



اثر ترکیبی توان مایکروویو - غلظت پوشش خوراکی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های میوه

سیب خشک شده

سالار کرمی^۱، رضا فرهمندفر^{۲*}، جمشید فرمانی^۲، زینب رفتنی امیری^۳، علی متولی^۴

۱- دانشجوی دکتری، 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.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸

کلمات کلیدی:

مایکروویو،

سنتتیک خشک کردن،

فعالیت آنتی‌اکسیدانی،

بافت.

هدف از این پژوهش، بررسی اثر پوشش‌های خوراکی ریحان، مرو و کیتوزان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی برش‌های خشک‌شده میوه سیب در مایکروویو بود. در این پژوهش، برش‌های میوه سیب در سه غلظت (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) با ریحان، مرو و کیتوزان پوشش‌دهی شدند و تحت تیمار با امواج مایکروویو در توان‌های مختلف (۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات) قرار گرفتند. مولفه‌های سنتتیک خشک کردن، رنگ، بافت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگه‌های سیب بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از آن بود که خشک کردن ورقه‌های سیب تنها در محدوده دوره سرعت نزولی اتفاق افتاد. این داده‌ها با ۷ مدل تجربی متفاوت برازش شدند که از بین این مدل‌ها، مناسب‌ترین مدل برای پوشش‌های صمغ ریحان، مرو و کیتوزان به ترتیب، مدل میدیلی و همکاران، تقریب و ورما بود که میدیلی و همکاران با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها قادر به پیش‌بینی محتوی رطوبتی بود. همچنین، مقدار مولفه‌های روشنایی، چسبندگی، پیوستگی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش غلظت پوشش و توان مایکروویو، افزایش اما مقدار قرمزی، زردی، قهوه‌ای شدن، تغییر رنگ کلی و سفتی کاهش یافت. به‌طور کلی، پوشش‌دهی خوراکی یکی از روش‌های نوین که سبب افزایش مدت‌زمان نگهداری و کیفیت محصول نهایی می‌شود. لذا، تیمار میوه‌ها با استفاده از پوشش‌های خوراکی برای افزایش کیفیت ظاهری، بهبود رنگ در انتهای فرآیند خشک کردن پیشنهاد می‌گردد.

DOI: 10.22034/FSCT.20.134.1

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.134.1.5

* مسئول مکاتبات:

r.farahmandfar@sanru.ac.ir

۱- مقدمه

سیب درختی به عنوان یک میوه بسیار مفید و یکی از مهم ترین ارکان سبد غذایی در سراسر جهان است. در کشور ایران، سیب درختی از محصولات باغبانی بخش کشاورزی به شمار می رود. براساس اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت سیب درختی، ۲۴۷۴۴۷ هکتار با تولید ۴۲۱۷۱۷۲ تن در سال ۱۳۹۹ بوده است [۱]. به طور کلی، میوه ها و سبزیجات به دلیل داشتن رطوبت زیاد، محصولاتی بسیار فسادپذیر محسوب می شوند [۲]. بر این اساس، در مقایسه با سایر محصولات گیاهی مانند دانه ها، فعالیت متابولیکی نسبتاً بالایی از خود نشان می دهند. این فعالیت متابولیکی پس از برداشت همچنان ادامه دارد، بنابراین باعث می شود که بیشتر میوه ها فسادپذیر باشند و در نتیجه ضایعات محصولات کشاورزی افزایش می یابد [۳]. سیب درختی بیشتر به صورت تازه خوری مصرف می شود. همچنین، پس از برداشت آسیب پذیر بوده و به دلیل محتوی رطوبتی بالا در معرض فساد قرار دارد. یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش ضایعات محصولات کشاورزی و جلوگیری از فساد آنها در مرحله پس از برداشت، کاهش میزان رطوبت محصول تا حد مطلوب می باشد [۴]. رطوبت بالا موجود در محصول، سبب رشد و فعالیت میکروارگانیسم ها و ایجاد واکنش های شیمیایی نامطلوب شده و ماندگاری آنها را کاهش می دهد [۵]. خشک کردن یکی از شاخص ترین و قدیمی ترین روش های فرآوری و نگهداری محصولات کشاورزی است که با کاهش میزان رطوبت محصول، سبب تقلیل در سرعت فعل و انفعالات شیمیایی از قبیل قهوه ای شدن و اکسیداسیون شده و در نتیجه، مدت ماندگاری محصولات را افزایش می دهد. بدین ترتیب می توان مواد غذایی را با اطمینان و با عمر انبارمانی بالا ذخیره کرده و یا جهت صادرات (در عین به حداقل رساندن ضایعات) انتقال داد [۶]. اندازه و نحوه توزیع منافذ در بافت میوه های خشک تحت تاثیر روش خشک کردن قرار می گیرد [۷]. بنابراین، امروزه فرآیند خشک کردن با روش های مختلفی انجام می گردد. خشک کردن با مایکروویو به عنوان روش نوین خشک کردن شناخته شده است [۸]. امواج مایکروویو در هنگام عبور از بافت مواد غذایی باعث می شوند

که مولکول های قطبی نظیر آب و نمک ها مرتعش شده و به انرژی گرمایی تبدیل گردند. برخلاف سایر روش های خشک کردن که حرارت از سطح به عمق نفوذ پیدا می کند، در این روش حرارت در خود ماده غذایی تولید می گردد و لذا از ایجاد پدیده سخت شدن پوسته جلوگیری می کند [۹ و ۱۰]. پوشش های خوراکی لایه های نازکی از مواد هستند که سدی در مقابل انتقال رطوبت اکسیژن و مواد حل شده در محصول ایجاد می کنند [۱۱]. پوشش دهی میوه جات تازه یک روش جایگزین برای انبار اتمسفر اصلاح شده است و می تواند به وسیله تغییرات کیفی و کاهش کمیت از طریق اصلاح و کنترل اتمسفر داخلی میوه جات استفاده شود [۱۲]. پوشش های خوراکی به سه روش، مانع فساد و آلودگی میکروبی و افزایش کیفیت می شوند: نامساعد کردن شرایط رشد و فعالیت میکروارگانیسم ها (مانند فعالیت آبی و اکسیژن)، ممانعت فیزیکی از نفوذ آنها به درون محصول و وجود ترکیبات ضد میکروبی در پوشش های خوراکی [۱۳]. استفاده از پوشش های خوراکی از سال ۱۹۹۵ مورد توجه قرار گرفت. بررسی ها نشان داد استفاده از پوشش های خوراکی، چگالی ظاهری محصول را کاهش می دهد [۱۴]. صمغ دانه ریحان از جمله هیدروکلوئیدهایی است که اخیراً پژوهش های متعددی بر روی آن صورت پذیرفته است. حسینی پرور و همکاران در سال ۲۰۱۰، ترکیب شیمیایی صمغ دانه ریحان را اندازه گیری کردند. پلی ساکارید استخراج شده از دانه ریحان شامل دو بخش اصلی از گلوکومانان (۴۳ درصد) و گزیلان (۲۴/۲۹ درصد) و نیز دارای بخش کوچکی گلوکان (۲/۳۱ درصد) می باشد. همچنین حضور آرابینوگالاکتان بسیار منشعب علاوه بر گلوکومانان و گزیلان گزارش شده است [۱۵]. صمغ حاصل از دانه مرو، یک صمغ آنیونی از نوع گالاکتومانان با وزن مولکولی متوسط (۴۰۰ کیلو دالتون) و ساختار سفت میله مانند است که از نظر رئولوژیکی محلول های صمغ دانه مرو رفتار شل شونده با برش را نشان می دهد [۱۶]. کیتوزان یک پوشش جدید خوراکی است که ساختمان چند قندی دارد و از واحدهای گلوکز آمین و ان - استیل گلوکز آمین با اتصالات بتا (۴ و ۱) تشکیل شده است و از پوسته سخت پوستانی مانند خرچنگ و میگو به دست می آید [۱۷]. مهم ترین جنبه فناوری خشک کردن، مدل سازی ریاضی فرآیندها و تجهیزات خشک کردن است. از مهم ترین

مقادیر مناسب از پودر کیتوزان در ۵۰ میلی لیتر اسید استیک و ۹۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شدند. از پلاستی سایزر سوربیتول به مقدار ۵ گرم استفاده شد. pH محلول به وسیله سودا/۱۰ نرمال روی ۵ تنظیم و در نهایت محلول به حجم ۱۰۰۰ میلی-لیتر جهت استفاده در آزمون‌ها رسانده شد [۲۰، ۲۱ و ۲۲].

۲-۳- پوشش دهی و فرآیند خشک کردن

میوه‌های سیب به صورت دستی شسته و به وسیله اسلایسر در اندازه‌های یکسان تهیه و وزن اولیه آنها تعیین گردید. سپس، برش‌های سیب در شرایط دمایی محیط در محلول‌های پوششی (به مدت ۳۰ ثانیه) غوطه‌ور شدند و تعدادی از برش‌های سیب بدون پوشش، به عنوان شاهد استفاده شد. بعد از اتمام پوشش دهی، نمونه‌ها به مایکروویو در توان‌های مختلف ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ منتقل شدند. پس از خشک کردن نمونه‌ها، آزمون‌های نهایی انجام گرفت.

۲-۴- مدل سازی فرآیند خشک کردن

مدل سنتتیک خشک کردن برگه‌های سیب، براساس نسبت رطوبت (MR) گزارش شد. در این پژوهش، مقدار رطوبت برش‌های میوه را در طول فرآیند خشک کردن، از فرمول (۱) محاسبه شد:

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

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) و M_0 رطوبت اولیه (کیلوگرم آب/کیلوگرم ماده جامد) است.

با توجه به اینکه معمولاً مقدار بالای رطوبت اولیه برگه‌های سیب (مقادیر M_e) در مقایسه با M_t و M_0 عدد بسیار کوچکی است. لذا خطای ناشی از عدم محاسبه آن را می‌توان به شکل ساده‌تر خلاصه کرد (فرمول ۲):

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

در ابتدا ده مدل تجربی مطابق داده‌های آزمایشگاهی برازش شده و با توجه به سه معیار ضریب تعیین (R^2)، مربع کای (χ^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، هفت مدل انتخاب شدند (جدول ۱).

مدل‌های ریاضی می‌توان به انواع لگاریتمی، پیچ، میدیلی، تقریب، ورما و غیره اشاره نمود [۱۸]. بسیاری از محققان کاربرد موفقیت آمیز پوشش خوراکی ساخته شده با استفاده از بسیاری از بیوپلیمرها را برای حفظ خواص غذایی و ارگانولپتیک محصولات غذایی مختلف ثبت کرده‌اند. Mei و همکاران (۲۰۰۲) با کاربرد نشاسته و کیتوزان به عنوان پوشش خوراکی نشان دادند که مقدار pH مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، فعالیت آنتی اکسیدانی، غلظت اسید اسکوربیک و فنلیک کل محتوای موز خشک شده حفظ گردید [۱۹]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از روش ترکیبی پوشش‌های خوراکی و انرژی مایکروویو سبب سرعت بخشیدن و بهبود - فرآیند خشک کردن برش‌های میوه سیب خواهد بود، لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر ترکیبی توان مایکروویو و غلظت پوشش خوراکی (ریحان، مرو و کیتوزان) بر میزان تغییرات خصوصیات کیفی برگه‌های سیب در خشک کردن با مایکروویو بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

در این پژوهش از سیب با واریته *Golden Delicious* استفاده شد. دانه‌های ریحان، مرو از بازار محلی شهرستان ساری تهیه و ناخالصی آنها کاملاً جدا گردید. همچنین مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش از شرکت‌های سیگما آمریکا و مرک آلمان تهیه شد.

۲-۲- تهیه پوشش‌های خوراکی

برای استخراج صمغ دانه‌های ریحان و مرو، ابتدا دانه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه و به نسبت ۱ به ۶۵ به آب اضافه و در حمام آب داغ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس جهت استخراج صمغ از دانه‌ها، از دستگاه اکستراکتور آزمایشگاهی استفاده شد. صمغ استخراج شده، در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و بعد از آسیاب و الک کردن (با مش ۱۸)، در بسته‌بندی عایق به رطوبت تا انجام آزمایش‌های مورد نظر نگهداری شدند. همچنین، برای تهیه پوشش خوراکی کیتوزان غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ درصد

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

Model	Equation	References
Midili et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	[23]
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	[24]
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[25]
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	[26]
Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	[27]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[28]
Newton	$MR = \exp(-kt)$	[29]

سوزنی و با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه به داخل نمونه محاسبه و بر حسب نیوتن گزارش شد.

۷-۲- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها، از طریق بررسی اثر خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH تعیین گردید. به این منظور، برگه سیب خشک شده (۱۰ گرم) با ۱۰۰ سی سی مخلوط آب-اتانول (۵۰-۵۰) مخلوط گردید و به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق روی شیکر 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 حلال‌زدائی، در سطح پلیت‌های شیشه‌ای پخش و در آون با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد گذاشته خواهد شد. پس از تبخیر حلال، عصاره تا رسیدن به وزن ثابت در دیسکاتور قرار گرفت. عصاره حاصل تا زمان انجام آزمایش در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. محلول ۰/۰۰۶ درصد رادیکال آزاد DPPH در متانول تهیه شد، سپس به لوله‌های آزمایش حامل یک میلی‌لیتر محلول متانولی نمونه با غلظت‌های مختلف (بسته به قدرت مهار کنندگی رادیکال آزاد)، یک میلی‌لیتر از محلول فوق اضافه شد. لوله‌های آزمایش بعد از ورتکس شدن به مدت یک ساعت در جای تاریک نگهداری شد و سپس جذب آنها در طول موج ۵۱۲ نانومتر در برابر شاهد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید و سپس درصد مهار کنندگی رادیکال آزاد بر حسب معادله زیر اندازه‌گیری شد [۳۰].

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

مدل‌های مذکور با نسبت رطوبت‌های به دست آمده حاصل از آزمایش‌های مختلف به کمک نرم افزار متلب ۲۰۱۰ برازش داده شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR}_{pre} - MR_{exp,i})^2} \quad (۳)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - m} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (۵)$$

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

۷-۲-۵- پردازش تصویر

برای بررسی شاخص‌های رنگی برش‌های سیب خشک‌شده از دستگاه هانتربل استفاده شد و میانگین و میانگین نتایج و شاخص‌های رنگی L^* (شاخص شفافیت-تیرگی)، a^* (شاخص قرمزی-سبزی)، b^* (شاخص زرد-آبی)، شاخص قهوه‌ای شدن (BI) و تغییرات رنگ کلی (ΔE) بدست آمد.

۷-۲-۶- بافت‌سنجی

تجزیه و تحلیل ویژگی‌های بافتی (سفتی، چسبندگی و پیوستگی) با استفاده از دستگاه بافت‌سنج انجام شد. این دستگاه با اعمال فشار بر سطح برش‌های سیب میزان مقاومت را به صورت عدد بر حسب گرم/نیرو نشان می‌دهد. بدین طریق نیروی لازم برای نفوذ یک پروب ۳۶ میلی‌متری با انتهای

زمان خشک شدن مربوط به استفاده از بالاترین غلظت بود.

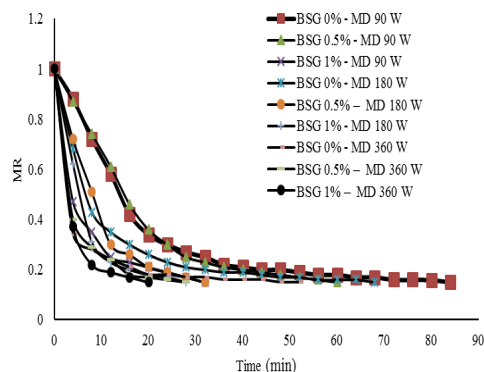


Fig 1 Drying kinetics of apple slices under combined effect of microwave powers and BSG concentrations.

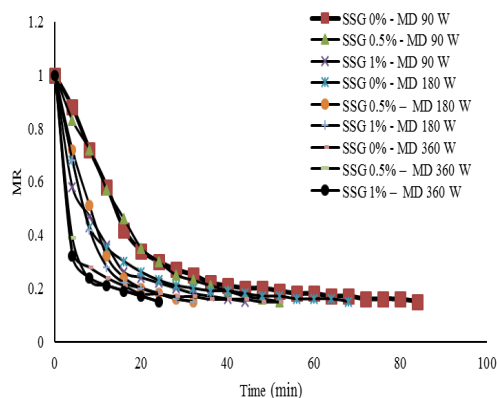


Fig 2 Drying kinetics of apple slices under combined effect of microwave powers and SSG concentrations.

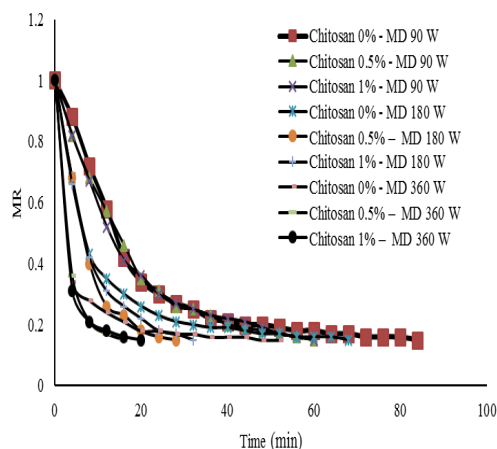


Fig 3 Drying kinetics of apple slices under combined effect of microwave powers and chitosan concentrations.

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

۲-۸- طرح آماری و آنالیز داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. مدل‌سازی به کمک نرم افزار MATLAB و مقایسه میانگین با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سینتیک خشک کردن و مدل‌سازی

شکل‌های ۱، ۲ و ۳ اثر همزمان توان‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات مایکروویو و غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ درصد پوشش‌های خوراکی ریحان، مرو و کیتوزان را بر سرعت خشک کردن برگه‌های سیب نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود عدم وجود دوره سرعت ثابت خشک شدن، نشان دهنده آن است که فرآیند خشک شدن در محدوده دوره سرعت نزولی رخ داد و در آن تغییر مقدار رطوبت برگه‌های سیب عمدتاً با انتشار صورت گرفت. به عبارتی دیگر، در ابتدای فرآیند خشک شدن مقدار رطوبت محصول اولیه بیشتر بود، اما طی فرآیند خشک کردن و گذشت زمان، محتوای رطوبت کاهش پیدا کرد. شرایط خشک کردن، زمان لازم برای رسیدن به رطوبت نهایی را تعیین کرد به طوری که بالاترین و پایین‌ترین زمان خشک کردن به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۹۰ و ۳۶۰ وات بودند. احتمالاً به دلیل رابطه مستقیم سرعت خشک کردن با توان خروجی مایکروویو، با افزایش مایکروویو و در نتیجه افزایش گرادیان حرارتی در داخل نمونه، انتقال جرم بیشتر و در نتیجه افزایش سرعت کاهش رطوبت نمونه را به دنبال داشت. به عبارت دیگر، افزایش توان مایکروویو سبب افزایش دما از داخل به سطح ماده در حال خشک شدن گردیده و رطوبت نسبی نمونه را سریع‌تر کاهش داد. بنابراین، رطوبت نمونه در زمان کمتری کاهش پیدا کرد. همچنین، مقایسه زمان خشک شدن برگه‌های سیب در سه غلظت مختلف پوشش‌های خوراکی ریحان، مرو و کیتوزان نشان داد بالاترین زمان مربوط به استفاده از غلظت پایین پوشش‌های خوراکی و پایین‌ترین

شکل تشکیل شده و نفوذپذیری دیواره‌های سلولی را کاهش می‌دهد. برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سینتیک خشک کردن برگه‌های سیب در دماهای مختلف خشک کردن و غلظت‌های پوشش‌های خوراکی، هفت مدل بر منحنی‌های خشک شدن حاصل از داده‌های تجربی برازش شدند (جدول‌های ۲، ۳ و ۴) و سپس با توجه به مقادیر R^2 ، χ^2 و RMSE معادلات، مناسب‌ترین مدل انتخاب شد.

علاوه بر این، مقدار رطوبت در نمونه‌های پوشش داده شده با غلظت ۱ درصد، پایین بود و نزدیکی بین داده‌های تجربی منحنی‌های خشک شدن در هر سه نوع پوشش خوراکی ریحان، مرو و کیتوزان مشاهده گردید. احتمالاً دلیل این امر آن است که نوع پوشش‌های خوراکی تاثیر کمی بر میزان رطوبت در طول فرآیند خشک کردن داشتند و مقاومت اصلی در برابر انتشار رطوبت بیشتر با ویژگی‌های بافت میوه مرتبط بود. در واقع، اپیدرم میوه دارای کوتیکول‌های است که از مواد مومی

Table 2 Statistical results of different mathematical drying models for apple slices under combined effect of microwave powers andBSG concentrations.

	verma			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	RMSE	χ^2	R^2
<i>Basil seed gum coating</i>															
BSG 0% – MD 90 W	0.0275	0.0143	0.9887	0.0275	0.0143	0.9887	0.0271	0.0133	0.9895	0.0249	0.0118	0.9907	0.0560	0.0628	0.9506
BSG 0.5% – MD 90 W	0.0273	0.0097	0.9915	0.0273	0.0097	0.9915	0.0168	0.0003	0.9970	0.0284	0.0105	0.9908	0.0425	0.0252	0.9778
BSG 1% – MD 90 W	0.0091	0.0050	0.9991	0.0091	0.0005	0.9991	0.0063	0.0001	0.9997	0.0288	0.0053	0.9908	0.0105	0.0077	0.9987
BSG 0% – MD 180 W	0.0123	0.0024	0.9971	0.0123	0.0024	0.9971	0.0247	0.0091	0.9891	0.0191	0.0058	0.9930	0.0406	0.0281	0.9667
BSG 0.5% – MD 180 W	0.0267	0.0042	0.9939	0.0267	0.0042	0.9939	0.0262	0.0041	0.9941	0.0286	0.0049	0.9930	0.0415	0.0120	0.9827
BSG 1% – MD 180 W	0.0137	0.0050	0.9921	0.0317	0.0005	0.9921	0.0332	0.0044	0.9930	0.0326	0.0053	0.9916	0.0534	0.0171	0.9731
BSG 0% – MD 360 W	0.0159	0.0030	0.9953	0.0159	0.0030	0.9953	0.0071	0.0005	0.9991	0.0298	0.0106	0.9835	0.0114	0.0017	0.9973
BSG 0.5% – MD 360 W	0.0090	0.0004	0.9993	0.0090	0.0004	0.9993	0.0038	0.0000	0.9999	0.0280	0.0039	0.9931	0.0092	0.0005	0.9991
BSG 1% – MD 360 W	0.0016	0.0000	1	0.0016	0.0000	1	0.0098	0.0001	0.9996	0.0097	0.0002	0.9995	0.0195	0.0015	0.9972

* BSG = Basil seed gum

* MD = Microwave drying

Table 3 Statistical results of different mathematical drying models for apple slices under combined effect of microwave powers and SSG concentrations.

	verma			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	RMSE	χ^2	R ²
<i>Saliva seed gum coating</i>															
SSG 0% – MD 90 W	0.0275	0.0143	0.9887	0.0275	0.0143	0.9887	0.0271	0.0133	0.9895	0.0249	0.0118	0.9907	0.0260	0.0128	0.9905
SSG 0.5% – MD 90 W	0.0343	0.0129	0.9865	0.0180	0.0035	0.9963	0.0161	0.0026	0.9972	0.0193	0.0041	0.9975	0.0272	0.0089	0.9908
SSG 1% – MD 90 W	0.0217	0.0047	0.9933	0.0217	0.0047	0.9933	0.0157	0.0022	0.9968	0.0282	0.0079	0.9887	0.0224	0.0055	0.9921
SSG 0% – MD 180 W	0.0123	0.0024	0.9971	0.0123	0.0024	0.9971	0.0247	0.0091	0.9891	0.0191	0.0058	0.9930	0.0406	0.0281	0.9667
SSG 0.5% – MD 180 W	0.0226	0.0030	0.9957	0.0226	0.0030	0.9957	0.0144	0.0010	0.9986	0.0272	0.0044	0.9938	0.0392	0.0107	0.9851
SSG 1% – MD 180 W	0.0719	0.0310	0.9537	0.0167	0.0016	0.9975	0.0182	0.0016	0.9975	0.0171	0.0017	0.9974	0.0394	0.1089	0.9838
SSG 0% – MD 360 W	0.0159	0.0030	0.9953	0.0159	0.0030	0.9953	0.0071	0.0005	0.9991	0.0298	0.0106	0.9835	0.0114	0.0017	0.9973
SSG 0.5% – MD 360 W	0.0040	0.0000	0.9999	0.0040	0.0000	0.9999	0.0138	0.0005	0.9990	0.0150	0.0009	0.9984	0.0196	0.0019	0.9965
SSG 1% – MD 360 W	0.0019	0.0000	1	0.0019	0.0000	1	0.0055	0.0000	0.9998	0.0265	0.0028	0.9949	0.0043	0.0000	0.9998

* SSG= Saliva seed gum

* MD = Microwave drying

Table 4 Statistical results of different mathematical drying models for apple slices under combined effect of microwave powers and chitosan concentrations.

	verma			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	RMSE	χ^2	R ²
<i>Chitosan coating</i>															
Ch 0% – MD 90 W	0.0275	0.0143	0.9887	0.0275	0.0143	0.9887	0.0271	0.0133	0.9895	0.0249	0.0118	0.9907	0.0260	0.0128	0.9905
Ch 0.5% – MD 90 W	0.0141	0.0025	0.9975	0.0135	0.0021	0.9979	0.0135	0.0021	0.9979	0.0139	0.0025	0.9975	0.0316	0.0140	0.9863
Ch 1% – MD 90 W	0.0148	0.0028	0.9971	0.0028	0.0028	0.9971	0.0172	0.0035	0.9963	0.0141	0.0026	0.9973	0.0333	0.0155	0.9841
Ch 0% – MD 180 W	0.0123	0.0024	0.9971	0.0123	0.0024	0.9971	0.0247	0.0091	0.9891	0.0191	0.0058	0.9930	0.0406	0.0281	0.9667
Ch 0.5% – MD 180 W	0.0242	0.0029	0.9951	0.0242	0.0029	0.9955	0.0201	0.0016	0.9975	0.0268	0.0036	0.9945	0.0423	0.0107	0.9836
Ch 1% – MD 180 W	0.0118	0.0008	0.9987	0.0118	0.0008	0.9987	0.0173	0.0015	0.9977	0.0128	0.0009	0.9985	0.0285	0.0057	0.9911
Ch 0% – MD 360 W	0.0159	0.0030	0.9953	0.0159	0.0030	0.9953	0.0071	0.0005	0.9991	0.0298	0.0106	0.9835	0.0114	0.0017	0.9973
Ch 0.5% – MD 360 W	0.0003	0.0000	0.9999	0.0000	0.0000	0.9999	0.0614	0.0000	0.9999	0.0085	0.0001	0.9997	0.0159	0.0007	0.9985
Ch 1% – MD 360 W	0.0050	0.0000	0.9999	0.0050	0.0000	0.9999	0.0033	0.0000	1	0.0141	0.0006	0.9989	0.0137	0.0007	0.9986

* Ch = Chitosan

* MD = Microwave drying

نتایج حاصل براساس مقادیر بیشتر R^2 و مقادیر کمتر χ^2 و RMSE نشان داد برای پوشش ریحان مدل میدیلی و همکاران، برای پوشش مرو مدل تقریب نفوذ و برای پوشش کیتوزان مدل میدیلی و همکاران دارای بیشترین دقت مدل سازی بودند و به خوبی تغییرات محتوای رطوبتی را پیش بینی کردند. به طور کلی، از آنجایی که مکانیزم خشک شدن با امواج مایکروویو از داخل به سطح نمونه است، به نظر می رسد که با به کارگیری این روش، علاوه بر صرفه جویی در زمان و انرژی، محصول نهایی خشک شده کیفیت ظاهری بهتری داشته باشد. فیروزی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی پوشش های ریحان و کیتوزان بر خشک کردن آون هوای داغ و تحت خلاء برگه های سیب به این نتیجه رسیدند که مدل میدیلی برای پوشش های صمغ ریحان و مدل تقریب نفوذ برای پوشش های با ماده کیتوزان با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل ها، فرآیند خشک شدن ورقه های سیب را پیش بینی کردند [۳۱].

۳-۲- رنگ

پوشش خوراکی و فرآیند خشک کردن معمولاً سبب تغییر رنگ در سطح میوه می شوند. اثر پوشش های ریحان، مرو و کیتوزان در سه غلظت صفر، ۰/۵ و ۱ درصد در توان های مختلف مایکروویو ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات بر ویژگی های رنگی برگه های سیب خشک شده در جدول های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. برگه های سیب بدون پوشش در ۳۶۰ وات بیشترین مقدار قرمزی (a^*)، زردی (b^*)، شاخص قهوه ای شدن (BI) و تغییرات رنگ کلی (ΔE) و کمترین روشنایی (L^*) را داشتند و از طرف دیگر، نمونه های پوشش دار ۱ درصد در ۹۰ وات، کمترین مقدار قرمزی، زردی، شاخص قهوه ای شدن و تغییرات رنگ کلی و بیشترین روشنایی را به خود اختصاص دادند. به طور کلی وقتی توان مایکروویو افزایش یافت، مقدار قرمزی، زردی، شاخص قهوه ای شدن و تغییرات رنگ کلی روند صعودی به خود گرفت ولی روشنایی کاهش یافت لذا می توان نتیجه گرفت که مایکروویو باعث افزایش واکنش های قهوه ای شدن میلارد در برگه های سیب شد. با افزایش غلظت

پوشش ها، مقدار روشنایی افزایش ولی مقدار قرمزی، زردی، شاخص قهوه ای شدن و تغییرات رنگ کلی کاهش یافت لذا می توان گفت پوشش های خوراکی اثر محافظت کنندگی در برابر تغییرات رنگ ورقه های سیب دارند و باعث کاهش واکنش میلارد و در نتیجه کاهش تراکم رنگدانه های قهوه ای در سطح نمونه حین فرآیند خشک کردن مایکروویو می شوند. فیروزی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی تاثیر پوشش های ریحان و کیتوزان بر خشک کردن آون هوای داغ و تحت خلاء برگه های سیب گزارش دادند که با افزایش غلظت پوشش در هر یک از دماهای مورد بررسی آون (هوای داغ و خلاء)، مقدار L^* روند صعودی به خود گرفت ولی مقدار قرمزی، زردی، قهوه ای شدن و تغییر رنگ کلی کاهش یافت لذا وجود پوشش بر روی ورقه های سیب می تواند به عنوان یک لایه محافظتی در برابر عوامل مخرب (همچون اکسیژن) از انجام واکنش های قهوه ای شدن جلوگیری نماید [۳۱]. محققین دیگر نیز گزارش کردند که پوشش های خوراکی به عنوان یک عامل حفاظتی در طی فرآیند خشک کردن عمل می کنند و سبب افزایش مولفه شفافیت و کاهش قهوه ای شدن میلارد می شوند [۲۶، ۲۷ و ۲۸]. Salehi و Kashaninejad (۲۰۱۷) با بررسی اثر روش های مختلف خشک کردن (آون هوای داغ با دمای ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد، انجمادی و آون خلاء) بر خواص رئولوژیکی، بافتی و تغییرات رنگ صمغ دانه ریحان، نشان دادند میزان تغییرات کلی رنگ و روشنایی صمغ دانه ریحان با افزایش دما، کاهش پیدا کرد [۳۲]. همچنین Satorabi و همکاران (۲۰۲۱) قبل از خشک کردن برگه های زردآلو در سیستم فروسرخ، برگه ها را با صمغ های گزانتان و دانه بالنگو (با غلظت ۰/۶ درصد) پوشش دهی کردند. این محققان گزارش دادند برگه های خشک شده زرد آلو پوشش داده شده روشن تر بوده و نمونه های پوشش داده شده مؤلفه روشنایی بالاتری داشتند. علاوه بر این، مؤلفه روشنایی محاسبه شده برای نمونه های شاهد، پوشش داده شده با صمغ گزانتان و دانه بالنگو به ترتیب برابر ۴۴/۷، ۴۸/۷ و ۵۳/۲ بوده است [۳۳].

Table 5 Color changes of dried apple slices under combined effect of microwave powers and BSG concentrations.

<i>Basil seed gum coating</i>	L*	a*	b*	BI	ΔE
BSG 0% – MD 90 W	78.42±1.09 ^d	4.25±1.20 ^{ab}	43.58±0.79 ^c	82.00±0.97 ^c	5.12±0.82 ^c
BSG 0.5% – MD 90 W	80.89±0.74 ^b	2.90±0.77 ^c	29.33±0.31 ^e	46.38±0.69 ^h	4.02±0.63 ^d
BSG 1% – MD 90 W	81.59±0.48 ^a	2.69±0.31 ^c	28.14±0.62 ^f	44.24±0.47 ⁱ	3.15±0.50 ^d
BSG 0% – MD 180 W	75.39±1.32 ^d	5.25±0.90 ^a	45.72±0.81 ^b	92.94±1.40 ^b	6.25±1.20 ^b
BSG 0.5% – MD 180 W	78.49±0.54 ^d	3.10±0.42 ^b	29.39±0.79 ^e	53.79±0.71 ^e	5.02±0.37 ^c
BSG 1% – MD 180 W	79.14±0.31 ^c	2.90±0.37 ^c	29.24±0.63 ^e	48.59±0.48 ^g	3.62±0.61 ^d
BSG 0% – MD 360 W	73.12±1.12 ^g	5.95±0.82 ^a	46.12±0.86 ^a	99.17±1.07 ^a	7.11±1.40 ^a
BSG 0.5% – MD 360 W	74.18±0.59 ^f	3.40±0.68 ^{ab}	30.38±0.65 ^d	55.19±0.69 ^d	5.18±0.77 ^c
BSG 1% – MD 360 W	75.98±0.33 ^c	3.20±0.40 ^{ab}	30.17±0.01 ^d	50.30±0.74 ^f	3.82±0.81 ^d

* BSG = Basil seed gum

* MD = Microwave drying

Table 6 Color changes of dried apple slices under combined effect of microwave powers and SSG concentrations.

<i>Saliva seed gum coating</i>	L*	a*	b*	BI	ΔE
SSG 0% – MD 90 W	78.42±1.09 ^b	4.25±1.2 ^{ab}	43.58±0.79 ^b	82.00±0.97 ^c	5.12±0.82 ^c
SSG 0.5% – MD 90 W	79.72±0.41 ^{ab}	3.10±0.42 ^b	30.20±0.41 ^c	50.89±0.96 ^g	4.18±0.35 ^d
SSG 1% – MD 90 W	80.63±0.23 ^a	2.50±0.17 ^c	29.52±0.72 ^d	46.26±0.52 ^h	3.42±0.42 ^e
SSG 0% – MD 180 W	75.39±1.32 ^d	5.25±0.90 ^a	45.72±0.81 ^a	92.94±1.40 ^b	6.25±1.20 ^b
SSG 0.5% – MD 180 W	76.59±0.42 ^c	3.50±0.61 ^{ab}	30.63±0.61 ^c	54.50±0.64 ^e	5.12±0.79 ^c
SSG 1% – MD 180 W	78.81±0.21 ^b	3.20±0.22 ^{ab}	29.82±0.52 ^d	50.32±0.59 ^g	3.89±0.33 ^e
SSG 0% – MD 360 W	73.12±1.12 ^f	5.95±0.82 ^a	46.12±0.86 ^a	99.17±1.07 ^a	7.11±1.14 ^a
SSG 0.5% – MD 360 W	73.96±0.61 ^f	3.80±0.71 ^{ab}	30.53±0.71 ^c	56.60±0.67 ^d	5.25±0.65 ^c
SSG 1% – MD 360 W	74.52±0.33 ^c	3.50±0.31 ^{ab}	30.31±0.35 ^c	52.49±0.40 ^f	4.10±0.47 ^d

* SSG= Saliva seed gum

*MD = Microwave drying

Table 7 Color changes of dried apple slices under combined effect of microwave powers and chitosan concentrations.

<i>Chitosan coating</i>	L*	a*	b*	BI	ΔE
Ch 0% – MD 90 W	78.42±1.09 ^b	4.25±1.20 ^b	43.58±0.79 ^c	82.00±0.97 ^c	5.12±0.82 ^c
Ch 0.5% – MD 90 W	78.58±0.42 ^b	3.60±0.38 ^c	31.59±0.59 ^e	51.01±0.65 ^h	5.02±0.41 ^c
Ch 1% – MD 90 W	79.83±0.37 ^a	3.42±0.50 ^c	30.62±0.42 ^f	50.67±1.12 ⁱ	4.42±0.58 ^d
Ch 0% – MD 180 W	75.39±1.32 ^d	5.25±0.90 ^a	45.72±0.81 ^b	92.94±1.40 ^b	6.25±1.20 ^b
Ch 0.5% – MD 180 W	76.13±0.67 ^c	3.90±0.21 ^c	32.19±0.49 ^d	55.68±0.49 ^f	5.10±1.61 ^c
Ch 1% – MD 180 W	78.64±0.17 ^b	3.80±0.30 ^c	31.18±0.32 ^e	52.74±0.68 ^g	4.64±0.83 ^d
Ch 0% – MD 360 W	73.12±1.12 ^f	5.95±0.82 ^a	46.12±0.86 ^a	99.17±1.07 ^a	7.11±1.14 ^a
Ch 0.5% – MD 360 W	73.61±0.25 ^f	4.75±0.59 ^b	32.50±0.61 ^d	68.37±0.43 ^d	5.50±0.59 ^c
Ch 1% – MD 360 W	77.08±0.10 ^c	4.32±0.71 ^b	31.65±0.50 ^e	63.88±0.64 ^e	4.92±0.81 ^c

* Ch = Chitosan

* MD = Microwave drying

می‌شود برگه‌های سیب خشک‌شده با ۱ درصد پوشش در ۹۰

وات مایکروویو کمترین سفتی و بیشترین چسبندگی و پیوستگی را داشتند و این در حالی است که نمونه‌های خشک شده بدون پوشش در ۳۶۰ وات مایکروویو بیشترین سفتی و کمترین چسبندگی و پیوستگی مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش توان مایکروویو (در سطوح غلظتی مشابه پوشش)، مقدار سفتی روند صعودی ولی چسبندگی و پیوستگی روند نزولی داشت. از طرف دیگر با افزایش غلظت هر یک از پوشش‌های ریحان، مرو و کیتوزان در توان‌های یکسان، مقدار

۳-۳- بافت

خصوصیات بافتی همچون سفتی، چسبندگی و پیوستگی از ویژگی‌های مکانیکی نمونه است. اثر پوشش‌های خوراکی ریحان، مرو و کیتوزان در غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ درصد و توان‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات مایکروویو بر میزان ویژگی‌های بافتی برگه‌های سیب در جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. پوشش‌های خوراکی با افزایش توان مایکروویو، اثرات مهمی در برابر میزان سفتی، چسبندگی و پیوستگی برگه‌های خشک شده سیب داشتند ($P < 0.05$). همانطور که ملاحظه

سفتی کاهش و مقدار چسبندگی و پیوستگی افزایش یافت. فیروزی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی تاثیر پوشش‌های ریحان و کیتوزان بر خشک کردن آون هوای داغ و تحت خلاء بر گره‌های سیب گزارش دادند با افزایش غلظت هر یک از پوشش‌های ریحان و کیتوزان در دماهای یکسان، مقدار سفتی کاهش و مقدار چسبندگی و پیوستگی افزایش یافت و این روند در هر یک از روش‌های خشک کردن آون هوای داغ و خلاء مشاهده شد [۳۱] Rajendran و Marikani (۲۰۰۴) بیان کردند که مقاومت نمونه‌های پوشش داده شده

به‌طور معمول با افزایش توان‌های مایکروویو افزایش می‌یابد [۳۴]. همچنین، براساس پژوهش Ogawa (۱۹۹۱) پوشش‌های خوراکی، ویژگی‌های مکانیکی بالاتری از خود نشان می‌دهند و دارای مقاومت کششی بالاتری هستند و مقاومت مکانیکی پوشش‌های خوراکی نیز به روش تهیه و درصد غلظت آنها بستگی دارد [۳۶]. به‌طور کلی در این پژوهش، ویژگی‌های بافتی حاصل از پوشش‌های متفاوت در توان‌های مختلف مایکروویو، تقریباً نزدیک به هم بوده است.

Table 8 Textural properties of dried apple slices under combined effect of microwave powers and BSG concentrations.

<i>Basil seed gum coating</i>	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness
BSG 0% – MD 90 W	95.47±1.42 ^c	190.42±1.03 ^e	118.35±1.14 ^e
BSG 0.5% – MD 90 W	72.43±0.61 ^{de}	238.19±0.74 ^b	149.24±1.27 ^b
BSG 1% – MD 90 W	70.92±0.42 ^e	240.61±0.29 ^a	151.27±0.42 ^a
BSG 0% – MD 180 W	101.36±1.17 ^b	183.27±0.72 ^f	107.72±0.93 ^f
BSG 0.5% – MD 180 W	75.62±0.69 ^c	234.18±0.63 ^c	145.42±0.88 ^c
BSG 1% – MD 180 W	73.15±0.43 ^d	237.59±0.33 ^b	149.47±0.65 ^b
BSG 0% – MD 360 W	112.73±1.62 ^a	177.82±1.14 ^g	100.45±0.97 ^g
BSG 0.5% – MD 360 W	79.47±1.12 ^b	230.72±0.75 ^d	140.81±0.78 ^d
BSG 1% – MD 360 W	76.17±0.82 ^c	233.27±0.42 ^c	144.72±1.11 ^c

* BSG = Basil seed gum

* MD = Microwave drying

Table 9 Textural properties of dried apple slices under combined effect of microwave powers and SSG concentrations.

<i>Saliva seed gum coating</i>	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness
SSG 0% – MD 90 W	95.47±1.42 ^c	190.42±1.03 ^f	118.35±1.14 ^f
SSG 0.5% – MD 90 W	74.12±0.39 ^f	234.15±0.79 ^{bc}	146.34±0.62 ^b
SSG 1% – MD 90 W	72.28±0.51 ^g	237.72±0.83 ^a	149.61±0.39 ^a
SSG 0% – MD 180 W	101.36±1.17 ^b	183.27±0.72 ^g	107.72±0.93 ^g
SSG 0.5% – MD 180 W	76.49±0.26 ^e	231.61±0.75 ^d	143.72±1.12 ^c
SSG 1% – MD 180 W	74.91±0.47 ^f	235.17±0.69 ^b	147.40±0.43 ^b
SSG 0% – MD 360 W	112.73±1.62 ^a	177.82±1.14 ^h	100.45±0.97 ^h
SSG 0.5% – MD 360 W	81.25±0.59 ^d	229.18±0.52 ^e	138.12±0.69 ^e
SSG 1% – MD 360 W	78.73±0.38 ^e	23.42±0.49 ^c	141.87±0.54 ^d

* SSG= Saliva seed gum

* MD = Microwave drying

Table 10 Textural properties of dried apple slices under combined effect of microwave powers and chitosan concentrations.

<i>Chitosan coating</i>	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness
Ch 0% – MD 90 W	95.47±1.42 ^c	190.42±1.03 ^f	118.35±1.14 ^e
Ch 0.5% – MD 90 W	75.36±0.29 ^f	229.52±0.52 ^{bc}	142.39±0.71 ^b
Ch 1% – MD 90 W	73.69±0.71 ^g	233.43±1.04 ^a	146.76±0.43 ^a
Ch 0% – MD 180 W	101.36±1.17 ^b	183.27±0.72 ^g	107.72±0.93 ^f
Ch 0.5% – MD 180 W	78.67±0.42 ^c	226.67±0.63 ^d	138.82±0.51 ^c
Ch 1% – MD 180 W	75.86±0.54 ^f	230.31±0.52 ^b	142.25±0.37 ^b
Ch 0% – MD 360 W	112.73±1.62 ^a	177.82±1.14 ^h	100.45±0.97 ^g
Ch 0.5% – MD 360 W	82.62±1.07 ^d	224.69±0.81 ^e	135.37±0.39 ^d
Ch 1% – MD 360 W	79.95±0.48 ^e	228.07±0.32 ^c	138.79±0.74 ^c

* Ch = Chitosan

* MD = Microwave drying

۳-۴- فعالیت آنتی اکسیدانی

می‌توان به خاصیت آنتی اکسیدانی خود پوشش‌ها و همچنین توانایی بالای آنها در جلوگیری از واکنش میلارد (در هنگام خشک کردن) نسبت داد. فیروزی و همکاران (۱۴۰۱) بیان کردند که پوشش‌های خوراکی ریحان و کیتوزان باعث افزایش خصوصیات آنتی اکسیدانی در خشک کردن برگه‌های سیب با آون هوای داغ و آون خلاء می‌شوند [۳۱]. Oliveira و Silva (۲۰۱۷) کاربرد سه پوشش خوراکی مختلف شامل پکتین (با و بدون گلیسرول) و ایزوله پروتئین سویا به عنوان پیش تیمار خشک کردن و تاثیر آنها بر سببیتیک انتقال جرم، حفظ ویتامین C و حفظ رنگ در طول فرآیند را ارزیابی کردند. نتایج این دو محقق حاکی از آن بود که پوشش‌های خوراکی (پکتین و ایزوله پروتئین) ترکیبات آنتی اکسیدانی در برگه‌های کیوی را به میزان بیشتری حفظ می‌کنند [۳۶].

در جدول‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نتایج اثر پوشش‌های خوراکی و فرآیند خشک کردن با مایکروویو بر روند تغییرات فعالیت آنتی اکسیدانی توسط روش‌های مهار رادیکال آزاد DPPH برگه‌های سیب خشک شده مشاهده می‌گردد. به طور کلی با افزایش توان مایکروویو در غلظت‌های پوشش‌دهی شده یکسان، میزان مهار رادیکال آزاد DPPH کاهش یافت که نشان دهنده از بین رفتن ترکیبات آنتی اکسیدانی در اثر افزایش اکسیداسیون در حین فرآیند خشک کردن مایکروویو است و این در حالی می‌باشد که Ozcan-Sinir و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که خشک کردن باعث افزایش ترکیبات فنولی و خصوصیات آنتی اکسیدانی در کامکوات می‌گردد [۳۵]. با افزایش غلظت پوشش‌های خوراکی (ریحان، مرو و کیتوزان)، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت که علت این امر را

Table 11 Antioxidant activity of dried apple slices under combined effect of microwave powers and BSG concentrations.

<i>Basil seed gum coating</i>	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
BSG 0% – MD 90 W	10.21±0.31 ^{Ed}	12.93±0.25 ^{Df}	22.41±0.37 ^{Cf}	33.18±0.30 ^{Bg}	38.62±0.49 ^{Ag}
BSG 0.5% – MD 90 W	11.98±0.26 ^{Ec}	22.46±0.39 ^{Dc}	27.16±0.41 ^{Cc}	50.21±0.54 ^{Bb}	59.17±0.71 ^{Ab}
BSG 1% – MD 90 W	15.37±0.47 ^{Ea}	25.18±0.42 ^{Da}	30.73±0.29 ^{Ca}	54.16±0.62 ^{Ba}	64.17±0.72 ^{Aa}
BSG 0% – MD 180 W	9.34±0.34 ^{Fe}	11.98±0.21 ^{Dg}	20.12±0.38 ^{Cg}	29.53±0.43 ^{Bh}	35.24±0.36 ^{Ah}
BSG 0.5% – MD 180 W	11.45±0.38 ^{Ec}	21.51±0.43 ^{Dd}	24.91±0.5 ^{Ce}	45.37±0.32 ^{Be}	19.54±0.34 ^{Ae}
BSG 1% – MD 180 W	14.73±0.52 ^{Eb}	24.32±0.39 ^{Db}	28.62±0.54 ^{Cb}	49.81±0.67 ^{Bc}	58.27±0.51 ^{Ac}
BSG 0% – MD 360 W	8.25±0.19 ^{Ff}	11.36±0.12 ^{Ed}	18.62±0.24 ^{Ch}	27.19±0.36 ^{Bi}	32.16±0.42 ^{Ai}
BSG 0.5% – MD 360 W	11.16±0.22 ^{Ec}	19.49±0.17 ^{De}	22.42±0.33 ^{Cf}	42.64±0.41 ^{Bf}	51.72±0.35 ^{Af}
BSG 1% – MD 360 W	14.39±0.42 ^{Eb}	22.81±0.36 ^{Dc}	25.87±0.27 ^{Cd}	46.35±0.43 ^{Bd}	55.26±0.72 ^{Ad}

* Means within a row with the same uppercase letters are not significantly different at P>0.05.

* Means within a column with the same lowercase letters are not significantly different at P>0.05.

* BSG = Basil seed gum

* MD = Microwave drying

Table 12 Antioxidant activity of dried apple slices under combined effect of microwave powers and SSG concentrations.

<i>Saliva seed gum coating</i>	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
SSG 0% – MD 90 W	10.21±0.31 ^{Ed}	12.93±0.25 ^{Df}	22.41±0.37 ^{Cf}	33.18±0.30 ^{Bg}	38.62±0.49 ^{Ag}
SSG 0.5% – MD 90 W	11.42±0.21 ^{Ec}	22.12±0.21 ^{Dc}	26.82±0.49 ^{Cc}	49.12±0.52 ^{Bb}	57.16±0.78 ^{Ab}
SSG 1% – MD 90 W	14.92±0.47 ^{Ea}	24.62±0.52 ^{Da}	29.42±0.37 ^{Ca}	53.73±0.67 ^{Ba}	61.00±0.63 ^{Aa}
SSG 0% – MD 180 W	9.34±0.34 ^{Ec}	11.98±0.21 ^{Dg}	20.12±0.38 ^{Ch}	29.53±0.43 ^{Bh}	35.24±0.36 ^{Ah}
SSG 0.5% – MD 180 W	11.12±0.17 ^{Ec}	21.02±0.35 ^{Dd}	24.14±0.30 ^{Ce}	43.92±0.51 ^{Be}	52.26±0.54 ^{Ae}
SSG 1% – MD 180 W	14.20±0.52 ^{Ea}	23.94±0.31 ^{Db}	27.91±0.36 ^{Cb}	47.62±0.44 ^{Bc}	55.14±0.43 ^{Ac}
SSG 0% – MD 360 W	8.25±0.19 ^{Ed}	11.36±0.12 ^{Ed}	18.62±0.24 ^{Ci}	27.19±0.36 ^{Bi}	32.16±0.42 ^{Ai}
SSG 0.5% – MD 360 W	10.92±0.24 ^{Ed}	18.81±0.25 ^{De}	21.90±0.19 ^{Cg}	41.17±0.42 ^{Bf}	49.32±0.44 ^{Af}
SSG 1% – MD 360 W	13.84±0.34 ^{Eb}	22.24±0.40 ^{Dc}	25.14±0.47 ^{Cd}	44.98±0.63 ^{Bd}	53.42±0.57 ^{Ad}

* Means within a row with the same uppercase letters are not significantly different at P>0.05.

* Means within a column with the same lowercase letters are not significantly different at P>0.05.

* SSG = Saliva seed gum

* MD = Microwave drying

Table 13 Antioxidant activity of dried apple slices under combined effect of microwave powers and chitosan concentrations.

Chitosan coating	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
Ch 0% - MD 90 W	10.21±0.31 ^{Ec}	12.93±0.25 ^{Df}	22.41±0.37 ^{Cd}	33.18±0.30 ^{Bg}	38.62±0.49 ^{Ag}
Ch 0.5% - MD 90 W	10.92±0.21 ^{Ec}	19.92±0.27 ^{Dc}	24.61±0.35 ^{Cc}	48.24±0.38 ^{Bb}	56.27±0.42 ^{Ab}
Ch 1% - MD 90 W	13.72±0.45 ^{Ea}	22.82±0.31 ^{Da}	28.17±0.42 ^{Ca}	51.62±0.4 ^{Ba}	60.41±0.47 ^{Aa}
Ch 0% - MD 180 W	9.34±0.34 ^{Fd}	11.98±0.21 ^{Dg}	20.12±0.38 ^{Ce}	29.53±0.43 ^{Bh}	35.24±0.36 ^{Ah}
Ch 0.5% - MD 180 W	10.61±0.27 ^{Ec}	18.12±0.19 ^{Dd}	22.75±0.21 ^{Cd}	42.19±0.44 ^{Be}	51.52±0.37 ^{Ae}
Ch 1% - MD 180 W	13.25±0.36 ^{Ea}	20.72±0.22 ^{Db}	25.91±0.3 ^{Cb}	47.25±0.39 ^{Bc}	54.12±0.49 ^{Ac}
Ch 0% - MD 360 W	8.25±0.19 ^{Fe}	11.36±0.12 ^{Ed}	18.62±0.24 ^{Cg}	27.19±0.36 ^{Bi}	32.16±0.42 ^{Ad}
Ch 0.5% - MD 360 W	9.81±0.24 ^{Ed}	15.83±0.33 ^{De}	19.61±0.16 ^{Cf}	39.71±0.34 ^{Bf}	47.64±0.43 ^{Af}
Ch 1% - MD 360 W	12.91±0.17 ^{Eb}	18.74±0.24 ^{Dd}	22.54±0.32 ^{Cd}	43.51±0.45 ^{Bd}	52.61±0.36 ^{Ad}

* Means within a row with the same uppercase letters are not significantly different at P>0.05.

* Means within a column with the same lowercase letters are not significantly different at P>0.05.

* Ch = Chitosan

* MD = Microwave drying

hot-air dried-apple slices. *Heat and Mass Transfer*, 56(11), 3047-3057.

- [3] Atungulu, G., Nishiyama, Y., & Koide, S. (2004). Electrode configuration and polarity effects on physicochemical properties of electric field treated apples post harvest. *Biosystems engineering*, 87(3), 313-323.
- [4] Cuccurullo, G., Metallo, A., Corona, O., & Cinquanta, L. (2019). Comparing different processing methods in apple slice drying. Part 1. Performance of microwave, hot air and hybrid methods at constant temperatures. *Biosystems Engineering*, 188, 331-344.
- [5] Rajoriya, D., Shewale, S. R., Bhavya, M. L., & Hebbar, H. U. (2020). Far infrared assisted refractance window drying of apple slices: Comparative study on flavour, nutrient retention and drying characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102530.
- [6] Cuccurullo, G., Giordano, L., Metallo, A., & Cinquanta, L. (2018). Drying rate control in microwave assisted processing of sliced apples. *Biosystems Engineering*, 170, 24-30.
- [7] Chandran, T. T., Mini, C., & Anith, K. N. (2021). Quality evaluation of edible film coated tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits. *Journal of Tropical Agriculture*, 58(2).
- [8] Kaur, K., & Singh, A. K. (2014). Drying kinetics and quality characteristics of beetroot slices under hot air followed by microwave finish drying. *African Journal of Agricultural Research*, 9(12), 1036-1044.
- [9] Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of food engineering*, 44(2), 71-78.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، اثر همزمان توان مایکروویو (۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات) و غلظت (صفر، ۰/۵ و ۱ درصد) پوشش‌های خوراکی ریحان، مرو و کیتوزان بر سینتیک خشک کردن، رنگ، بافت و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی برش‌های سیب خشک شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای پوشش ریحان، مرو و کیتوزان به ترتیب مدل‌های میدیلی و همکاران، تقریب نفوذ و میدیلی و همکاران دارای R^2 بیشتر و χ^2 و RMSE کمتر بودند لذا به خوبی خروج رطوبت از برش‌های سیب را طی فرآیند خشک کردن مایکروویو توجیه کردند. با کاهش توان مایکروویو و یا افزایش غلظت پوشش خوراکی مقدار قرمزی، زردی، شاخص قهوه‌ای شدن، تغییرات رنگ کلی، سفتی روند نزولی به خود گرفت ولی روشنایی، چسبندگی، پیوستگی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت لذا می‌توان نتیجه گرفت که مایکروویو باعث افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد در برگه‌های سیب شد و غلظت بیشتر پوشش‌های خوراکی اثر محافظت کنندگی در برابر تغییرات رنگ ورقه‌های سیب داشت و باعث کاهش واکنش میلارد حین فرآیند خشک کردن گردید.

۵- منابع

- [1] Agricultural statistics. (2021). Garden products (3 ed). Ministry of Agriculture Jihad, Deputy of planning and economics "https://www.maj.ir".
- [2] Tepe, T. K., & Tepe, B. (2020). The comparison of drying and rehydration characteristics of intermittent-microwave and

- and experimental methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 96, 314-325.
- [19] Mei, Y., Zhao, Y., Yang, J., & Furr, H. C. (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of Food Science*, 67(5), 1964-1968.
- [20] Zeynali, M., Naji-Tabasi, S., & Farahmandfar, R. (2019). Investigation of basil (*Ocimum basilicum* L.) seed gum properties as cryoprotectant for frozen foods. *Food Hydrocolloids*, 90, 305-312.
- [21] Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Taheri, A., & Rad, T. K. (2019). Flow behavior, viscoelastic, textural and foaming characterization of whipped cream: Influence of *Lallemantia royleana* seed, *Salvia macrosiphon* seed and carrageenan gums. *International journal of biological macromolecules*, 121, 609-615.
- [22] 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.
- [23] Midilli, A.D.N.A.N., Kucuk, H.A.Y.D.A.R., & Yapar, Z.I.Y.A. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying technology*, 20(7), 1503-1513.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Dandamrongrak, R., Young, G., & Mason, R. (2002). Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 139-146.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar energy*, 59(4-6), 121-126.
- [10] Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47.
- [11] Pruksarojanakul, P., Prakitchaiwattana, C., Settachaimongkon, S., & Borompichaichartkul, C. (2020). Synbiotic edible film from konjac glucomannan composed of *Lactobacillus casei*-01® and Orafit® GR, and its application as coating on bread buns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2610-2617.
- [12] Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- [13] Pavinatto, A., de Almeida Mattos, A. V., Malpass, A. C. G., Okura, M. H., Balogh, D. T., & Sanfelice, R. C. (2020). Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries. *International journal of biological macromolecules*, 151, 1004-1011.
- [14] Pak, E. S., Ghaghelestani, S. N., & Najafi, M. A. (2020). Preparation and characterization of a new edible film based on Persian gum with glycerol plasticizer. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3284-3294.
- [15] Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., Goh, K. K. T., Razavi, S. M. A., & Mortazavi, S. A. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of food engineering*, 101(3), 236-243.
- [16] Razavi, S. M. A., Cui, S. W., Guo, Q., & Ding, H. (2014). Some physicochemical properties of sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food Hydrocolloids*, 35, 453-462.
- [17] Bautista-Baños, S., Hernandez-Lauzardo, A. N., Velazquez-Del Valle, M. G., Hernández-López, M., Barka, E. A., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L. (2006). Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop protection*, 25(2), 108-118.
- [18] Zhu, H., Gulati, T., Datta, A. K., & Huang, K. (2015). Microwave drying of spheres: Coupled electromagnetics-multiphase transport modeling with experimentation. Part I: Model development

- and surface changes of apricot slices during drying in infrared system. *Food Science and Technology*, 18(112), 21-30.
- [34] Rajendran, V.; Marikani, A. *Materials Science*; Tata McGraw-Hill: New Delhi, 2004.
- [35] Ozcan-Sinir, G., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C. E., & Copur, O. U. (2018). The effect of hot air, vacuum and microwave drying on drying characteristics, rehydration capacity, color, total phenolic content and antioxidant capacity of Kumquat (*Citrus japonica*). *Food Science and Technology*, 39, 475-484.
- [36] 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).
- [30] 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.
- [31] Firouzi, N., Farahmandfar, R., Mohammadzadeh Milani, J., & Motevali, A. (2022). Effect of basil and chitosan coating on drying kinetic, color, texture and antioxidant activity of apple slices: hot air oven and vacuum drying. *Journal of food science and technology (Iran)*, 19(122), 393-406.
- [32] Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2017). Effect of drying methods on textural and rheological properties of basil seed gum. *International Food Research Journal*, 24(5).
- [33] Satorabi, M., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021). Effect of edible coatings on the color



Evaluating combined effect of microwave power - edible coating on physicochemical properties of dried apple slices

Karami, S. ¹, Farahmandfar, R. ^{2*}, Farmani, J. ², Raftani Amiri, Z. ³, Motevali, A. ⁴

1. PhD student, 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/ 12/ 14 Accepted 2022/ 08/ 30 Keywords: Microwave, Drying kinetics, Antioxidant activity, Texture DOI: 10.22034/FSCT.20.134.1 DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.134.1.5 *Corresponding Author E-Mail: r.farahmandfar@sanru.ac.ir	The aim of this research was to investigate the effect of basil, sage and chitosan edible coatings on the physicochemical properties of microwave-dried apple slices. In this study, apple fruit slices were coated with basil, sage and chitosan in three concentrations (0, 0.5 and 1%) and dried at different microwave powers (90, 180 and 360 W). The drying kinetics, color, texture and antioxidant activity of apple slices were investigated. The analysis of the data indicated that the drying of the apple slices happened only in the range of the descending speed period. These data were fitted with 7 different experimental models, among the models, the most suitable models for basil, sage and chitosan coatings were Midili, Approximation of diffusion and Verma, respectively. Midili was able to predict moisture content more accurately than other models. Also, the amount of brightness, adhesiveness, cohesiveness and antioxidant activity increased with the increase of coating concentration and microwave power, but the amount of redness, yellowness, browning, general color change and hardness decreased. In general, edible coating is one of the new methods that increases the shelf life and quality of the final product. Therefore, it is recommended to treat fruits using edible coatings to increase the appearance quality and improve the color at the end of the drying process.