

تغییرات میکروسکوپی، ویژگیهای بافتی و ظرفیت جذب مجدد آب برش‌های سیب خشک شده با روش‌های مختلف

غلامرضا عسکری^۱، زهرا امام جمعه^۲ و سید محمدعلی ابراهیم‌زاده موسوی^۳
۱، ۲، ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران - کرج
تاریخ پذیرش مقاله ۸۳/۱۲/۲۵

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 فرایند، 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 کربوکسی‌متیل سلولوز به همراه ۱٪ کلسیم کلراید استفاده شد. برای ارزیابی ساختار میکروسکوپی از میکروسکوپ الکترونی (SEM) و برای سنجش بافت از دستگاه اینسترون استفاده شد. پس از فرایندهای 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 از لحاظ ویژگی‌های کیفی هم ارز محصولات خشک شده با روش انجمادی می‌باشد. ارزیابی‌های میکروسکوپی نشان دهنده بهبود ساختار میکروسکوپی در نتیجه استفاده از انرژی مایکروویو در حضور پوشش‌های پکتین و نشاسته به همراه کلسیم کلراید بوده است. استفاده از انرژی مایکروویو موجب افزایش ظرفیت جذب مجدد آب نمونه‌ها شده اما در مقابل از استحکام بافت کاسته است که هر دوی این پدیده‌ها در نتیجه بوجود آمدن فضاهای بین سلولی و بروز گسستگی در دیواره سلولهاست.

واژه‌های کلیدی: مایکروویو، ساختار میکروسکوپی، پوشش دادن، ظرفیت جذب مجدد آب، استحکام بافت

مقدمه

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روشهای نگهداری مواد غذایی است. با استفاده از این روش علاوه بر جلوگیری از فساد ماده غذایی بوسیله میکروارگانیسمها و واکنشهای شیمیایی، وزن ماده غذایی کاهش یافته و صرفه‌جویی بسیاری در هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری حاصل می‌شود. انجام صحیح عملیات خشک کردن باعث 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 آنهایی

که 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 (بعلت چروکیدگی شدید) و کاهش ظرفیت آبدارگری مجدد^۱ محصول خشک شده اشاره کرد (۱، ۴، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۷).

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 دارو سازی و بیوتکنولوژی بکار می‌روند و در صنایع غذایی به علت هزینه‌های بسیار بالای فرایند، کاربرد آن به خشک کردن میوه‌های حساس در مخلوط غلات صبحانه و بعضی محصولات حساس به حرارت محدود شده است. مزایای این روش حفظ ساختار سلولی و ظاهری و افت اندک ارزش تغذیه‌ای محصول است. 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 باطول 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، ۱۷). در یک بررسی برای خشک کردن برگه‌های نازک هویج از خشک‌کن هوای مجهز به سیستم مایکروویو^۱ استفاده شد که با استفاده از این روش ۹۰-۲۵ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی بعمل آمد. مشخص شد که استفاده از سطوح پایین‌تر انرژی موجب بهبود کیفیت فرآورده نهایی می‌شود. استفاده از پوشش برای تولید بافت حجیم در سال ۱۹۹۵ مورد توجه قرار گرفت. با استفاده از پوشش نشاسته‌ای و درجه حرارت بالا برای تولید محصول پف کرده در سیستم بستر سیال، معلوم شد که با این روش دانسیته ظاهری محصول خشک به میزان زیادی کاهش می‌یابد (۱۱). اندازه قطر و نحوه توزیع منافذ در بافت میوه‌های خشک و ارتباط آن با روش خشک کردن مورد بررسی قرار گرفته، که در نهایت مشخص شد 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 خشک‌کن‌های

هوای داغ و مایکروویو بسیار مورد استفاده قرار گرفته، که در این رابطه می‌توان از ترکیب مایکروویو با خشک‌کن‌های بستر سیال، سینی‌دار و بستر فورانی^۲ نام برد. در مواردی دیگر از انرژی مایکروویو در خشک‌کن‌های 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، ۱۴، ۱۵).

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

مطالعات بعمل آمده بر روی ساختار میکروسکوپی نمونه‌های فرایند شده با انرژی مایکروویو نشان دهنده بروز آسیبهایی در دیواره‌های سلولی است. محققین این پدیده را ناشی از تاثیر مخرب انرژی مایکروویو بر روی ساختمان تیغه میانی سلول‌ها می‌دانند (۲). البته در این میان نباید اثر بعضی واکنش‌های آنزیمی نظیر فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز را از نظر دور داشت. استفاده از نمک در فرایندهایی که در آنها انرژی مایکروویو مورد استفاده می‌گیرد، کم و بیش دیده می‌شود. برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که استفاده از نمک از پدیده‌های حرارت‌دهی بیش از حد به مرکز^۳ و حرارت دیدن بیش از حد^۴ نمونه جلوگیری می‌کند. در بیشتر این پژوهش‌ها اثر نمک در استحکام تیغه مرکزی و تشدید جذب یکنواخت انرژی مایکروویو، به عنوان دلایل این پدیده مطرح شده‌اند (۱۴، ۱۶).

در این پژوهش استفاده از روش ترکیبی پوشش دادن^۵، خشک کن هوا و مایکروویو در فرایند خشک کردن برگه‌های سیب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و نتایج از نظر بافتی و میکروسکوپی با محصولات بدست آمده از خشک‌کن‌های هوا و

2. Spouted bed

3. Center Heating

4. Over Heating

5. Coating

1. Microwave assisted

نمونه‌های خشک شده بمدت ۱۴

ساعت در آب مقطر غوطه ور شدند. ظرفیت آبیگری مجدد طبق رابطه زیر بر حسب درصد اندازه گیری شد (لوویکی ۱۹۹۸).

$$\%RC = \frac{W_r}{W_d} \times 100$$

در اینجا RC ظرفیت آبیگری مجدد بر حسب درصد، W_r وزن نمونه پس از آبیگری و W_d وزن نمونه پس از آبیگری می‌باشد.

نمونه‌ها پس از جذب آب با استفاده

از دستگاه اینسترون (هانسفیلد^۴، مدل ۵ اچ کی اس، انگلستان)، مورد سنجش قرار گرفتند. برای این منظور نمونه‌ها از وسط نصف شده و سطح تازه بوجود آمده مورد آزمایش قرار گرفت پروب^۵ مورد استفاده استوانه‌ای با قطر ۱/۶ میلی‌متر بوده و سرعت حرکت آن ۱ میلی‌متر بر ثانیه تعیین گردید. میزان بیشینه تنش برای نفوذ پروب به داخل نمونه بر حسب مگاپاسکال متناسب با استحکام بافت نمونه تحت آزمایش خواهد بود (تامپسون و همکاران، ۱۹۸۲).

بخش کوچکی از نمونه خشک

شکسته شده، از سطح بوجود آمده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (فیلیپس^۶ مدل ایکس ال ۳۰، هلند)، با بزرگنمایی‌های مختلف تصویربرداری شد.

اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام گرفت و برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار MSTATC و آزمون مقایسه میانگین دانکن بر پایه طرح کاملاً تصادفی استفاده شد.

پس از خارج کردن سیب‌ها از یخچال و رسیدن آنها به شرایط دمایی محیط، برشهای سیب با ضخامت 4 ± 0.5 میلی‌متر و ضخامت ۲۲ میلی‌متر برش داده شده، جهت جلوگیری از واکنشهای نامطلوب در زیر آب سرد نگهداری شدند. به منظور انجام عملیات آنزیم بری نمونه‌ها در مقدار کافی آب داغ با دمای

انجمادی مقایسه شده است. هدف از این کار ارایه روشی اقتصادی است که با هزینه کمتر، بتوان با استفاده از آن محصولی با ویژگیهای کیفی قابل قبول (نظیر محصول خشک شده در خشک کن انجمادی) بدست آورد.

مواد و روش‌ها

سیب: واریته زرد لبنانی^۱، که بصورت روزانه از بازار محلی خریداری و در 1°C نگهداری شد.

نشاسته: تهیه شده از شرکت مرک (MERCK) آلمان
پکتین: تهیه شده از شرکت سیگما (SIGMA) آمریکا
کربوکسی‌متیل سلولز: تهیه شده از شرکت مرک (MERCK) آلمان

کلسیم کلراید: تهیه شده از شرکت مرک (MERCK) آلمان

برشهای سیب در آب مقطر با دمای

80°C به مدت ۱ دقیقه آنزیم بری شدند.

از:

دستگاه خشک کن هوا ساخت شرکت گروک که مجهز به سیستم توزین در محفظه است، استفاده شد. دمای انجام فرایند 70°C و سرعت جریان هوا ۱ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. عمل توزین هر ۱۰ دقیقه یکبار انجام گرفت.

برای این منظور از دستگاه خشک

کن تصعیدی (ادواردز-ام-جی پاترسون، انگلستان^۳) استفاده شد، نمونه‌ها در 70°C منجمد شده سپس در محفظه تصعید قرار گرفتند.

برای این منظور از مایکروویو 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.

4. Hounsfield. Texture Analyzer. H5KS ,England

5. Probe

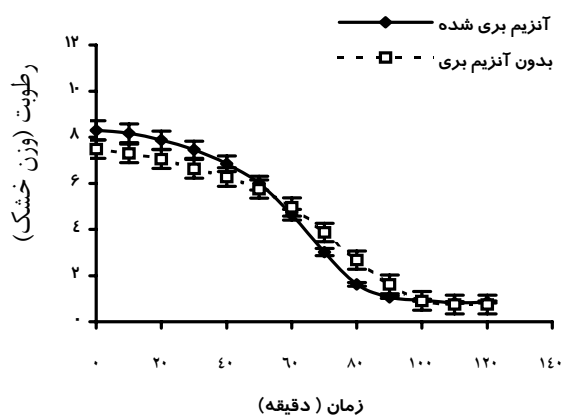
6. PHILIPS ,(SEM) , XL30 .Netherland

1. Golden Delicious

2. Blanching

3. Edwards. M.J. Paterson. England

ثابت بیشتر خواهد بود، دلیل دوم باز شدن منافذ و ایجاد مسیرهای موئین در نمونه آنزیم بری شده است. در شکل ۲، تاثیر آنزیم بری حرارتی بر روی سطح نمونه‌های سیب خشک شده در خشک کن انجمادی ملاحظه می‌گردد.



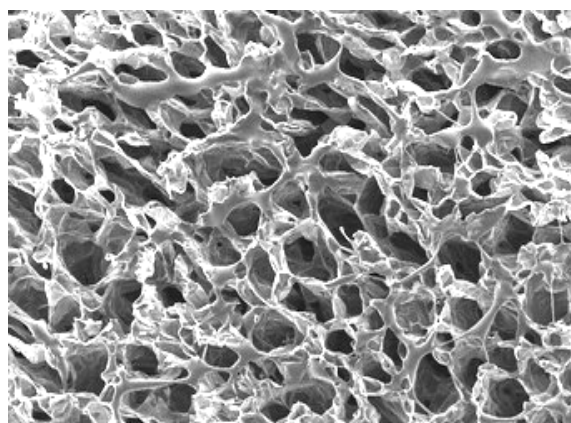
شکل ۱- منحنی‌های مربوط به آگیری از نمونه‌های تازه و آنزیم بری شده

از آنجا که هر دو نمونه همزمان در دستگاه خشک کن قرار گرفتند و با اطلاع از اینکه اثرات روش خشک کردن انجمادی در تغییر دادن ساختار محصول بسیار ناچیز و قابل صرف نظر کردن است، می‌توان گفت که تفاوت‌های بوجود آمده در سطح نمونه‌ها ناشی از اثرات فرایند آنزیم بری در آب داغ است. همانطور که ملاحظه می‌گردد قطر منافذ در اثر آنزیم بری به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است.

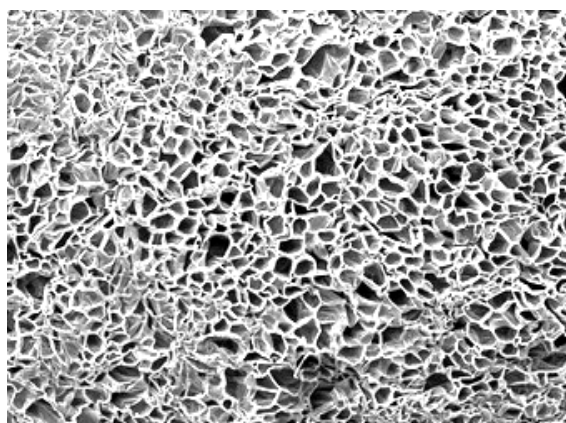
80°C به مدت ۱ دقیقه و با سرعت همزنی ۱۰۰ دور بر دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از طی زمان لازم نمونه‌ها از ظرف خارج گردیدند. پس از سرد کردن مقدماتی به مدت ۱ دقیقه، در محلول پوشش دهنده که با سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه بهم زده می‌شد و در شرایط دمایی محیط غوطه‌ور شدند. پس از خاتمه زمان پوشش دادن نمونه‌ها به خشک کن هوای داغ منتقل شده و تارسیدن رطوبت نمونه‌ها به $0.25-0.3$ بر حسب وزن خشک، تحت شرایط دمایی 70°C سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه خشک شدند. پس از رسیدن به این نقطه نمونه‌ها از خشک کن خارج گردیده و با استفاده از انرژی مایکروویو (۳۰۰ وات به مدت ۱۰ ثانیه) تحت فرایند 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

طی فرایند خشک کردن سرعت از دست دادن آب در نمونه‌های آنزیم بری شده بیشتر از نمونه‌های آنزیم بری نشده است (شکل ۱) 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



ب



الف

شکل ۲ - نمونه‌های بدون آنزیم بری (الف) و آنزیم بری شده (ب) پس از خشک شدن به روش انجمادی (بزرگنمایی ۲۵ برابر)

بدست آمده را نداشته به حالت اولیه خود باز می‌گردند. علت اصلی این امر عدم استحکام بافت 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°C ، با جدا کردن گروه‌های متیل از پکتین موجب تبدیل آن به اسید پکتیک 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 در محلولهای پوشش دهنده را می‌توان در شکل ۳، ملاحظه نمود.

در حضور نشاسته و کلسیم کلراید بعد از اتمام پرتو دهی، نمونه اضافه حجم حاصل را حفظ کرده، ساختمان کاملاً متخلخل پیدا می‌کند. اثر کلسیم کلراید را می‌توان در دو بخش تقویت دیواره سلولی و کمک به جذب متعادل انرژی میکروویو خلاصه کرد. در حضور پکتین نیز کلسیم کلراید اثر خود را بر خواص ساختمانی نمونه نشان داده است. در اینجا هم فضاهای بین سلولی به وضوح دیده می‌شوند. علت اینکه در نمونه های پوشش داده شده با پکتین بدون حضور کلسیم کلراید چنین فضاهایی دیده نمی‌شوند عدم افزایش حجم قابل توجه در آنهاست، در حالیکه با افزایش شدید حجم در نقاطی که پیوندهای بین سلولی از استحکام لازم برخوردار نیستند گسستگی‌هایی بوجود آمده، فضاهای خالی بین سلولی مشاهده می‌شوند.

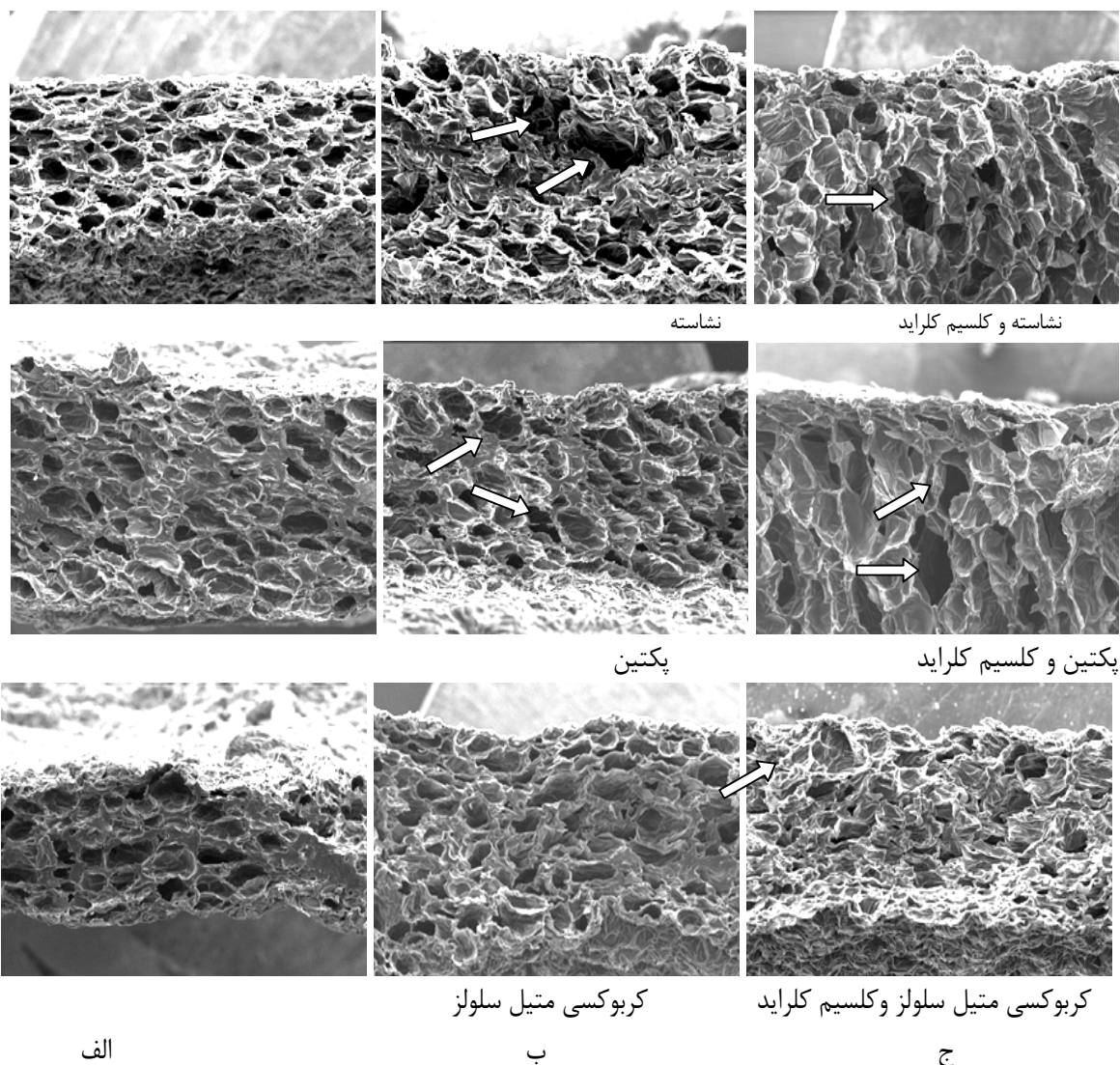
در افزایش حجم نقش اصلی به عهده ماده پوشش دهنده است که اثر خود را از طریق ایجاد لایه سطحی^۱ بر روی نمونه نشان می‌دهد. کلسیم کلراید در نقش یک بهبود دهنده و حفظ کننده خواص ساختمانی و عاملی جهت جذب یکنواخت انرژی میکروویو ظاهر می‌گردد.

در شکل ۳ تاثیر انرژی میکروویو در نمونه‌های پوشش داده شده با سه نوع پوشش نشاسته، پکتین و کربوکسی متیل سلولز در حضور و عدم حضور کلسیم کلراید را می‌توان مشاهده کرد. در نمونه پوشش داده شده با نشاسته اعمال انرژی میکروویو موجب ازدیاد فضاهای بین سلولی شده است. چروکیدگی شدید سلولی بیانگر تاثیر مخرب انرژی میکروویو بر روی دیواره سلولهاست. هنگام آزمایش مشاهده شد که سلولها حجیم می‌شوند اما توانایی حفظ حجم بوجود آمده را نداشته در نتیجه پس از اتمام پرتو دهی با انرژی میکروویو مجدداً به حالت اولیه در می‌آیند. در این حالت سلولها حتی قدرت حفظ نظم اولیه خود را نداشته و آرایش آنها کاملاً از دست می‌رود.

نظیر چنین نتایجی در مورد نمونه‌های پوشش داده شده با پکتین نیز ملاحظه گردید، با این تفاوت که در این حالت چروکیدگی نمونه‌ها بسیار کمتر بود. می‌توان گفت که در این حالت پکتین توانسته تا حدود زیادی موجب تقویت و حفظ ساختار سلولی شود. با مقایسه نمونه‌های پوشش داده شده با نشاسته و پکتین به نظر می‌رسد که ضخامت دیواره‌های سلولی در نمونه‌های پوشش داده شده با پکتین اندکی بیشتر است و شاید همین عامل دلیل حفظ تقریبی ساختار اولیه سلولی در نمونه‌های پوشش داده شده با پکتین حین پرتو دهی با میکروویو باشد. در شکل ۳، اثر انرژی میکروویو در آسیب دیدن دیواره‌ها و ایجاد فضاهای بین سلولی بوسیله پیکانهایی نشان داده شده است.

همانند نمونه پوشش داده شده با نشاسته، نمونه دارای پوشش کربوکسی متیل سلولزی هم در اثر قرار گرفتن در معرض پرتوهای میکروویو دچار تخریب بافتی شده است. اما از آنجا که افزایش حجم در حین فرایند میکروویو قابل توجه نبوده وسعت تخریب بافت در حد نمونه‌های پوشش داده شده با نشاسته نیست. عدم افزایش حجم در نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز را می‌توان در نازک بودن بیش از حد پوشش ایجاد شده توسط این ترکیب دانست (شکل ۴).

همانطور که در تصاویر دیده می‌شود و قبلاً توضیح داده شد. در طی فرایند نمونه‌های پوشش داده شده توان حفظ حجم



الف

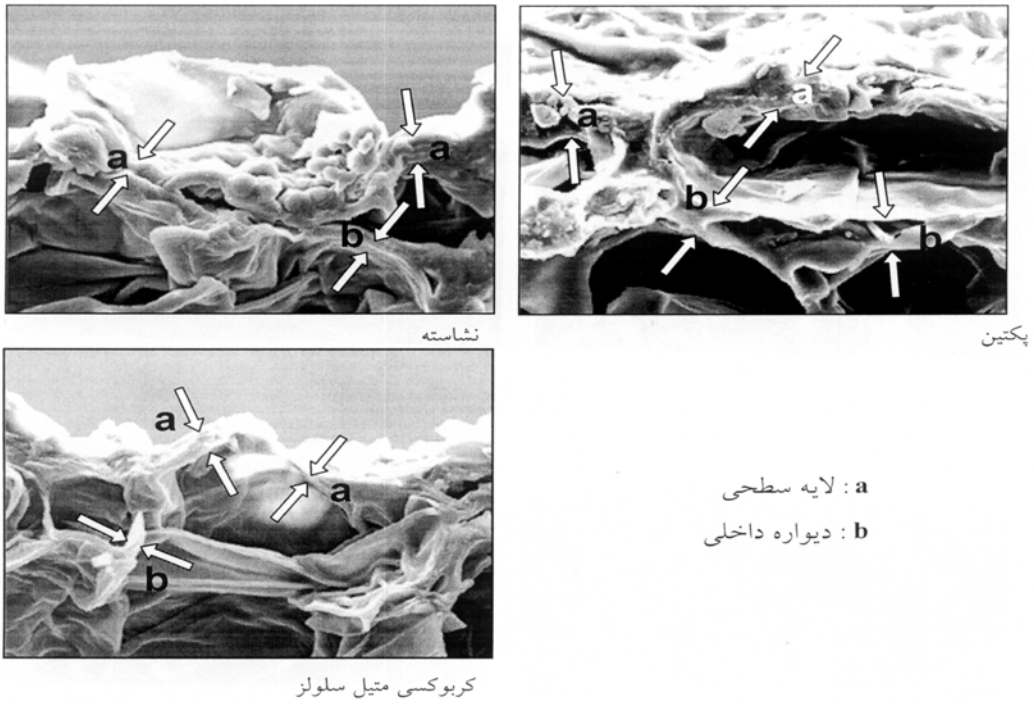
ب

ج

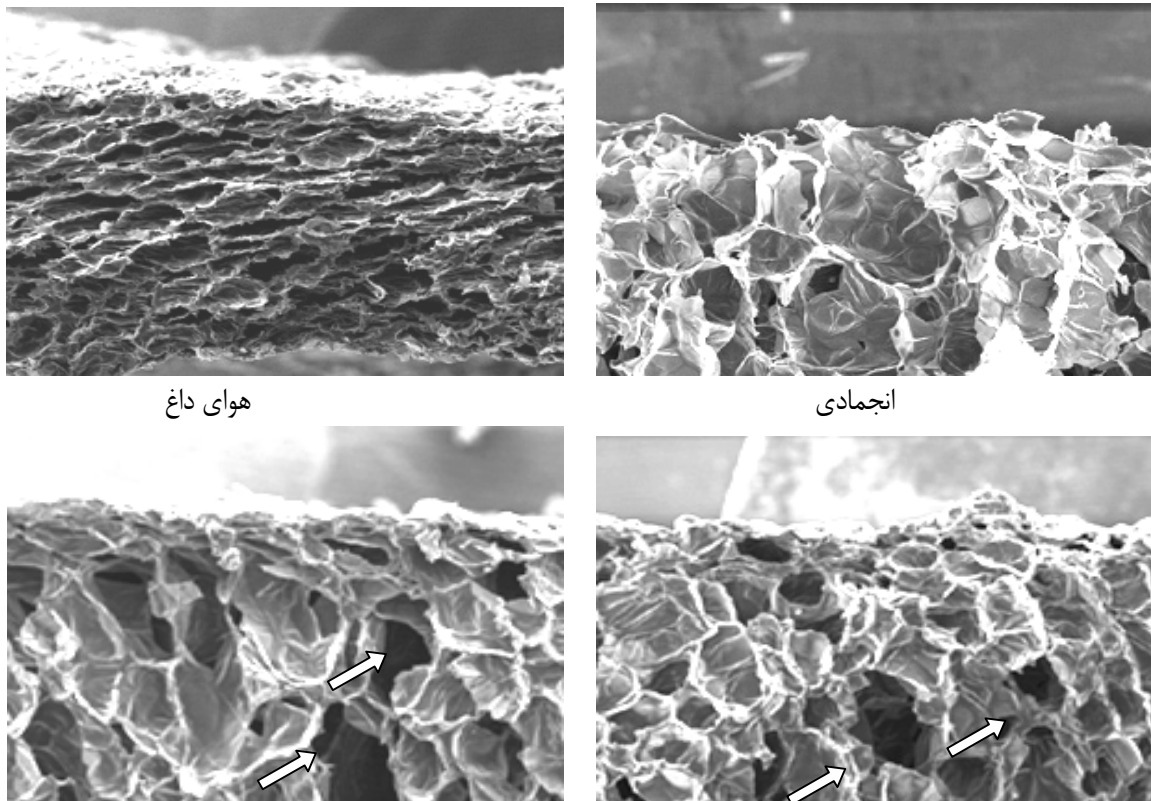
شکل ۳- نمونه های پوشش داده شده قبل (الف) و بعد (ب و ج) از فرایند مایکروویو (بزرگنمایی ۳۰)

منافذ نیز دارای چنین حالتی باشند. پس می توان گفت که پوشش نشاسته ای در عین نازک بودن بصورت منطقه ای^۱ عمل کرده و منافذ را مسدود ساخته است و به همین علت همانند پوشش پکتینی ویژگیهای پوشاندگی خوبی از خود نشان می دهد در حالیکه نمونه پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز هیچکدام از خواص مذکور را ندارد، در نتیجه نمونه پوشش داده شده با آن از نظر ساختار ماکروسکوپی نیز خواص مناسبی از خود نشان نمی دهد.

در شکل های ۵ و ۴، دیواره های بیرونی نمونه ها با بزرگنمایی بیشتر مشاهده می گردد، با فرض اینکه خشک کردن انجمادی اثر قابل ملاحظه ای بر شکل دیواره نداشته باشد، چنین فرض شده که نمونه فرایند نشده سیب تازه نیز دارای چنین دیواره ای باشد. همانطور که ملاحظه می شود دیواره نمونه پوشش داده شده با پکتین از ضخامت خوبی برخوردار است و می تواند ویژگیهای یک پوشش خوب را از خود نشان دهد. با مشاهده شکل می توان دریافت که دانه های نشاسته در نقطه ای جمع شده اند، که این نقطه می تواند یکی از فرو رفتگی های سطح نمونه می باشد. طبیعی است که بقیه



شکل ۴- نمای میکروسکوپی نمونه های پوشش داده شده (بزرگنمایی ۴۰۰)

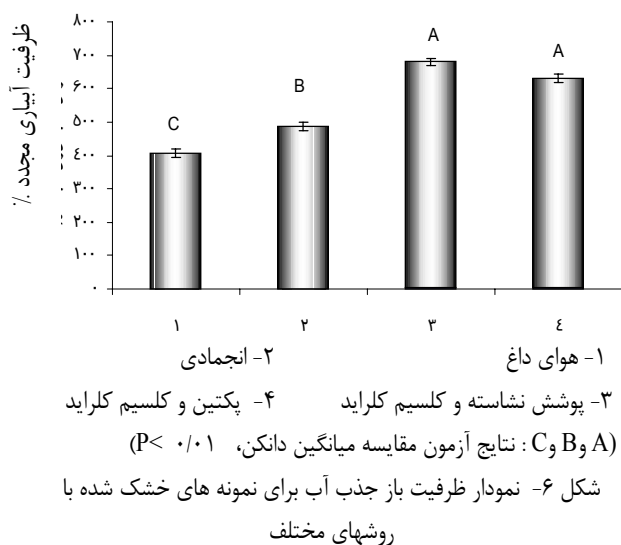


مایکروویو (با پوشش پکتین و کلسیم کلراید)

مایکروویو (با پوشش نشاسته و کلسیم کلراید)

فضاهای بین سلولی در نمونه های فرایند شده با انرژی مایکروویو با پیکان نشان داده شده اند.

شکل ۵- لایه سطحی نمونه های خشک شده در روش های مختلف خشک کردن (بزرگنمایی ۵۰)



شکل ۷، نشان دهنده بیشینه تنش مورد نیاز برای نفوذ میله بافت سنج به داخل نمونه هاست. همانطور که پیش از این شرح داده شد، آسیب های بافتی که در حین فرایند آنزیم بری و مایکروویو متوجه نمونه ها می شود، موجب ایجاد گسستگی هایی در ساختمان سلولی می شود که این گسستگی ها با میزان مقاومت نمونه در برابر نیروی اعمال شده رابطه ای نزدیک دارند (شکل ۵). همانطور که در این نمودار دیده می شود نمونه های فرایند شده با مایکروویو در برابر نفوذ میله بافت سنج مقاومت چندانی از خود نشان نداده اند. در حالیکه نمونه های خشک شده در خشک کن هوا و انجمادی پایداری بهتری از خود نشان داده اند. همانطور که پیش از این اشاره شد، پکتین به عنوان یک ژل به نمونه استحکام بخشیده خاصیت الاستیک آنرا تقویت می کند، اما نشاسته چنین خاصیتی نداشته و بیشتر خواص جریان (ویسکوز) از خود نشان می دهد.

بنابراین طبیعی است که نمونه پوشش داده شده با پکتین در این آزمایش از خود پایداری بهتری نشان دهد. نکته دیگری که در نمودار می توان دید مقاومت بیشتر نمونه خشک شده در خشک کن هوای داغ نسبت به نمونه خشک شده به روش انجمادی است. همانطور که پیش از این نیز در منابع آمده، نمونه های خشک شده به روش انجمادی پس از باز جذب آب به علت ظرفیت جذب مجدد بالا نسبت به نمونه های خشک شده به روش هوای داغ نرم تر بوده و بافتی خمیری دارند.

وجود بخش بدون منفذ دیواره مانند بر روی نمونه خشک شده در خشک کن هوا که هیچگونه پوششی ندارد ناشی از پدیده ایست که از آن تحت عنوان سخت شدن پوسته یاد می شود و علت آن مهاجرت ترکیبات محلول در آب از عمق به سطح نمونه طی فرایند خشک کردن با هوای داغ است. همانطور که در شکل ۵، مشاهده می شود، این لایه در خشک کن هوا بیشترین و در خشک کن انجمادی کمترین ضخامت را دارد. در نمونه های پوشش داده شده، ضخامت پوشش پکتینی بیش از پوشش نشاسته ای است.

شکل ۶، نشان دهنده میزان باز جذب آب برای ۴ نمونه خشک شده با هوای داغ، مایکروویو (پوشش داده شده با پکتین و نشاسته) و نیز خشک شده به روش انجمادی آمده است. ظرفیت جذب آب پایین نمونه خشک شده در خشک کن هوا را می توان با تراکم بافتی بالا و در نتیجه پایین بودن میزان فضاهای بین سلولی مرتبط دانست. عکس این قضیه را می توان در نمونه های خشک شده در خشک کن انجمادی مشاهده کرد (شکل ۵). همانطور که مشاهده می شود میزان باز جذب آب برای نمونه های پوشش داده شده با نشاسته و کلسیم کلراید بیش از سایرین است. از آنجا که نشاسته سوسپانسیونی ویژگی هیدراتاسیون اندکی دارد، نمی توان باز جذب بالای آب این نمونه را با این ماده مرتبط دانست.

از آنجا که پکتین نیز ویژگی های هیدراتاسیون بالایی ندارد و نیز مقدار جذب شده این مواد به بافت نمونه کمتر از آن است که بتوان جذب بالای آب را در نتیجه وجود این ترکیب دانست، می توان گفت که اعمال انرژی مایکروویو موجب بهبود ویژگی جذب آب مجدد نمونه های مذکور شده است.

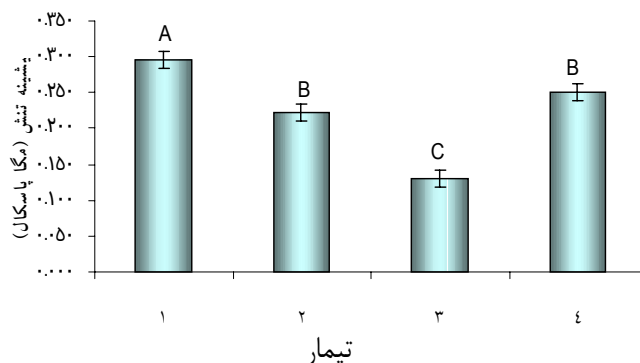
افزایش ظرفیت جذب مجدد آب در اثر انرژی مایکروویو به علت بوجود آمدن فضاهای بین سلولی زیاد در بافت نمونه در حین اعمال انرژی مایکروویو است. این منافذ و فضاها ظرفیت جذب و حمل آب بالایی از خود نشان می دهند و بدین ترتیب ظرفیت جذب آب نمونه را به میزان زیادی افزایش می دهند (شکل ۵).

موجب جدا شدن دیواره‌های سلولی می‌شود. این نتایج پیش از این هم توسط برخی محققان گزارش شده بود (فانبو و همکاران، پروتون و همکاران، ۲۰۰۰). آسیب‌های بافتی موجب افزایش فضاهای بین سلولی و افزایش ظرفیت جذب آب می‌شود. پرابانجان، ۱۹۹۵، فنگ، ۱۹۹۸ و فانبو و همکاران ۲۰۰۰، نیز به چنین نتایجی رسیده‌اند. آسیب‌های بافتی علاوه بر اینکه بطور مستقیم موجب کاهش استحکام بافت می‌شود (فانبو، ۲۰۰۰)، با بوجود آوردن فضاهای خالی فراوان موجب افزایش ظرفیت جذب آب و در نتیجه کاهش تراکم و استحکام بافت نمونه‌های خشک شده در خشک کن مایکروویو در مقایسه با محصول خشک شده در خشک کن هوا می‌شود.

تمامی پژوهشگرانی که از انرژی مایکروویو برای خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده نموده‌اند، گزارش کرده‌اند که انرژی مایکروویو موجب چروکیدگی شدید محصول پایانی می‌شود. این مورد با نتایج بدست آمده در این پژوهش مطابقت ندارد. علت اصلی این اختلاف در استفاده از پوشش و نیز نحوه و زمان بکارگیری انرژی مایکروویو می‌باشد. در این رابطه محققان از انرژی مایکروویو برای حرارت‌دهی اولیه و یا در زمانهای طولانی‌تر (حداقل ۵ دقیقه) و توانهای بالاتر (بیش از ۴۰۰ وات) استفاده کرده‌اند. در این پژوهش انرژی مایکروویو با توان کمتر و در مدت زمانی بسیار کوتاهتر (۳۰۰ وات و ۱۰ ثانیه) مورد استفاده قرار گرفته است. در شرایطی که سطح رطوبت ماده غذایی کاهش یافته، با توجه به اینکه پدیده‌های انتقال جرم و حرارت در مراحل پایانی خشک کردن با هوای داغ با کندی روبرو می‌شوند. بکارگیری انرژی مایکروویو در مدت زمانی کوتاه، علاوه بر جداسازی سریع آب ماده غذایی، موجب بهبود ویژگیهای ساختمانی آن می‌شود. پایین بودن سطح رطوبت محصول در زمان پرتودهی با انرژی مایکروویو نقش مهمی در جلوگیری از حرارت دیدن بیش از حد بخش‌های داخلی محصول دارد.

سپاسگزاری

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



۱- هوای داغ
۲- انجمادی
۳- نشاسته و کلسیم کلراید
۴- پکتین و کلسیم کلراید
شکل ۷- نمودار میزان بیشینه تنش مورد نیاز برای نفوذ پروب به داخل نمونه های سیب خشک شده به روش های مختلف بعد از آبیگری مجدد (A و B و C: نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن، $P < 0.01$)

با ملاحظه تصاویر میکروسکوپی (شکل ۵) می‌توان دریافت که میزان تراکم بافت در نمونه خشک شده با خشک کن هوای داغ بسیار بیشتر از نمونه خشک شده در خشک کن انجمادی است. علت اصلی پایداری بیشتر نمونه خشک شده در خشک کن هوا نیز همین است.

در بررسی اثر انرژی مایکروویو در حضور پوششهای نشاسته، پکتین و کربوکسی متیل سلولز، در نهایت مشخص شد که نوع پوشش در حجیم شدن نمونه بسیار موثر است. کلسیم کلراید به عنوان یک عامل بهبود ویژگیهای ساختمانی مطرح شد که موجب تثبیت اضافه حجم بوجود آمده در اثر اعمال انرژی مایکروویو می‌شود. در این راستا بهترین تاثیر را پوششهای نشاسته و پکتین به همراه کلسیم کلراید داشتند. نمونه پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولز در حضور و غیاب کلسیم کلراید ویژگی ساختاری خوبی از خود نشان نداد. مشخص شد که عامل اصلی در افزایش حجم، نوع پوشش، و عامل اصلی یکنواختی و حفظ حجم بوجود آمده وجود کلسیم کلراید است. اثرات مفید یون کلسیم بر روی ویژگیهای بافتی پیش از این نیز مورد بررسی قرار گرفته بود (پروتون و همکاران، ۲۰۰۰).

در مقایسه با کارهای انجام شده، یافته‌های این پژوهش تا حدود زیادی با نتایج بدست آمده توسط سایر محققان مطابقت دارد. تصاویر میکروسکوپی نشان می‌دهد که انرژی مایکروویو

REFERENCES

1. Feng, H & Tang, J. 1998. Microwaves finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed., *Journal of Food Science*. 63(4):679-686.
2. Funebo, T. Kidman, S & Langton, M. 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. Kanellopoulos, N.K. & Belessiotis, V.G. 1996. Development of Porous Structure during Air Drying of Agricultural Plant Products. *Journal of Food Engineering*. 29: 167-183.
4. Krokida, M.K. & Maroulis, Z.B. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*. 15(10): 2441-2458.
5. Krokida, M. K. Karathanos, V.T. & Maroulis, Z. B. 1998. Effect of Freeze drying condition on shrinkage and porosity of dehydrated agriculture products. *Journal 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., Figueiredo, A. & Sereno, A. 2000. Shrinkage of Apple disks during drying by warm air convention and freeze drying. *Drying Technology*. (1&2) 279-294.
9. Prothon., Funebo, T., Kidman, S. & Langton, M. 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., Rammaswamy, H.S. & Raghavan, G.S.V. 1994. Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 25:283-293.
11. Rosenthal & Answrey J. Food Texture, Measurement and Perception. School of Biological and Molecular Science. Oxford Brookes University. United Kingdom.
12. Tadeusz, K. Arun, S. Mujumdar. Advanced Drying Technology. National university of Singapore and McGill University. part 3. 2002.
13. Torreggiani, D. Toledo, R.T. & Bertolo, G. 1995. Optimization of vapor Induced Puffing in Apple Dehydration. *Journal of Food Science* 60(1):181-186.
14. Toringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., Van den Berg, R. & Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 49(2001)185-191.
15. Tregunno, N.B. & Golff, H.D. 1996. *Food Research International*. 29(5-6): 471-479.
16. Ulrich, E. & Helmar, S. 2001, Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*. 49(2001)193-199.
17. Wang, N. & Brennan, J.G. 1995. Change in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration. *Journal of Food Engineering*. 24:61-76.