.17±0.82 ^c	7.50 ^d
BSG 1% -60 °C	59.97±0.52 ^e	249.18±0.63 ^d	171.52±0.42 ^c	6.62 ^e	59.21±0.31 ^{ef}	249.83±0.34 ^c	171.87±0.45 ^d	6.95 ^e
Vitamin C				4.87 ^h				4.87 ^g

BSG = Basil seed gum
OD = Oven drying

Table 9 Textural properties and antioxidant activity of apple slices under different chitosan concentrations and drying temperatures.

	Oven drying				Vacuum drying			
	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness	IC ₅₀	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness	IC ₅₀
Ch 0% -40 °C	70.38±1.02 ^c	229.13±1.72 ^c	138.73±0.92 ^c	10.54 ^c	69.13±0.73 ^c	228.72±1.61 ^c	139.14±1.42 ^g	11.28 ^c
Ch 0.5% -40 °C	61.22±0.69 ^{fg}	238.32±0.93 ^b	169.62±0.69 ^b	7.43 ^f	61.32±0.53 ^{fg}	238.69±1.22 ^b	169.17±0.42 ^c	7.60 ^c
Ch 1% -40 °C	60.07±0.73 ^g	244.11±1.27 ^a	172.81±0.49 ^a	6.33 ^g	60.25±0.62 ^g	243.92±0.72 ^a	172.92±0.56 ^a	6.52 ^f
Ch 0% -50 °C	76.12±0.92 ^b	212.81±1.90 ^f	130.18±1.20 ^f	11.79 ^b	75.82±1.27 ^b	202.81±1.15 ^f	129.87±0.98 ^b	12.07 ^b
Ch 0.5% -50 °C	64.63±0.83 ^c	231.57±1.61 ^d	167.49±0.52 ^c	7.79 ^f	64.12±0.73 ^c	232.04±0.51 ^d	167.07±0.63 ^d	8.09 ^d
Ch 1% -50 °C	62.97±0.97 ^f	236.74±0.89 ^c	170.25±0.81 ^b	6.72 ^g	62.53±0.69 ^f	236.71±0.32 ^c	170.14±0.40 ^b	6.97 ^f
Ch 0% -60 °C	82.45±0.85 ^a	198.89±1.21 ^g	129.14±1.37 ^f	13.56 ^a	80.63±1.25 ^a	196.25±0.82 ^g	128.42±0.55 ^h	13.84 ^a
Ch 0.5% -60 °C	66.81±0.78 ^d	226.19±1.42 ^f	163.29±0.72 ^d	8.12 ^d	66.72±0.52 ^d	227.31±0.43 ^c	163.70±0.51 ^f	8.34 ^d
Ch 1% -60 °C	64.41±0.69 ^e	232.81±0.81 ^d	166.47±1.01 ^c	7.07 ^f	64.52±1.03 ^c	231.98±0.67 ^d	165.12±0.64 ^c	7.37 ^e
Vitamin C				4.87 ^h				4.87 ^g

Ch = Chitosan
OD = Oven drying

IC₅₀ غلظتی از مواد است که بتواند ۵۰٪ رادیکال‌های آزاد را مهار کند. به عبارت دیگر، اندازه گیری IC₅₀ می‌تواند یک روش مناسب برای مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی مواد مختلف

۳-۴- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

آنتی‌اکسیدان‌ها موادی هستند که قادر به پیشگیری یا به تاخیر انداختن اکسیداسیون ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند.

خلاء پرداخته شد. نتایج نشان داد که با استفاده از پوشش با ضخامت‌های بالا سرعت خروج رطوبت از محصول را کاهش و به دنبال آن زمان خشک‌کردن افزایش یافت. همچنین مقایسه دو روش خشک‌کردن نشان داد که استفاده از خشک‌کن جریان هوای گرم قابلیت بالاتری در خروج رطوبت از محصول پوشش داده شده، نسبت به خشک‌کن تحت خلاء دارد. بررسی برآزش مدل‌های مختلف ریاضی بر داده‌های تجربی بدست آمده نشان از انتخاب مناسب مدل‌ها داشته و تقریباً تمامی مدل‌های انتخابی با دقت مناسبی فرآیند خشک‌شدن ورقه‌های سیب را در هر دو خشک‌کن پیش‌بینی کردند. به طور کلی، افزایش غلظت پوشش (ریحان و کیتوزان) و دمای فرآیند تاثیر معنی‌داری بر پارامترهای رنگی، بافتی و آنتی‌اکسیدانی ورقه‌های سیب داشت ($P < 0/05$) به طوری که با افزایش غلظت پوشش در هر یک از دماهای مورد بررسی آون، مقدار L^* روند صعودی به خود گرفت ولی مقدار قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی کاهش یافت. از طرف دیگر، با افزایش دما در هریک از سطوح غلظتی پوشش، شاخص روشنایی کاهش و شاخص قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ کلی افزایش یافت.

۵- منابع

- [1] Kim, A. N., Kim, H. J., Kerr, W. L., & Choi, S. G. (2017). The effect of grinding at various vacuum levels on the color, phenolics, and antioxidant properties of apple. *Food chemistry*, 216, 234-242.
- [2] Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, 3(1), 1-15.
- [3] Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Blekkenhorst, L. C., Considine, M. J., Maghzal, G., Stocker, R., ... & Croft, K. D. (2018). Flavonoid-Rich Apple Improves Endothelial Function in Individuals at Risk for Cardiovascular Disease: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Molecular nutrition & food research*, 62(3), 1700674.
- [4] Agricultural statistics. (2019). Garden products (3 ed). Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of planning and economics "https://www.maj.ir".
- [5] Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., ... & Xiao, H. W. (2019). Chemical and physical

باشد لذا در این تحقیق، از این شاخص برای مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی ورقه‌های سیب با ویتامین C (به عنوان شاخص فعالیت آنتی‌اکسیدانی) استفاده شد. در روش خشک کردن با هوای داغ برگه‌های سیب، نمونه‌های بدون پوشش در ۶۰ درجه سانتیگراد دارای بیشترین IC_{50} (۱۳/۵۶) و نمونه ۱/ ریحان - $40^{\circ}C$ (۶/۳۳) کمترین IC_{50} را به خود اختصاص دادند و همین روند در خشک کردن خلاء نیز مشاهده شد (جدول ۸ و ۹). مقدار IC_{50} محاسبه شده برای ویتامین C در این آزمایش ۴/۸۷ بود که نسبت به کلیه نمونه‌های خشک شده (در آون هوای داغ و خلاء) کمتر بود لذا بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی را داشت. با توجه به محاسبات مربوط به خشک کن آون هوای داغ و خلاء، با افزایش دما از ۴۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد، مقدار IC_{50} افزایش یافت لذا از میزان خواص آنتی‌اکسیدانی کاسته شد ولی در هر دما و زمانی که از پوشش خوراکی (ریحان و کیتوزان) استفاده شد، نمونه‌ها IC_{50} کمتر و در نتیجه خواص آنتی‌اکسیدانی بیشتری داشتند، پس می‌توان نتیجه گرفت که اثر پوشش خوراکی بر میزان خواص آنتی‌اکسیدانی ورقه‌های سیب خشک شده معنی‌دار بوده است ($P < 0/05$) و زمانی که غلظت پوشش نمونه‌ها از صفر (شاهد) به ۱ درصد افزایش یافت، میزان IC_{50} کاهش پیدا کرد و به IC_{50} ویتامین C نزدیکتر شد. در بین سه نوع پوشش استفاده شده، صمغ ریحان عملکرد بهتری از خود نشان داد به صورتی که در غلظت و شرایط خشک کردن مشابه، کمترین IC_{50} و بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی را از خود نشان داد. محققین مختلف نشان دادند که گرما تجزیه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی را تسهیل می‌کند به طوری که با افزایش دمای خشک کردن، مقدار ویتامین C (به عنوان ترکیب آنتی‌اکسیدانی) در مواد غذایی، کاهش می‌یابد [۲۴، ۲۶، ۲۸ و ۲۹]. Oliveira و Silva (۲۰۱۷) بیان کردند که پوشش‌های پروتئینی (مثل ایزوله پروتئینی سویا) و پلی‌ساکاریدی (مثل پکتین) تاثیر معنی‌داری بر نگهداری ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در ورقه‌های کیوی دارند [۲۴].

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به بررسی خصوصیات کمی و کیفی ورقه‌های خشک‌شده سیب پوشش داده شده با صمغ ریحان و کیتوزان در خشک‌کن‌های آون جریان هوای گرم و آون تحت

- [16] Midilli, A.D.N.A.N., Kucuk, H.A.Y.D.A.R., & Yapar, Z.İ.Y.A. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying technology*, 20(7), 1503-1513.
- [17] Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., & Wratten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, 28(1), 296-0301.
- [18] Chhinnan, M. S. (1984). Evaluation of selected mathematical models for describing thin-layer drying of in-shell pecans. *Transactions of the ASAE*, 27(2), 610-0615.
- [19] Dandamrongrak, R., Young, G., & Mason, R. (2002). Evaluation of various pretreatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 139-146.
- [20] Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of food engineering*, 63(3), 349-359.
- [21] Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., & Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of food engineering*, 66(3), 323-328.
- [22] Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar energy*, 59(4-6), 121-126.
- [23] Farahmandfar, R., Asnaashari, M., & Sayyad, R. (2017). Antioxidant activity and total phenolic content of *Capsicum frutescens* extracted by supercritical CO₂, ultrasound and traditional solvent extraction methods. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(1), 196-204.
- [24] Oliveira, D., & Silva, K. D. S. (2017). Effect of protein and polysaccharide-based edible coatings on quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during drying. *International Journal of Food Engineering*, 13(12).
- [25] Farahmandfar, R., Mohseni, M., & Asnaashari, M. (2017). Effects of quince seed, almond, and tragacanth gum coating on the banana slices properties during the process of hot air drying. *Food science & nutrition*, 5(6), 1057-1064.
- [26] Silva, K. S., Garcia, C. C., Amado, L. R., & Mauro, M. A. (2015). Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. *Food and Bioprocess Technology*, 8(7), 1465-1475.
- pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(9), 1408-1432.
- [6] Sagar, V. R., & Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of food science and technology*, 47(1), 15-26.
- [7] Kumar, C., Karim, M. A., & Joardder, M. U. (2014). Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering*, 121, 48-57.
- [8] Witrowa-Rajchert, D., Wiktor, A., Sledz, M., & Nowacka, M. (2014). Selected emerging technologies to enhance the drying process: A review. *Drying Technology*, 32(11), 1386-1396.
- [9] Kayacan, S., Sagdic, O., & Doymaz, I. (2018). Effects of hot-air and vacuum drying on drying kinetics, bioactive compounds and color of bee pollen. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2), 1274-1283.
- [10] Lee, J. H., & Kim, H. J. (2009). Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 180-186.
- [11] Khin, M. M., Zhou, W., & Perera, C. (2005). Development in the combined treatment of coating and osmotic dehydration of food—a review. *International Journal of Food Engineering*, 1(1).
- [12] Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148.
- [13] Naji-Tabasi, S., & Razavi, S. M. A. (2017). Functional properties and applications of basil seed gum: An overview. *Food Hydrocolloids*, 73, 313-325.
- [14] Mujtaba, M., Morsi, R. E., Kerch, G., Elsabee, M. Z., Kaya, M., Labidi, J., & Khawar, K. M. (2019). Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review. *International journal of biological macromolecules*, 121, 889-904.
- [15] Badawy, M. E., Rabea, E. I., AM El-Nouby, M., Ismail, R. I., & Taktak, N. E. (2017). Strawberry shelf life, composition, and enzymes activity in response to edible chitosan coatings. *International Journal of Fruit Science*, 17(2), 117-136.

- [29] Kaya, A., Aydın, O., & Kolaylı, S. (2010). Effect of different drying conditions on the vitamin C (ascorbic acid) content of Hayward kiwifruits (*Actinidia deliciosa* Planch). *Food and bioproducts processing*, 88(2-3), 165-173.
- [27] Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2017). Effect of drying methods on textural and rheological properties of basil seed gum. *International Food Research Journal*, 24(5).
- [28] Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T., & Tagawa, A. (2008). Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 85(2), 303-308.



Effect of basil and chitosan coating on drying kinetic, color, texture and antioxidant activity of apple slices: hot air oven and vacuum drying

Firouzi, N. ¹, Farahmandfar, R. ^{2*}, Mohammadzadeh Milani, J. ³, Motevali, A. ⁴

1. MSC, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.
3. Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.
4. Associate Professor, Department of Mechanic of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 2021/ 04/ 27

Accepted 2021/ 11/ 02

Keywords:

Oven,
Coating,
Drying,
Basil,
Chitosan.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.393

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.9.2

*Corresponding Author E-Mail:
r.farahmandfar@sanru.ac.ir

The use of edible coatings can help reduce the undesired effects caused by the drying process of fruits and vegetables. In this study, the influence of two different edible coatings including basil and chitosan (0, 0.5 and 1%) on drying kinetic, color, texture and antioxidant activity of apple slices were evaluated at different temperatures (40, 50 and 60 °C) in hot air oven and vacuum drying. The results showed that the use of different coatings in both drying methods increased the drying time. Fitting of different mathematical models on the experimental data showed that the Midili model for basil coating and the approximation of diffusion model for chitosan coating are able to predict the moisture content more accurately than other models. With increasing coating concentration or decreasing drying temperature the lightness, adhesiveness, cohesiveness and antioxidant activity enhanced. But, the redness, yellowness, brownness, total color difference and hardness diminished. Generally, basil and chitosan coating pretreatment could be considered as an effective approach to improve the quality of the dried apple fruit in drying industry.