

## بکارگیری روش خشک کردن ترکیبی (پوشش دادن، خشک کن هوا و مایکروویو) در خشک کردن برگه‌های نازک سیب

زهرا امام جمعه<sup>۱</sup> و غلامرضا عسکری<sup>۲</sup>

۱، ۲، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۱/۲۶

### خلاصه

در این مطالعه برشهای نازک سیب (به قطر ۲۲ میلی‌متر و ضخامت ۴ میلی‌متر) وارپته زرد لبنانی با استفاده از روش ترکیبی پوشش دادن، خشک کردن با هوای داغ و انرژی مایکروویو، تحت فرآیند قرار گرفتند. جهت جلوگیری از قهوه‌ای شدن آنزیمی نمونه‌ها در حین فرآیند، روش آنزیم بری حرارتی با آب داغ (۱ دقیقه، ۸۰°C)، مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ایجاد محصولی با بافت حجیم و متخلخل از محلولهای ۲٪ نشاسته، پکتین و کربوکسی متیل سلولز به همراه ۱٪ کلسیم کلراید استفاده شد. پس از فرآیندهای آنزیم بری، پوشش دادن (۱ دقیقه، در دمای اتاق)، خشک کردن با هوای داغ (۷۰°C و سرعت جریان ۱ متر بر ثانیه) و نهایتاً خشک کردن با انرژی مایکروویو (۳۰۰ وات، ۱۰ ثانیه)، محصولی با بافت حجیم و متخلخل بدست آمد که نسبت به محصول خشک شده در خشک کن های مرسوم هوای داغ دارای ویژگیهای کیفی بهتری می‌باشد. از مهمترین ویژگیهای کیفی محصولات خشک شده تخلخل است. پس از فرآیند، میزان تخلخل برای نمونه خشک شده به روش رایج ۵۳/۲۶٪ و برای نمونه‌های خشک شده به روش ترکیبی، پوشش داده شده با نشاسته سوسپانسیونی، پکتین و کربوکسی متیل سلولز بترتیب برابر ۶۱/۷۰، ۶۳/۵۹ و ۵۲/۴۰٪ بوده است. استفاده از کلسیم کلراید به همراه مواد پوشش دهنده بعنوان یک بهبود دهنده ویژگیهای ساختمانی موجب افزایش تخلخل نمونه‌ها شده است (تا حدود ۷۳٪). بررسی‌های انجام شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشاندهنده بافت کاملاً متخلخل برای نمونه‌های پوشش داده شده با نشاسته و پکتین به همراه کلسیم کلراید می‌باشد در حالیکه در نمونه خشک شده با روش مرسوم، دیواره‌ها و حفرات سلولی کاملاً چروکیده‌اند. تصاویر نشاندهنده جداشدن دیواره‌های سلولی در اثر اعمال انرژی مایکروویو می‌باشند.

### واژه‌های کلیدی: روش ترکیبی، برگه سیب، پوشش دادن، انرژی مایکروویو، خشک کن هوا

#### مقدمه

خشک کردن یکی از قدیمی ترین روشهای نگهداری مواد غذایی است. با استفاده از این روش علاوه بر جلوگیری از فساد ماده غذایی بوسیله میکرو ارگانیسمها ویا واکنشهای شیمیایی، وزن ماده غذایی کاهش یافته و صرفه جویی بسیاری در هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری حاصل می‌شود. انجام صحیح عملیات خشک کردن بعلاوه امکان بروز برخی تغییرات

نامطلوب در ماده غذایی اهمیت زیادی دارد. برای کاهش آب مواد غذایی تا حدی که در طولانی مدت قابل نگهداری باشند، بویژه آنهاییکه دارای ترکیبات قندی هستند (نظیر میوه‌ها)، زمانی طولانی و دمایی نسبتاً بالا مورد نیاز است. که همین عوامل موجب بروز برخی تغییرات نامطلوب می‌شود که از جمله می‌توان به تغییرات رنگ، طعم، عطر، کاهش مواد مغذی، افزایش وزن مخصوص (بعلاوه چروکیدگی شدید) و کاهش

ظرفیت آبیگری مجدد<sup>۱</sup> محصول خشک شده اشاره کرد (۱، ۴، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۵).

با توجه به این موارد، امروزه روشهای دیگری برای خشک کردن مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته‌اند، بعضی از آنها مانند خشک کردن تصعیدی بعلت هزینه‌های زیاد تولید، فقط برای محصولات بسیار با ارزش در داروسازی و بیوتکنولوژی بکار می‌روند و عملاً در مورد مواد غذایی کاربرد چندانی ندارند. یکی از روشهایی که طی دهه اخیر توجه زیادی به آن مبذول شده، خشک کردن با استفاده از اشعه مایکروویو است. پرتوهای مایکروویو از دسته پرتوهای الکترومغناطیسی با طول موج بلند (فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز) می‌باشند. در هنگام عبور این امواج از بافت ماده غذایی، مولکولهای قطبی نظیر آب و نمکها به ارتعاش در آمده و همین ارتعاش موجب تبدیل انرژی مایکروویو به حرارت می‌شود. قابل توجه اینکه بر خلاف روشهای دیگر خشک کردن که در آنها گرما باید از سطح به عمق نفوذ کند، در این روش گرما در خود بافت ماده غذایی تولید شده و از آسیب دیدن و سوختن قسمتهای سطحی ماده غذایی جلوگیری می‌شود (۲، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۶). در یک بررسی برای خشک کردن برگه‌های نازک هویج از خشک‌کن هوای مجهز به سیستم مایکروویو<sup>۲</sup> استفاده شد که با استفاده از این روش ۹۰-۲۵٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی بعمل آمد. مشخص شد که استفاده از سطوح پایین‌تر انرژی موجب بهبود کیفیت فرآورده پایانی می‌شود (۱۱). استفاده از پوشش برای تولید بافت حجیم در سال ۱۹۹۵ مورد توجه قرار گرفت. پس از استفاده از پوشش نشاسته‌ای و درجه حرارت بالا را برای تولید محصول پف کرده، در سیستم بستر سیال، معلوم شد که با این روش دانسیته ظاهری محصول خشک‌کاهش زیادی نشان می‌دهد (۱۲). اندازه قطر و نحوه توزیع منافذ در بافت میوه‌های خشک و ارتباط آن با روش خشک کردن مورد بررسی قرار گرفته، در نهایت مشخص شده که خشک کردن با روش تصعیدی کمترین تاثیر نامطلوب را بر روی ویژگی‌های ساختمانی بجا می‌گذارد (۳، ۸). با توجه به هزینه‌های بالای خشک کردن با استفاده از انرژی مایکروویو ترکیب خشک کن‌های هوای داغ و مایکروویو بسیار مورد

استفاده قرار گرفته، که در این رابطه می‌توان از ترکیب مایکروویو با خشک کن‌های بستر سیال، سینی‌دار و بستر فورانی نام برد. در مواردی دیگر از انرژی مایکروویو در خشک کن‌های تصعیدی و تحت خلاء نیز استفاده شده است. هدف از ترکیب روشها در تمامی موارد استفاده از مزایای هر کدام از روشهای مذکور بوده است (۱، ۲، ۴، ۱۰، ۱۵، ۱۶).

در این رابطه استفاده از انرژی مایکروویو بسته به چگونگی و زمان استفاده از آن می‌تواند نتایجی متفاوت و بعضاً متضاد داشته باشد. اثرات این انرژی بر روی رنگ محصول و نیز میزان تخلخل آن از این قبیل موارد هستند (۴، ۱۰).

در این پژوهش استفاده از روش ترکیبی پوشش دادن<sup>۳</sup>، خشک کن هوا و مایکروویو در فرآیند خشک کردن برگه‌های سیب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. هدف از این کار ارائه روشی اقتصادی است که در عین کم هزینه بودن، بتوان با استفاده از آن محصولی با ویژگیهای کیفی قابل قبول بدست آورد.

### مواد و روش‌ها

- سیب، واریته زرد لبنانی<sup>۴</sup>، که بصورت روزانه از بازار محلی خریداری و در ۱°C نگهداری شد.

- نشاسته، تهیه شده از (MERCK) آلمان

- پکتین، تهیه شده از (Sigma) آمریکا

- کربوکسی متیل سلولز، تهیه شده از (MERCK) آلمان

- کلسیم کلراید، تهیه شده از (MERCK) آلمان

آنزیم بری حرارتی<sup>۵</sup>: برشهای سیب در آب مقطر با دمای ۸۰°C بمدت ۱ دقیقه آنزیم بری شدند. برای خشک کردن و رسم منحنی‌های روند خشک شدن، از دستگاه خشک کن هوا ساخت شرکت گروک که مجهز به سیستم توزین در محفظه است، استفاده شد. دمای انجام فرآیند ۷۰°C و سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. عمل توزین هر ۱۰ دقیقه یکبار انجام گرفت.

خشک کردن تصعیدی: برای این منظور از دستگاه خشک کن تصعیدی Edwards (ادواردز-ام-جی پاترسون. انگلستان)

3. Coating

4. Golden Delicious

5. Blanching

1. Rehydration Capacity

2. Microwave assisted

استفاده شد، نمونه‌ها در  $70^{\circ}\text{C}$  - منجمد شده سپس در محفظه تصعید قرار گرفتند.

فرآیند میکروویو: برای این منظور از میکروفر خانگی ساخت شرکت بوتان (ایران) که قابلیت تنظیم توان خروجی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ وات را داراست، استفاده شد. زمان فرآیند توسط دستگاه بصورت خودکار نشان داده می‌شود.

اندازه‌گیری دانسیته ظاهری: تعدادی از برگه‌های خشک توزین شده (با ترازوی به دقت ۰/۰۱ گرم) و سپس در یک استوانه مدرج محتوی محلول رنگی هپتان نرمال حجم آنها اندازه‌گیری شد. دانسیته ظاهری از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\rho_b = \frac{m}{v_b}$$

که در این رابطه  $m$  وزن و  $V_b$  حجم ظاهری نمونه‌ها می‌باشد.

اندازه‌گیری دانسیته حقیقی: نمونه‌ها بصورت پودر در آمده، سپس هواگیری شده و بصورت فشرده در یک استوانه مدرج توزین شد. دانسیته حقیقی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\rho_t = \frac{m}{v_t}$$

$V_t$  حجم حقیقی می‌باشد.

اندازه‌گیری تخلخل: با استفاده از رابطه زیر میزان تخلخل نمونه‌ها را می‌توان محاسبه کرد.

$$P = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}$$

ارزیابی میکروسکوپی نمونه‌ها: بدین منظور برشهای نازک نمونه خشک شده با استفاده از میکروسکوپ نوری مجهز به دوربین عکاسی (ZISSE آلمان) و میکروسکوپ الکترونی (PHILIPS XL-30 هلند) در بزرگنمایی‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پوشش دادن: از محلولهای پکتین، نشاسته و کربوکسی متیل سلولز به همراه کلسیم کلراید و بدون کلسیم کلراید استفاده شد. نمونه‌ها بمدت ۱ دقیقه در شرایط دمایی محیط و سرعت همزنی ۱۰۰ دور در دقیقه در این محلولها غوطه ور شدند.

روش آماری: طرح CRD و مقایسه میانگین دانکن با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

متغیرهای طرح نوع پوشش (سه نوع)، بکارگیری و عدم بکارگیری انرژی میکروویو و استفاده و عدم استفاده از کلسیم کلراید بوده که اثر آنها بر روی میزان تخلخل و دانسیته ظاهری محصول خشک شده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام شده است.

### روش آماده سازی نمونه

پس از خارج کردن سیب‌ها از یخچال و رسیدن آنها به شرایط دمایی محیط، برشهای سیب با ضخامت  $4 \pm 0.5$  میلی‌متر و ضخامت ۲۲ میلی‌متر برش داده شده جهت جلوگیری از واکنشهای نامطلوب در زیر آب نگهداری شدند. به منظور انجام عملیات آنزیم بری، نمونه‌ها در مقدار کافی آب داغ با دمای  $80^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ دقیقه و با سرعت همزنی ۱۰۰ دور بر دقیقه غوطه ور شدند. پس از طی زمان لازم نمونه‌ها از ظرف خارج شده پس از سرد کردن مقدماتی به مدت ۱ دقیقه، در محلول پوشش دهنده که با سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه بهم زده می‌شد و در شرایط دمایی محیط غوطه ور شدند. پس از خاتمه زمان پوشش دادن نمونه‌ها به خشک کن هوای داغ منتقل شده و تا رسیدن رطوبت نمونه‌ها به  $0.25-0.3$  بر حسب وزن خشک تحت شرایط دمایی  $70^{\circ}\text{C}$  سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه خشک شدند. پس از رسیدن به این نقطه نمونه‌ها از خشک کن خارج شده و با استفاده از انرژی میکروویو (۳۰۰ وات به مدت ۱۰ ثانیه) تحت فرآیند قرار گرفتند. پس از خاتمه عملیات نمونه‌ها به سرعت به دسیکاتور منتقل شده و تا زمان انجام اندازه‌گیری‌ها در آنجا نگهداری شدند.

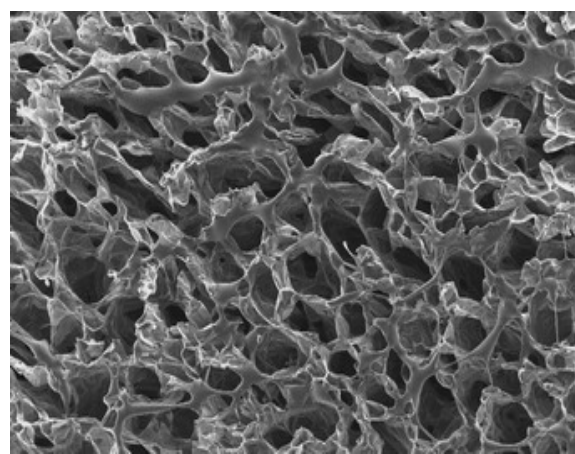
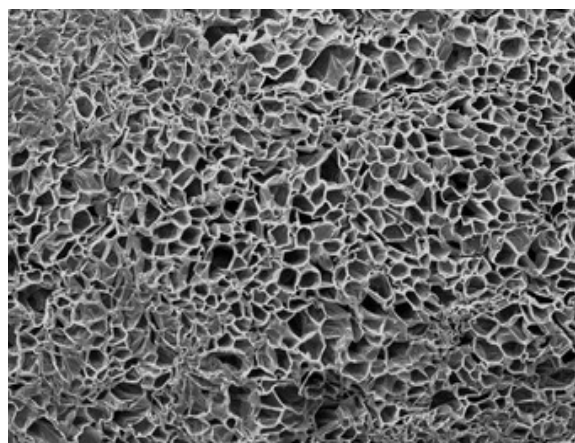
### نتایج و بحث

#### اثر آنزیم بری حرارتی

آبگیری از نمونه‌هایی که تحت فرآیند آنزیم بری حرارتی قرار گرفتند نسبت به نمونه‌های تازه در خشک کن هوا سریعتر است که می‌توان دو دلیل برای آن ذکر کرد. اول اینکه میزان رطوبت سطحی نمونه آنزیم بری شده بیشتر است و در نتیجه سرعت از دست دادن آب خصوصاً در مرحله سرعت ثابت بیشتر

خواهد بود. دلیل دوم باز شدن منافذ و ایجاد مسیرهای موئین در نمونه آنزیم بری شده است.

همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد، نمونه آنزیم بری شده دارای فضاها و منافذ بزرگتری است که اجازه می‌دهد آب سریعتر از عمق محصول به سطح آن نفوذ کرده تبخیر شود. منحنی های خشک شدن برای نمونه‌های تازه و آنزیم بری شده در شکل ۲-الف ملاحظه می‌گردد.



شکل ۱- نمونه‌های تازه (بالا) و آنزیم‌بری شده (پایین) پس از خشک شدن (بزرگنمایی ۲۵ برابر)

#### اثر پوشش دادن

برای پوشش دادن از محلولهای نشاسته، پکتین و کربوکسی متیل سلولوز (سی. ام. سی) همراه ویا بدون کلسیم کلراید استفاده شد. همانطور که در شکل ۲ قسمت ب ملاحظه می‌شود، با ایجاد پوشش بر روی نمونه های تازه و آنزیم بری شده روند از دست دادن آب در آنها تغییر می‌کند. این پدیده را بدین صورت

می‌توان توجیه کرد که در نمونه‌های تازه، ذرات نشاسته قادر به نفوذ به عمق نیستند و بنابراین بخوبی در منافذ جای نگرفته و نمی‌توانند در خروج آب ممانعت جدی ایجاد کنند، در حالیکه در نمونه‌های آنزیم بری شده ذرات به عمق نفوذ کرده و نقش جلوگیری از حرکت آب<sup>۱</sup> را بخوبی ایفا می‌کنند. با استفاده از سه نوع پوشش نشاسته، پکتین و کربوکسی متیل سلولوز به همراه ویا بدون کلسیم کلراید، سرعت از دست دادن آب در مورد پوشش کربوکسی متیل سلولوز بیشتر بود که بیانگر اثر ممانعت کنندگی ضعیف کربوکسی متیل سلولوز است. البته در بسیاری از منابع از این ماده بعنوان یک پوشش مناسب جهت جلوگیری از خروج رطوبت نام برده شده است، شاید علت اثر ضعیف این ترکیب در اینجا، نازک بودن دیواره ایجاد شده بر روی سطح نمونه ها توسط این ترکیب است. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، نشاسته و پکتین لایه هایی قطورتر نسبت به پوشش ایجاد شده توسط کربوکسی متیل سلولوز ایجاد کرده اند. منحنی های خشک شدن برای هر سه ماده در شکل ۴ آورده شده است.

به هنگام فرآیندهای قبل از خشک شدن و احتمالاً در حین خشک شدن در بافت سیب تغییرات چندی رخ می‌دهد که یکی از آنها مربوط به فعالیت آنزیمی، آنزیم پکتین متیل استراز (PME) است. این آنزیم قبل از غیر فعال شدن در  $70^{\circ}\text{C}$ ، با جدا کردن گروه‌های متیل از پکتین موجب تبدیل آن به اسیدپکتیک محلول می‌شود که با قرار گرفتن در محیط آبی، شسته شده و خارج می‌شود. در صورتیکه اگر در محلول یون کلسیم وجود داشته باشد، این یون به داخل بافت نفوذ کرده با اتصال به مولکول اسید پکتیک، پکتات کلسیم تولید کرده موجب استحکام بافت میوه می‌شود. اثر بکارگیری کلسیم کلراید را می‌توان با مقایسه دانسیته‌های ظاهری و حقیقی و همچنین میزان تخلخل بوجود آمده، مشاهده کرد.

جدول ۱ نتایج بدست آمده را در مورد نمونه‌های پوشش داده شده با سوسپانسیون نشاسته در حضور و عدم حضور کلسیم کلراید نشان می‌دهد.

1. Water barrier

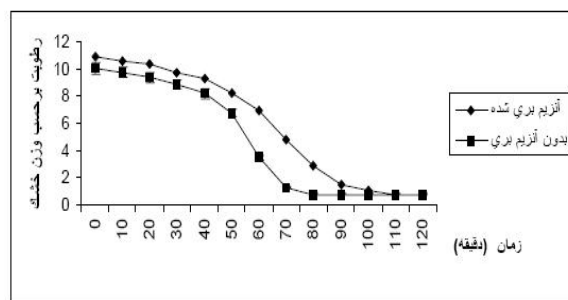
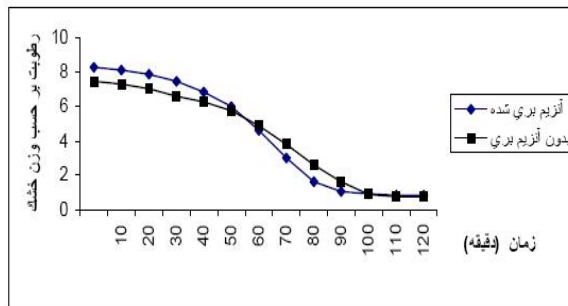
جدول ۱- ویژگیهای نمونه‌های بدون پوشش و پوشش داده شده با نشاسته در حضور و عدم حضور کلسیم کلراید

نمونه	دانسیتة حقیقی (کیلوگرم بر مترمکعب)	دانسیتة ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب)	% تخلخل
خشک کن هوا (شاهد)	۵۵۴ ± ۴/۳ <sup>A</sup>	۱۱۸۷ ± ۷/۱	۵۳/۲۶ ± ۰/۱ <sup>C</sup>
نشاسته سوسپانسیونی	۴۱۲/۳ ± ۶/۶ <sup>B</sup>	۱۰۷۸ ± ۴/۷	۶۱/۷ ± ۰/۴۵ <sup>B</sup>
نشاسته سوسپانسیونی و کلسیم کلراید	۲۸۷/۷ ± ۱/۴ <sup>C</sup>	۱۱۶۳ ± ۴/۵	۷۵/۳۵ ± ۰/۳۵ <sup>A</sup>

C, B, A: نتایج ارزیابی آماری با استفاده از آزمون مقایسه میانگین دانکن  $P < 0.01$

شده، انتقال جرم و حرارت از طریق آن به سختی صورت می‌پذیرد، استفاده از مایکروویو این مزیت را دارد که با عبور از این موانع و بدون ایجاد تغییر در آنها آب موجود در مرکز نمونه بخار شده نهایتاً بافت حجیم به وجود می‌آید. وجود یون کلسیم در بافت میوه عاملی تشدید کننده جهت جذب انرژی مایکروویو بشمار می‌رود. بعد از اتمام فرآیند نمونه‌هایی که حاوی یون کلسیم نیستند، قابلیت حفظ حجم به وجود آمده را نداشته و بعلت عدم استحکام دوباره به حالت اولیه (چروکیده) درمی‌آیند. وجود یون کلسیم در بافت میوه موجب استحکام و تردی آن و تولید محصولی حجیم و متخلخل بعد از فرآیند مایکروویو می‌شود. شکل ۵، تاثیر فرآیند مایکروویو در حضور نشاسته همراه با کلسیم کلراید را نشان می‌دهد. در این شکل حالت حجیم تر بافت و صاف تر دیواره‌های سلولی پس از فرآیند مایکروویو قابل مشاهده است. در شکل ۶ اثر انرژی مایکروویو را در حضور هر سه نوع پوشش را می‌توان مشاهده کرد. افزایش قابل توجه حجم در نتیجه استفاده از پوشش‌های نشاسته و پکتین به همراه کلسیم کلراید را به خوبی می‌توان دید.

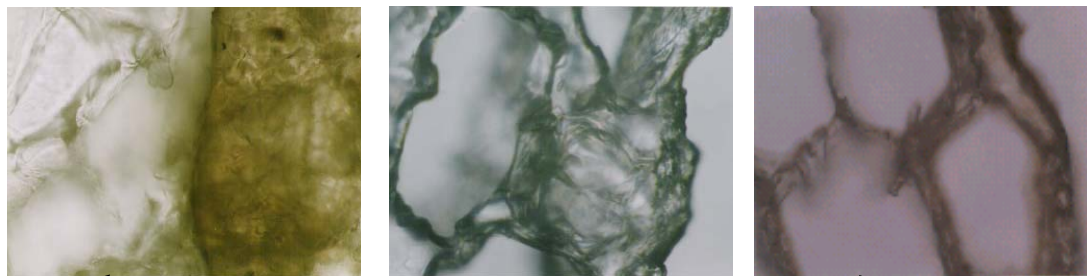
در جدول شماره ۲ اثر نوع پوشش در بعضی ویژگیهای بافتی محصول خشک را می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۲- منحنی‌های مربوط به آگیری از نمونه‌های تازه و آنزیم بری شده قبل (الف) و بعد (ب) از پوشش دادن با محلول ۰.۲٪ نشاسته سوسپانسیونی

### فرآوری در مایکروفر

بعد از خشک شدن در خشک کن هوا نمونه‌ها در مایکروفر تحت فرآیند قرار گرفتند. از آنجا که سطح کاملاً خشک و سخت

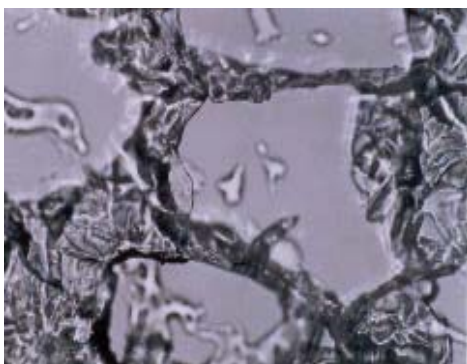
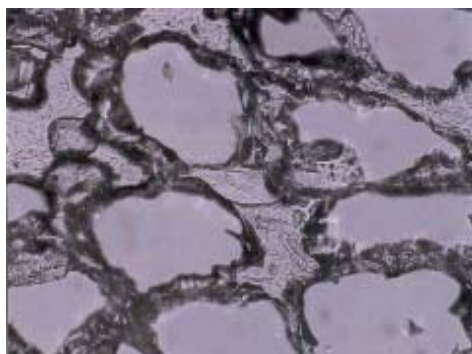


شکل ۳ - تصاویر مربوط به قطر دیواره‌های خارجی در نمونه‌های پوشش داده شده. به ترتیب از سمت راست: کربوکسی متیل سلولز، نشاسته و پکتین. همراه با کلرور کلسیم

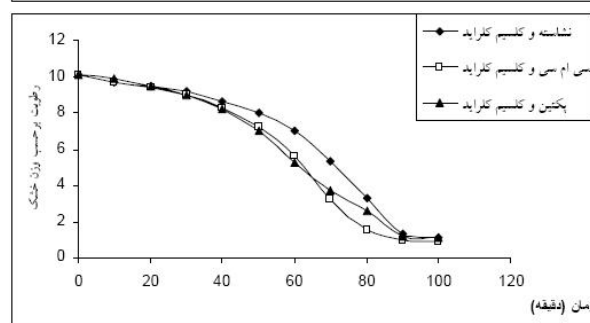
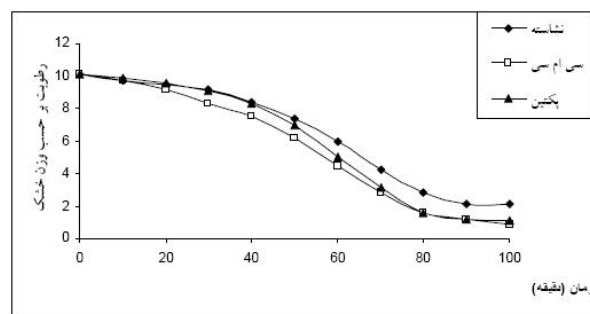
جدول ۲- اثر پوشش های نشاسته و پکتین بر روی وزن مخصوص و تخلخل نمونه های خشک سیب

نمونه	دانسیتته ظاهری (کیلوگرم بر مترمکعب)	دانسیتته حقیقی (کیلوگرم بر مترمکعب)	% تخلخل
خشک کن هوا (شاهد)	۵۵۴ ± ۴/۳ <sup>A</sup>	۱۱۸۷ ± ۷/۱	۵۳/۲۶ ± ۰/۱ <sup>B</sup>
نشاسته سوسپانسیونی و کلسیم کلراید	۲۸۷/۷ ± ۱/۴ <sup>B</sup>	۱۱۶۳ ± ۴/۵	۷۵/۳۵ ± ۰/۳۵ <sup>A</sup>
پکتین و کلسیم کلراید	۲۷۶/۶ ± ۷/۵ <sup>B</sup>	۱۱۱۹/۳ ± ۱۱	۷۵/۲۶ ± ۰/۴۵ <sup>A</sup>

A,B: نتایج ارزیابی آماری با استفاده از آزمون مقایسه میانگین دانکن  $P < 0/01$



شکل ۵- تصویر میکروسکوپی از نمونه پوشش داده شده با نشاسته و کلرید کلسیم قبل (بالا) و بعد (پائین) از فرآیند در مایکروویو (بزرگنمایی ۲۰۰ برابر)



شکل ۴- منحنی های حذف آب از نمونه های پوشش داده شده با نشاسته، پکتین و کربوکسی متیل سولز در حضور و عدم حضور کلسیم کلراید

با توجه به نتایج حاصله مشاهده می شود که پکتین و نشاسته به همراه کلسیم کلراید اثرات یکسانی بر روی بافت محصول دارند و تفاوتی بین آنها دیده نمی شود. اما با توجه به خصوصیات ظاهری، می توان گفت، محصول با پوشش نشاسته که رنگ روشن تری داشته و همچنین پوشش مزبور اثری روی طعم محصول خشک ندارد، برتری دارد.

### نتیجه گیری کلی

مقدار دانسیته ظاهری و تخلخل محصول خشک شده با استفاده از روش هوای داغ به ترتیب برابر ۵۵۴ کیلوگرم بر متر مکعب و ۵۳٪ بوده است. در حالیکه با استفاده از روش بکار گرفته شده در این پژوهش میزان دانسیته ظاهری محصول خشک شده به حدود ۲۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب و تخلخل آن به ۷۵٪ رسیده است که بسیار قابل توجه است.



شکل ۶- اثر بکارگیری انرژی مایکروویو در نمونه های پوشش داده شده (از چپ: سی ام سی، پکتین و نشاسته) به همراه کلسیم کلراید نمونه های ردیف بالا توسط انرژی مایکروویو فرآیند شده اند

محصول فرآیند شده رسید. توماس فانبو هم انرژی میکروویو را برای خشک کردن سیب استفاده کرد. میزان دانسیته ظاهری محصول خشک که توسط این پژوهشگر گزارش گردید، بسته به سطح، زمان اعمال انرژی و شرایط دمایی خشک کن ۶۳۲-۷۹۶ کیلو گرم بر متر مکعب بوده است. علت اصلی افزایش دانسیته ظاهری محصول خشک حاصل از این روشها (صرفنظر از توان بکار گرفته شده) بکارگیری انرژی میکروویو در شرایطی است که میزان رطوبت محصول بالاست که این خود موجب تشدید ضریب تبدیل انرژی میکروویو و در نهایت تخریب ساختار داخلی محصول خشک شده خواهد بود. ویژگی پژوهش اخیر، در مقایسه با روشهایی که به آنها اشاره شد، شامل بدست آوردن بافت متخلخل و حجیم مطلوب از نظر مصرف کننده، با استفاده از یک سیستم ساده و ارزان، و دیگری کاهش زمان اعمال انرژی میکروویو و در نتیجه کاستن از هزینه تولید می باشد.

### سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران که با کمکهای خویش انجام این تحقیق را طی طرح شماره ۷۱۶/۳/۶۹۸ فراهم آوردند، تشکر و سپاسگزاری می شود.

در دهه اخیر پژوهشگران بسیاری روشهای ترکیبی متفاوتی را برای افزایش تخلخل، مورد ارزیابی قرار داده اند. از جمله تورجیانی از پوشش نشاسته ژلاتینه و شرایط دمایی بالا ( $175^{\circ}\text{C}$ ) در مدت زمان ۱۱ دقیقه، برای حجیم کردن سیب خشک استفاده کرد. دانسیته ظاهری گزارش شده توسط این محقق تا حدود ۱۶۰ کیلو گرم بر متر مکعب کاهش یافته بود که در مقایسه با مقدار بدست آمده با روش ذکر شده در این تحقیق رقمی قابل توجه است. اما بایستی توجه کرد که در روش بکار گرفته (۱۴) در محصول خشک شده فضاهایی بزرگ و حباب مانند تشکیل می گردد که از نظر ظاهری چندان مطلوب نیست، همچنین در این تحقیق از دماهای بالا استفاده شده که صرفنظر از هزینه بالا موجب تغییراتی نامطلوب در بافت نمونه می شود، از پژوهشگرانی که از انرژی میکروویو برای خشک کردن سیب استفاده کردند فنگ و همکارانش بودند نتایج منتشر شده از سوی این محقق بیانگر این موضوع بود که استفاده از انرژی میکروویو در یک سیستم بستر فورانی موجب افزایش دانسیته ظاهری و به دنبال آن کاهش تخلخل محصول خشک می گردد. طی پژوهش مزبور دانسیته ظاهری از حدود ۶۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب برای محصول خشک فرآیند نشده بوسیله میکروویو به حدود ۶۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب برای

### REFERENCES

1. Feng, H. & J. Tang. 1998. Microwave finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed., Journal of Food Science V 63 ,No 4 .
2. Funebo, T., S. Kidman, & M. Langton. 2000. Microwave heat treatment of apple before air dehydration effects on physical properties and microstructure, Journal of Food Engineering 46: 173-182
3. Karathanos, V.T., N. K. Kanellopoulos, & V. G. Belessiotis. 1996. Development of Porous Structure during Air Drying of Agricultural Plant Products. Journal of Food Engineering 29: 167-183
4. Krokida, M K. & Z. B. Maroulis. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. Drying Technology. 15(10), 2441-2458.
5. Krokida, M K. ,V. T. Karathanos, & Z. B. Maroulis. 1998. Effect of Freeze drying condition on shrinkage and porosity of dehydrated agriculture products. J of Food Engineering 35: 369-380
6. Maskan, M. 2001. Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying, Journal of Food Engineering. 48:169-175
7. Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering 48: 177-182
8. Moreira, R.M., A. Figueiredo, & A. Sereno. 2000. Shrinkage of Apple disks during drying by warm air convention and freeze drying. Drying Technology (1&2) 279-294.
9. Prothon, F., T. S. Kidman, & M. Langton. 2001. Effects of combined Osmotic and Microwave Dehydration of Apple on Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics. Lebensm-Wiss, u-Techno., 34: 95-101

10. Prabhanjan, D.G., H. S. Rammaswamy, & G. S. V. Raghavan. 1994. Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 25:283-293
11. Rosenthal, J. A. & J. Ansrew. *Food Texture, Measurement and Perception*. School of Biological and Molecular Science. Oxford Brookes University. United Kingdom.
12. Rosenthal & J. Ansrew. *Food Texture, Measurement and Perception*. School of Biological and Molecular Science. Oxford Brookes University. United Kingdom.
13. Kudra, T., S. Arun, Mujumdar. *Advanced Drying Technology*. National university of Singapore and McGill university . part 3. 2002.
14. Torreggiani, D., R. T. Toledo, & G. Bertolo. 1995. Optimization of vapor Induced Puffing in Apple Dehydration. *Journal of Food Science* –volume 60, No. 1 .
15. Tregunno, N B., & H. D. Golff. 1996. *Food Research International* Vol 29 Nos 5-6 pp 471-479 ,
16. Wang, N., & J. G. Brennan. 1995. Change in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration. *Journal of Food Engineering* 24:61-76



## Air/Microwave Drying, as against Combined Method of Drying Sliced Apple

Z. EMAM JOMEH<sup>1</sup> AND G. R. ASKARI<sup>2</sup>

1, 2, Assistant Professor and Former Graduate Student, Faculty of Agriculture,  
University of Tehran, Karaj, Iran.

Accepted April. 15, 2004

### SUMMARY

In this study, thin slices (diameter 22, thickness 4 mm) of apple (*Golden delicious*), were dried by either hot air or combined method (coating, hot air and microwave drying). In order to prevent undesirable enzymatic browning reactions, blanching (with hot water at 80°C for 1min) was used. To produce porous and puffed products samples were coated by starch, pectin and CMC solution (2%w/w) containing CaCl<sub>2</sub> (1%w/w). Using blanching, coating, hot air (75°C, 1m/s) drying and microwave (300 W, 10s) assisted hot air drying, porosity and brittleness was observed in the final product. It was observed that using the above mentioned drying method, the porosity of samples can be increased by about 19.38 and 15.38% (according to their coating material), as compared with hot air dried samples. Adding CaCl<sub>2</sub> to coating solution, can increase porosity of samples by about 18.31%. Investigation by SEM microscopy showed that coated samples by starch and pectin along with CaCl<sub>2</sub> exhibit completely porous structure while microwave heating causes some cellular damages. Using hot air drying leads to a significant amount of shrinkage.

**Key words:** Combined method, Apple slice, Coating, Microwave, Hot air drying.