

تأثیر انواع پیش تیمارها بر ویژگی های رنگی و فیزیکوشیمیایی برش های بادمجان خشک شده با هوای داغ

معصومه مجتهدی زنجیرآباد*^۱، شهین زمردی^۲

۱- گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

۲- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران،

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۶

چکیده

در این تحقیق، تأثیر پیش تیمارهای مختلف بر خواص فیزیکوشیمیایی و رنگ حلقه های بادمجان خشک شده با هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت. تیمارها عبارت بودند از نمونه شاهد بدون هیچگونه عملیات پیش تیمار، غوطه وری در محلول نمک طعام ۵ و ۱۰ درصد به مدت ۶۰ دقیقه، غوطه وری در محلول متابی سولفیت سدیم ۰/۵ و ۱ درصد به مدت ۲ دقیقه. سپس تیمارها در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک شدند و فاکتورهای رنگ سنجی (L^* ، a^* و b^*)، میزان چروکیدگی و قهوه ای شدن، درصد رطوبت و نمک و نسبت جذب آب مجدد نمونه ها تعیین شد. نتایج تجزیه آماری داده ها نشان داد که استفاده از پیش تیمارها موجب کاهش مقدار رطوبت نمونه ها شد که در این بین متابی سولفیت موثرتر از محلول نمک بود. قابلیت جذب آب برش های خشک بادمجان تیمار شده با متابی سولفیت بطور معنی داری بیشتر از نمونه های تیمار شده با آب نمک و شاهد بود. میزان چروکیدگی نمونه شاهد بطور معنی داری بیشترین مقدار و تیمار آب نمک بطور معنی داری کمترین مقدار بود. استفاده از عملیات پیش فراوری موجب کاهش معنی دار دانسیته نوری و به عبارت دیگر موجب کاهش قهوه ای شدن و افزایش اندیس L^* برش های بادمجان شد که تأثیر متابی سولفیت بیشتر بود. نمونه شاهد بطور معنی داری کمترین اندیس L^* و تیمار متابی سولفیت بطور معنی داری بیشترین مقدار L^* را داشتند ($p < 0.05$).

واژه های کلیدی: بادمجان، اسمز، متابی سولفیت، خشک کردن

۱- مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena*) یکی از محصولات مهم کشاورزی است که در سطح وسیعی در کشورهای مختلف کشت می شود. بر اساس آمار فائو، در سال ۲۰۱۳ مقدار تولید بادمجان در جهان در حدود ۴۹/۴ میلیون تن گزارش شده است. در این میان کشورهای چین، هند، مصر و ایران به ترتیب در مقام های اول تا چهارم قرار دارند. میزان تولید بادمجان در ایران در حدود ۸۸۵۰۰ تن گزارش شده است. اسپانیا، مکزیک، هلند نیز بزرگترین کشورهای صادرکنندگان بادمجان در جهان هستند (۱۷).

بادمجان شامل مواد معدنی زیادی نظیر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و مس و ویتامین های B₁, B₂ و اسید فولیک است و برای بیماران مبتلا به دیابت و نقرس، مفید می باشد و از بروز فشار خون و بیماری های قلبی - عروقی جلوگیری کرده و پایین آورنده کلسترول شناخته شده است. همچنین ترکیبات فنولی بادمجان خاصیت آنتی اکسیدانی دارد و بدن را در برابر انواع عفونت های باکتریایی و ویروسی محافظت می کند (۱). ترکیبات فنولی استخراجی با متانول از بادمجان، در محدوده ۷۳۹/۳۶ تا ۱۱۱۶/۱ میلی گرم در صد گرم برحسب اسید گالیک گزارش شده است (۶). بادمجان در اکثر کشورها به صورت تازه به فروش می رسد و بطور سنتی پس از پختن در آب و سرخ کردن در روغن استفاده می شود. به طور صنعتی نیز در تهیه بادمجان خشک، ترشی تخمیری و کنسرو شده با سایر سبزیجات استفاده می شود (۶). عمر نگهداری بادمجان تازه بسیار محدود است لذا می توان با خشک کردن ثبات آن را افزایش داد و در طول سال استفاده کرد و همچنین می توان آن را به بازارهای خارجی عرضه نمود (۷). از بادمجان خشک شده می توان در تهیه غذاهای جدید مانند سوپ و سس استفاده نمود. از مزایای بادمجان خشک سبکی، راحتی حمل و نقل، مدت زمان نگهداری بیشتر و هزینه های بسته بندی کمتر را می توان نام برد. از طرفی تغییر در الگوهای تولید و مصرف می تواند نقش مهمی در بهبود اقتصاد کشور بویژه تولیدکنندگان داشته باشد. رواج روش های جدید، بهبود راندمانی و کیفی

روش های قبلی و ایجاد تنوع در تولید و مصرف محصولات از این مقوله می باشد (۲۸).

فرایند اسمزی به عنوان یک پیش تیمار برای بسیاری از فرایندها، خصوصیات تغذیه ای، حسی و کاربردی مواد غذایی را بدون تغییر آن، بهبود می بخشد. این روش حتی در درجه حرارت اتاق موثر است و بنابراین تاثیر نامطلوب گرما به بافت، رنگ و طعم مواد غذایی به حداقل می رسد. معمولاً این روش به عنوان یک مرحله قبل از خشک کردن ماده غذایی پیش از آن که وارد فرایند های بعدی مانند انجماد، خشک کردن انجمادی، خشک کردن در خلا و خشک کردن در هوا شود، استفاده می شود. در کاربرد فرآیند اسمزی به دلیل استفاده محدود و کوتاه مدت از جریان هوای گرم برای تکمیل عملیات خشک کردن، نه تنها ویژگی های مطلوب محصول در حد قابل توجهی حفظ می گردد، بلکه میزان نیاز به انرژی حرارتی جهت حذف آب اضافی محصول شدیداً کاهش می یابد (۵ و ۲۵). خشک کردن اسمزی یک فرایند متغیر برای خارج کردن قسمتی از آب است که در آن مواد سلولی (مانند میوه ها و سبزی ها) در یک محلول تغلیظ شده از ماده قابل حل قرار می گیرند. اساس فرآیند اسمزی قرار دادن قطعات ماده غذایی در یک محلولی با فشار اسمزی بالاتر^۲ است (۲۷).

سنتیک خشک کردن بادمجان با استفاده از خشک کن کابینی (۱۳)، خشک کن خلا (۳۶)، ترکیب فراصوت و خشک کردن هوای داغ (۱۸) و با بستر سیال (۱۲) بررسی شده است. دیماز و گل (۲۰۱۱) اثر دما و ضخامت نمونه بر روی سنتیک خشک کردن برش های بادمجان را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که نمونه های آنزیم بری شده نسبت به نمونه شاهد در زمان کوتاه تری خشک می شود. درجه حرارت هوا و ضخامت برش ها از عوامل مهم در خشک کردن برش بادمجان بودند (۱۳). اوسیداکر و آمبروسو-یوگری (۲۰۱۳) نیز تاثیر بلانچینگ را بر برش بادمجان خشک شده بررسی کردند و نشان دادند که بادمجان های تیمار شده سریع تر از نمونه شاهد خشک شدند

² Hypertonic

هدف در این تحقیق بررسی اثر انواع پیش تیمارها بر روند خشک شدن حلقه های بادمجان خشک شده با هوای داغ می باشد. همچنین فاکتورهای رنگ سنجی (L^* ، a^* و b^*)، میزان چروکیدگی و قهوه ای شدن، درصد رطوبت و نمک و نسبت جذب آب مجدد برش های بادمجان خشک شده مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

بادمجان، از میدان میوه و تره بار ارومیه (با رطوبت ۹۵/۴٪، اسیدیته بر حسب اسید سیتریک ۱/۹٪ و $pH=5/23$)، نمک بدون ید و متابی سولفیت از شرکت شارلو خریداری گردید.

۲-۲- روش تهیه بادمجان خشک

بادمجان های سالم و بی عیب با اندازه و شکل مناسب برای خشک شدن انتخاب گردید. پس از شستشو و تمیز کردن، پوست گیری بصورت دستی و با استفاده از چاقوهای تیز انجام گرفت. بعد از پوست گیری، بادمجان ها به شکل حلقه های متحد الشکل و یکنواخت به قطر یک سانتیمتری بریده شدند و در ۳ تکرار طبق جدول ۱ تیمار گردیدند. در طول غوطه وری، نمونه ها بطور مرتب همزده شدند. پس از آبکش شدن، برش ها بطور منظم و یک لایه روی سینی ها چیده شده و در خشک کن (ممرت، آلمان) در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و با سرعت جابجایی هوا ۱/۵ متر بر ثانیه، به مدت ۳۰ ساعت خشک گردید. سپس بادمجان های خشک شده در بسته های پلاستیکی بسته بندی شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند.

(۲۳). در تحقیق دیگر توندی-آکیتادی و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر تیمارهای مختلف و دمای خشک کردن را بر ویژگی های فلغل پاییکا و مصرف انرژی بررسی کردند و نشان دادند که استفاده از تیمارها قبل از خشک کردن، موجب تسریع در خشک کردن و مصرف انرژی کم و بهبود ویژگی های کیفی فلغل خشک گردید (۳۳).

سانتاکاتالینا و همکاران (۲۰۱۱) خصوصیات کیفی بادمجان خشک شده با ۳ روش هوای داغ، خشک کردن انجمادی بدون خلا و تحت خلا را بررسی کردند و نشان دادند که روش های مختلف خشک کردن، قابلیت جذب آب مجدد و خواص بافتی محصولات خشک شده را تحت تاثیر قرار داد. نمونه های خشک شده به روش انجمادی بدون خلا، ظرفیت جذب آب مجدد سریع تر و بالاتری داشتند و سختی آنها نیز بالاتر از نمونه خشک شده انجمادی تحت خلا بود. آنها خاطر نشان کردند که می توان از روش خشک کردن انجمادی بدون خلا، به عنوان جایگزین مناسب در خشک کردن بادمجان در هوای داغ و خشک کن انجمادی تحت خلا با کیفیت بالا استفاده کرد (۲۸). صالحی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی سینتیک خشک شدن برش های بادمجان را در یک خشک کن ترکیبی هوای داغ-مادون قرمز بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تأثیر دمای هوای داغ و توان لامپ پرتودهی بر فرایند خشک شدن برش های بادمجان معنی دار بود. افزایش دمای خشک کن از ۶۰ به ۸۰ درجه سانتی گراد در توان ۱۵۰ وات موجب کاهش زمان خشک کردن از ۴۸ دقیقه به ۳۵ دقیقه شد. آنها ادعا کردند که مدل پیچ در مدل سازی فرایند خشک کردن برش های بادمجان هم خوانی بهتری با نتایج آزمایشگاهی در مقایسه با سایر مدل ها داشت (۳). آکینار و بیسر (۲۰۰۵) رفتار خشک شدن لایه نازک ورقه های بادمجان در یک خشک کردن هوای داغ در دماهای ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی گراد و سرعت جابجایی هوا در دو سطح ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از اثر معنی دار دمای هوای خشک کن و سرعت جریان هوا بر سرعت خشک کردن ورقه های بادمجان بود (۷).

جدول ۱- نوع تیمارهای مورد استفاده

نوع تیمارها	نمک (%)	متابولی سولفیت (%)	زمان غوطه‌وری (دقیقه)
C	۰	۰	
S ₅	۵	۰	۶۰
S ₁₀	۱۰	۰	۶۰
Mb _{0.5}		۰/۵	۲
(Mb ₁)		۱	۲

۲-۳-آزمون‌ها

بعد از آب چک شدن، توزین و نسبت جذب آب نمونه‌ها محاسبه گردید (۲).

نتایج این طرح با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی با ۵ تیمار طبق جدول ۱ (شاهد، محلول نمک در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد و محلول متابولی سولفیت در دو سطح ۰/۵ و ۱ درصد) و در ۳ تکرار تجزیه شد. تجزیه آماری با برنامه MSTAT-C و شکل‌ها با استفاده از برنامه Excel رسم گردید.

۳-نتایج و بحث

۳-۱- سنتیک خشک شدن بادمجان

شکل ۱ و ۲ به ترتیب سنتیک خشک شدن بادمجان‌های تیمار شده با آب نمک و متابولی سولفیت را نشان می‌دهد. با توجه به سنتیک منحنی خشک کردن بادمجان‌ها (شکل‌های ۱ و ۲)، در ابتدای خشک کردن در یک دوره زمانی کوتاه طول می‌کشد تا سطح ماده غذایی به دمای خشک کن برسد و سپس خشک شدن آغاز می‌شود. در ابتدا خروج آب از ماده غذایی خیلی سریع است (سرعت ثابت^۳). در این مرحله سطح برش‌های بادمجان بطور اشباع و مرطوب است یعنی در حقیقت سرعت خروج آب از منافذ برش‌ها به سطح آن با سرعت تبخیر آب در سطح ماده غذایی یکسان می‌باشد تا وقتی که به نقطه بحرانی مقدار آب برسد. در این

رنگ نمونه‌ها با تعیین فاکتورهای رنگ‌سنجی شامل b^* (نشان دهنده طیف رنگی آبی تا زرد)، a^* (نشان دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز) و L^* (نشان دهنده طیف سیاه تا سفید) با استفاده از روش رنگ‌سنجی و نرم افزار image J انجام شد. نمونه‌های خشک شده توسط اسکنر، اسکن شد (۲). برای تعیین چروکیدگی نمونه‌ها، ابعاد ظاهری نمونه‌های حلقه‌ای شامل قطرهای خارجی و داخلی و ضخامت آنها با استفاده از کولیس در ابتدا و انتهای فرایند خشک کردن دقیقاً اندازه گیری و درصد کاهش حجم و به تعبیری میزان چروکیدگی بافت محاسبه گردید (۷).

برای اندازه‌گیری سایر ویژگی‌ها از هر تیمار مقداری از نمونه‌ها توسط آسیاب برقی پودر و همگن شد. رطوبت از طریق خشک کردن در آون 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت و مقدار نمک به روش ولهارد تعیین شد. برای تعیین میزان قهوه‌ای شدن یا تولید رنگدانه‌های قهوه‌ای، ۸ گرم نمونه همگن شده، با مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اتانول ۵۰ درصد حجمی، به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و پس از صاف شدن با کاغذ صافی واتمن شماره ۲، میزان جذب نور و به بیانی دیگر میزان دانسیته نوری، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۹). برای تعیین جذب آب مجدد، مقدار ۵ گرم از هر نمونه در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور شد و پس از ۶ ساعت، نمونه‌ها از محلول خارج و

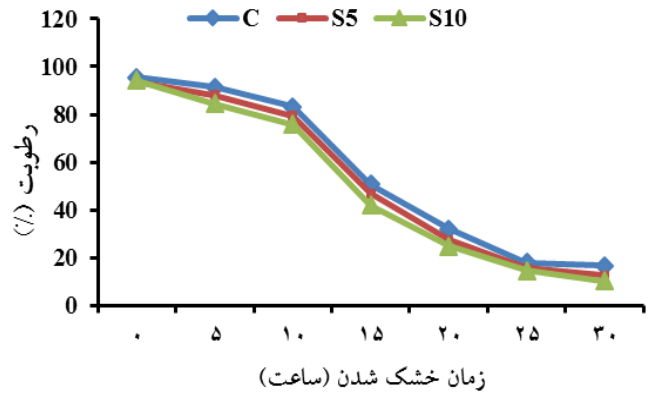
خشک شدن کاهش می‌یابد. سخت شدن پوشش سطحی محصول مانع خروج آب تبخیر شده از ماده غذایی می‌شود. در چنین حالتی، قبل از آن که بخش عمده رطوبت درونی فرصت بیرون آمدن به قسمت سطح را داشته باشد، به سرعت یک پوسته‌ای در سطح ماده تشکیل می‌شود که برای آب باقی مانده در درون ماده غذایی نفوذ ناپذیر است. از این نظر میزان خشک شدن به شدت کاهش می‌یابد (۲).

مقدار رطوبت برش‌های بادمجان خشک شده با استفاده از تیمار متابی سولفیت در مقایسه با تیمار آب نمک، حدود ۲۹/۵ درصد و در مقایسه با نمونه کنترل حدود ۵۲ درصد و رطوبت نمونه‌های تیمار شده با اب نمک نیز در مقایسه با تیمار کنترل حدود ۳۱ درصد کمتر بود.

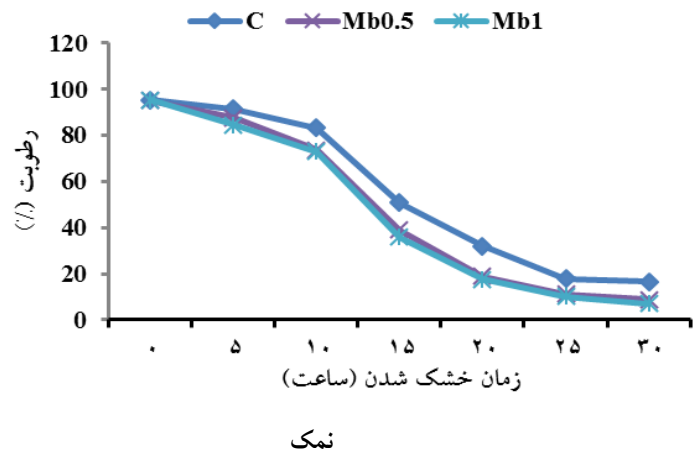
بر اساس گزارشات ارتکین و یلدیز (۲۰۰۴) تیمار کردن بادمجان در آب داغ به مدت ۵ دقیقه، قبل از خشک کردن موجب کاهش زمان خشک شدن و کاهش مقاومت به رطوبت حمل و نقل می‌گردد (۱۶). اسیداگز و آمبروسو (۲۰۱۳) نیز گزارش نمودند زمان خشک شدن بادمجان بدون تیمار کردن حدود ۳۶۶/۶ دقیقه و تیمار شده حدود ۲۰۹/۴ دقیقه می‌باشد. لذا تیمار کردن موجب کاهش زمان خشک شدن در حدود ۴۳/۲۴ درصد گردید (۲۳) که نتایج این بررسی‌ها نتایج حاصل از این تحقیق را تایید می‌کنند. کاهش زمان خشک شدن در اثر پیش تیمار کردن در سایر برش‌های میوه‌ها و سبزی‌ها از جمله سیب، هلو و فلفل و چیلی نیز گزارش شده است (۱۱، ۲۰ و ۳۲).

با افزایش مقدار غلظت آب نمک، درصد نمک نمونه‌ها بطور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). اما استفاده از محلول متابی سولفیت موجب کاهش مقدار نمک نمونه‌ها شد (شکل ۳). دلیل این کاهش می‌تواند در اثر حل شدن نمک موجود در بادمجان در محلول متابی سولفیت باشد

نقطه سرعت خشک شدن کاهش می‌یابد (سرعت کاهش^۴). در این حالت آب از لایه‌های داخلی ماده تبخیر شده که کندتر از حالت اول می‌باشد. روند مشابهی در طول خشک کردن سایر مواد غذایی نیز مشاهده شده است (۱۴، ۳۰، ۳۱ و ۳۴).

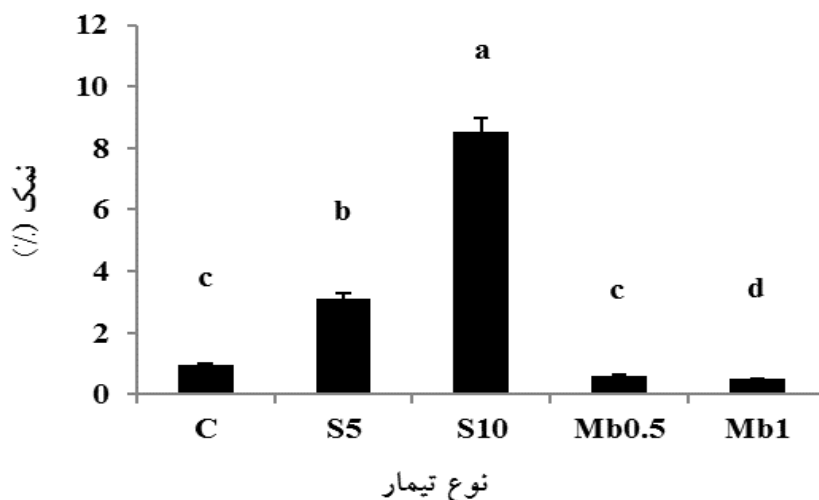


شکل ۱- سنتیک خشک شدن بادمجان تیمار شده با آب



شکل ۲- سنتیک خشک شدن بادمجان تیمار شده با متابی سولفیت

پیش تیمار کردن برش‌های بادمجان قبل از خشک کردن موجب کاهش زمان خشک شدن و متعاقب آن موجب تسریع فرایند خشک شدن گردیده است که در این بین متابی سولفیت موثرتر از محلول نمک بود. دلیل آن را می‌توان به این صورت بیان کرد که چون نمک موجب سخت شدن بافت می‌شود لذا سرعت خروج رطوبت در هنگام



شکل ۳- تاثیر نوع تیمارها بر درصد نمک بادمجان خشک شده

۲-۳- قابلیت جذب آب مجدد

با توجه به جدول ۱، قابلیت جذب آب برگه‌های تیمار شده با متابی سولفیت بطور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های آنزیم بری شده با آب نمک و شاهد بود ($p < 0.05$).

لازم به توضیح است که در روش تعیین نمک به روش ولهارد، اساس تعیین یون کلر است و بسته به شرایط آب و هوایی و نوع خاک، در بادمجان مقداری یون کلر وجود دارد (۳۷). به همین دلیل در نمونه شاهد در حدود ۰/۹ درصد نمک تعیین شده است.

جدول ۱- مقایسه میانگین مقدار باز جذب آب

نوع تیمار	C	S ₅	S ₁₀	Mb _{0.5}	Mb ₁
مقدار باز جذب آب	۱/۵±۰/۱۲ ^b	۱/۶۵±۰/۱ ^b	۱/۷±۰/۱۴ ^b	۲/۵۷±۰/۰۹ ^a	۲/۴۲±۰/۱۴ ^a

اعداد حداقل با یک حرف مشابه از لحاظ آماری معنی‌دار نیستند (آزمون توکی در سطح آماری ۵ درصد)

وارد شده، گرما الاستیسیته دیواره سلول را کاهش داده و در نتیجه ظرفیت نگهداری آب محصول خشک شده کاهش می‌یابد. میوه‌ها و سبزی‌ها در فضای داخل سلولی مقدار زیادی هوا دارند که در طول تبخیر رطوبت و در اثر چروکیدگی این هوا می‌تواند خارج شود که تمام این عوامل در تخلخل داخلی محصول تأثیر می‌گذارند (۲).

۳-۳- میزان چروکیدگی

شکل ۴ تاثیر تیمارها را بر درصد چروکیدگی نمونه‌ها نشان می‌دهد. همانطوریکه از شکل مشخص است استفاده از

با توجه به اینکه قابلیت جذب آب یک شاخص کیفیت برای ماده غذایی خشک است، لذا آن دسته از مواد غذایی که تحت شرایط بهینه خشک می‌شوند صدمه کمتری دیده و سریعتر آب به خود می‌گیرند. فرایند پیش تیمار بدلیل کاهش زمان خشک کردن و در نتیجه صدمه کمتر به ساختار ماده غذایی، موجب افزایش بازجذب آب نمونه‌ها شده است

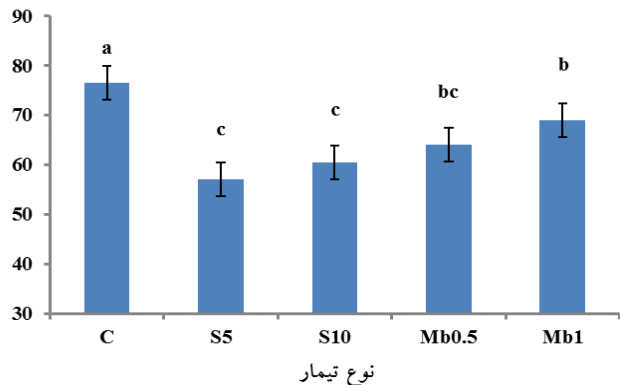
در طی خشک کردن تغییرات جبران ناپذیری مانند تغییرات بافت، مهاجرت مواد محلول و تلفات مواد فرار بر محصول

قدر شدت خروج حبابها از درون بافت بیشتر باشد میزان چروکیدگی محصول بیشتر خواهد بود. تبخیر رطوبت نیز موجب چروکیدگی محصول می‌شود زیرا طی خشک شدن آب بین سلولی به طور مرتب جدا می‌شود و هوا جایگزین آن می‌گردد. در نتیجه بافت قادر به نگهداری شبکه ساختمانی نمی‌باشد، بطوری که ساختمان پوسته بیرونی سلول فرو می‌ریزد و چروکیدگی ایجاد می‌شود (۳۸).

۳-۴- تاثیر تیمارها بر میزان قهوه‌ای شدن

در جدول ۲ مقایسه میانگین‌های دانسیته نوری به عبارت دیگر میزان قهوه‌ای شدن آورده شده است. همانطوریکه از جدول مشخص است استفاده از عملیات پیش فراوری موجب کاهش معنی دار قهوه‌ای شدن بادمجان شده است که تاثیر متابلی سولفیت بیشتر بود ($p < 0.05$). کمترین مقدار دانسیته نوری به ترتیب مربوط به تیمار آنزیم بری شده با متابلی سولفیت، تیمار آنزیم بری با آب نمک و نمونه شاهد بود. با افزایش مقدار نمک و متابلی سولفیت دانسیته نوری بطور غیرمعنی داری افزایش یافته است. بین تیمارها، متابلی سولفیت در جلوگیری از قهوه‌ای شدن رنگ برگه‌ها از سایر تیمارها موثرتر است. زیرا این ماده در ترکیب خود دارای گوگرد است که دارای خاصیت احیا کنندگی بوده و از قهوه‌ای شدن جلوگیری کرده است. همچنین با توجه به اینکه مواد غذایی خشک، در کنار واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی، واکنش‌های غیر آنزیمی (واکنش میلارد) نیز می‌توانند در تولید رنگریزه‌های قهوه‌ای شدن موثر باشند. لذا این ترکیب از واکنش میلارد نیز جلوگیری می‌کند. اثر گوگرد در جلوگیری از قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی بستگی به

محلول آب نمک بطور معنی‌داری موجب کاهش چروکیدگی نسبت به تیمار متابلی سولفیت شد ($p < 0.05$).



شکل ۴- تاثیر نوع تیمارها بر درصد چروکیدگی

اعداد حداقل با یک حروف مشابه از لحاظ آماری معنی‌دار نیستند (آزمون توکی در سطح آماری ۵ درصد)

مقدار چروکیدگی نمونه شاهد بطور معنی‌داری بیشترین مقدار و تیمار آب نمک کمترین مقدار بود ($p < 0.05$). زیرا در نمونه شاهد شدت خشک شدن کمتر بوده و این منجر به کاهش مقاومت بافت محصول در مقابل چروکیدگی می‌گردد (۲۲). اما در تیمارهای آنزیم بری شده با متابلی سولفیت و آب نمک شدت خشک کردن بیشتر بوده و این منجر به افزایش مقاومت بافت محصول در مقابل چروکیدگی می‌شود. در نتیجه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول تاثیر مثبت داشته و از پدیده‌های نظیر چروکیدگی و از بین رفتن مجاری موین در درون بافت، جلوگیری کرده و موجب افزایش ظرفیت مجدد جذب آب نمونه‌های آبگیری شده می‌گردد. چروکیدگی با میزان رطوبت جدا شده ارتباط دارد که در مراحل انتهایی فرآیند خشک کردن کاهش می‌یابد (۵). چروکیدگی محصولات در طول خشک شدن در انتشار رطوبت و هدایت حرارتی، به ویژه در مراحل آخر تاثیر دارد. نسبت خشک شدن نیز با افزایش تخلخل، افزایش می‌یابد. شدت چروکیدگی به نوع محصول بستگی دارد. همچنین شرایط خشک کردن تاثیر بسیاری در تغییرات ساختمانی دارد (۲۱). چروکیدگی درحین خشک کردن نقش مهمی در تعیین کیفیت محصولات خشک دارد. بافت میوه و سبزی محتوی مقادیر زیادی حباب هوا در فضاهای بین سلولی است که هر

اندیس L^* مبین روش بودن رنگ حلقه‌های بادمجان تیمار شده و کاهش معنی دار اندیس a^* ، حاکی از افزایش طیف رنگی سبز می‌باشد. هرچه میزان اندیس L^* بالا و اندیس a^* پایین تر باشد نشان دهنده کاهش قهوه‌ای شدن است. این نکته حائز اهمیت است که بین میزان روشنایی و قهوه‌ای شدن ارتباطی وجود دارد. با افزایش شدت (L^*) روشنایی و کاهش شدت سبزی (a^*) قهوه‌ای شدن کم تر اتفاق می‌افتد (۸). در بین تیمارها، رنگ نمونه‌های شاهد تیره‌تر و رنگ نمونه‌های تیمار شده با متابی سولفیت روش‌تر بود. زیرا ترکیبات سولفیدی از طریق ایجاد کمپلکس با ترکیبات کینونی و ایجاد کمپلکس کینون-سولفیت مانع از پلیمریزاسیون ترکیبات کینونی و تشکیل رنگدانه قهوه‌ای می‌گردند. ایجاد اتصالات برگشت ناپذیر با اتم مس موجود در جایگاه فعال آنزیم پلی فنل اکسیداز و غیر فعال کردن آنزیم توسط ترکیبات سولفیدی از دلایل دیگر کاهش و یا توقف واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی توسط ترکیبات سولفیدی می‌باشد (۴، ۱۵ و ۲۹). نتایج مشابهی نیز توسط کارتیز-ویگا و همکاران (۲۰۰۸) در سیب نیمه فرایند شده و سقراپو و همکاران (۲۰۱۰) در خصوص برش‌های تازه سیب زمینی تیمار شده با متابی سولفیت گزارش شده است (۱۰ و ۲۹). این نتایج با نتایج حاصل از تعیین میزان قهوه‌ای شدن نیز همخوانی دارد.

ترکیب آن با ماده غذایی دارد. از مزایای استفاده از محلول حاوی گوگرد می‌توان به کاهش آلودگی هوا، کوتاه شدن زمان لازم برای گوگرد دادن، کنترل بهتر فرآیند گوگرد دادن و جلوگیری از افت مقدار دی‌اکسید گوگرد در طول نگهداری اشاره کرد (۲۴ و ۲۶).

۳-۵- تاثیر تیمارها بر اندیس‌های رنگ

رنگ ویژگی مهمی است که پذیرش محصول از جانب مصرف کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از دست دادن رنگ در طول فرآیند خشک کردن یکی از مهم ترین تغییرات کاهش کیفیت در محصولات خشک شده است. عوامل فیزیکی و شیمیایی مسئول از دست دادن رنگ در طول فرایند خشک کردن عبارت از تخریب بافت، از دست دادن و یا تغلیظ رنگدانه‌های میوه‌ها و واکنش‌های قهوه‌ای شدن است (۲). علت تغییر پارامترهای رنگی طی پیش تیمار کردن و خشک شدن، تجزیه رنگدانه‌ها و واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی است که در اثر تماس ماده غذایی با هوای داغ اتفاق می‌افتد.

با توجه به نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، تاثیر تیمارها بر اندیس L^* و a^* معنی دار بود ($p < 0.05$). اندیس L^* نشان دهنده روشنی و تیرگی رنگ و اندیس a^* نشان دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز می‌باشد. همانطوریکه از جدول ۲ مشخص است استفاده از پیش تیمارها موجب افزایش اندیس L^* و کاهش و اندیس a^* شد ($p < 0.05$). افزایش

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اندیس‌های رنگ و میزان قهوه‌ای شدن

نوع تیمار	L^*	a^*	b^*	OD
C	۶۷/۲۴ ^c	۱۶/۲۲ ^a	۲۵/۳۵ ^a	۰/۶۵±۰/۱۲ ^a
S ₅	۷۸/۶۶ ^b	۸/۰۶ ^c	۳۸/۴۶ ^a	۰/۴۳±۰/۱۴ ^b
S ₁₀	۸۰/۶۱ ^b	۱۲/۰۲ ^b	۳۴/۲۳ ^a	۰/۴۵±۰/۰۴ ^b
Mb _{0.5}	۹۱/۱۶ ^a	۲/۳ ^d	۳۹/۸۱ ^a	۰/۲۷±۰/۰۹ ^c
Mb ₁	۹۳/۰۹ ^a	۰/۷۰ ^d	۳۶/۱۴ ^a	۰/۳۰±۰/۱۴ ^{bc}

اعداد حداقل با یک حرف مشابه از لحاظ آماری معنی دار نیستند (آزمون توکی در سطح آماری ۵ درصد)

جذب آب. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی، جلد ۱، شماره ۱، ۶۴ - ۶۱.

۲. زمردی، ش. ۱۳۹۱. تکنولوژی فرآوری میوه‌های خشک و کنترل کیفیت آنها. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. ۳۲۰ صفحه.

۳. صالحی، ف.، کاشانی نژاد، م. و اسدی امیرآبادی، ع. ر. ۱۳۹۴. بررسی سینتیک انتقال جرم در طی خشک کردن ترکیبی هوای داغ-مادون قرمز برش‌های بادمجان. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، سال دوم، شماره ۷، ۶۰-۵۶.

۴. طهماسبی پور، م.، دهقان نیا، ج.، سیدلو هریس، س. ص. و قنبرزاده، ب. ۱۳۹۳. مدلسازی تغییرات رنگی طی خشک کردن انگور پیش تیمار شده با فراصوت و کربوکسی متیل سلولز و بررسی ویژگی‌های حسی آن. فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، سال اول، شماره ۴، ۶۱-۷۹.

۵. کلباسی، ا. و ح. فاطمیان. ۱۳۷۹. بررسی عوامل موثر در سرعت فرآیند خشک کردن اسمزی سیب زرد لبنانی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۱، شماره ۲، ۳۷۹-۳۷۱.

1. Akanita pichat, P., Phraibung, K., Nuchklang, K. and Promptakkul, S. 2010. Antioxidant and hepatoprotective activities of five eggplant varieties. Food and Chemical Toxicology, 48: 3017-3021.
2. Akpinar E.K. and Bicer Y. 2005. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. International Journal of Food Science and Technology, 40: 273-281.
3. Chung, S. K., J. C. Shin and J. U. Choi. 1992. The blanching effects on the drying rates and the colour of hot red pepper. Journal of Korean Society for Food and Nutrition, 21 (1): 64-69.
4. Coseteng, M. Y. and Lee, C. 1987. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. Journal of Food Science, 52: 985-989.

رودریگوز و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که تخریب رنگ مواد غذایی خشک مربوط به واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی است (۲۵). رنگ هر ماده غذایی به محیطی که ماده در آن رویت می‌شود و نیز توانایی آن در انعکاس، تفرق، جذب و عبور نور از خود بستگی دارد. خشک کردن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ماده را تغییر می‌دهد و در نتیجه رنگ ماده غذایی نیز دستخوش تغییر شود.

در بادمجان خشک شده، مقدار فیبر کل ۳۶/۹٪، پروتئین ۱۵/۵٪، چربی ۰/۹٪، خاکستر ۷/۹٪ و کربوهیدرات ۷۵/۷٪ گزارش شده است (۱۹). لذا تغییر رنگ آن در ابتدا ممکن است در اثر قهوه‌ای شدن آنزیمی باشد ولی در حین خشک شدن، کاراملیزاسیون و واکنش میلارد که با مشارکت قندها انجام می‌شود از مهمترین عوامل تغییر رنگ محصول خشک شده بادمجان قلمداد شده‌اند (۲).

۳-۶- نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج این بررسی، استفاده از پیش تیمارها موجب کاهش مقدار رطوبت، دانسیته نوری و به عبارت دیگر موجب کاهش قهوه‌ای شدن حلقه‌های بادمجان و اندیس a^* و موجب افزایش اندیس L^* شد. قابلیت جذب آب حلقه‌های خشک بادمجان تیمار شده با متابی سولفیت بطور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با آب نمک و شاهد بود. استفاده از محلول آب نمک بطور معنی‌داری موجب کاهش چروکیدگی نسبت به تیمار متابی سولفیت شد. با توجه به نتایج، استفاده از محلول نمک ۱۰ درصد با زمان غوطه‌وری ۶۰ دقیقه و محلول متابی سولفیت با غلظت ۰/۵ درصد به مدت ۲ دقیقه در تهیه بادمجان خشک شده در هوای داغ با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد می‌گردد.

۴- منابع

۱. شمایی، س.، امام جمعه، ز. ۱۳۸۹. اثر پیش تیمار و روش‌های مختلف خشک کردن بر روند خشک کردن، رنگ، بافت، مقدار و سرعت باز

15. Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantanand, M. R. and Ilyas, S. M. 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 65–69
16. Krokida, M. K. and Z. B. Maroulis. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15: 2441–2458.
17. Lozano, J. E., Rotstein, E. and Urbician, M. J. 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of food stuffs at changing moisture contents. *Journal of Food Science*, 48: 1497–1502.
18. Osidacz, R. C. and Bonicontró Ambrosio-Ugri, M. C. 2013. Physicochemical quality of eggplant dehydrated with varied pretreatments. *Acta Scientiarum. Technology*, 35: 175-179.
19. Puminat, W. 2000. The study of relationship of total sulfite and the other properties of dehydrate fruits with storage times. *Food*, 30: 283-291.
20. Rodrigues, A.C.C., Cunha R. I. and Hubinger M. D. 2003. Rheological properties and color evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, 59: 129-135.
21. Sapers G. M. 1993. Browning of food: control by sulfites, antioxidants and other means. *Food Technology*, 47(1): 75-84.
22. Saravacos, G.D., Marousis, S.N. and Raouzeos, G.S. 1998. Effect of ethyl oleate on the rate of air drying of food: *Food Technology*, 16: 78–81.
23. Santacatalina, J. V., Ozuna, C., Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V. and Mulet, A. 2011. Quality assessment of dried eggplant using different drying methods: hot air drying, vacuum freeze drying and atmospheric freeze drying. In *Proceedings of the 11th International Congress on Engineering and Food*, Athens, Greece, May.
24. Sgroppo, S.C., Vergara, L. E. and Tenev, M. D. 2010. Effect of sodium meta bisulphite and citric acid on the shelf life of fresh cut sweet potatoes.
5. Cortez-Vega, W. R., Becerra-Prado, A. M., Soares, J. M. and Fonseca, G. G. 2008. Effect of l-ascorbic acid and sodium metabisulfite in the inhibition of the enzymatic browning of minimally processed apple. *International Journal of Agricultural Research*, 3: 196-201.
6. Doymaz, I. 2010. Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3): 124–132.
7. Doymaz, I. 2011. Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35: 280–289.
8. Doymaz, I. and Göl, E. 2011. Convective drying characteristics of eggplant slices. *Journal of Food Process Engineering*, 34: 1234-1252.
9. ElKhodiry, M. A., Suwaidi, S. R., Taheri, M., Elwalid, H., ElBaba, D. and Qasim, M. 2015. Drying kinetics of eggplant (*solanum melongena*) in a fluidized bed dryer: experimental evaluation and modelling. *Journal of Food Processing*, 1: 10.
10. Embs, R. T. and Markakis, P. 1985. The mechanism of sulphite inhibition of browning caused by polyphenol oxidase. *Journal of Food Science*. 30: 753-758.
11. Ertekin C. and Yaldiz O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349-359.
12. FAO, Food and Agriculture Organization. 2015. Crops: production quantities by country. Available at: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
13. García-Pérez, V., Ozuna, C., Ortuno, C., Cárcel, J. A. and Mulet, A. 2011. Modeling ultrasonically assisted convective drying of eggplant. *Drying Technology*, 29: 1499–1509.
14. Kahlon, T. S.; Chapman, M. H. and Smith, G. E. 2007. In vitro binding of bile acids by spinach, kale, brussels sprouts, broccoli, mustard greens, green bell peppers, cabbage and collards. *Food Chemistry*, 100: 1531–1536.

33. Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B. and Marinos- Kouris, D. 1994. Densities Shrinkage and Porosity of some vegetables during air drying. *Drying Technology*, 12: 1653-1666.
25. Taghian Dinani, S., Hamdami, N., Shahedi, M. and Havet, M. 2014. Mathematical modeling of hot air/electrohydrodynamic (EHD) drying kinetics of mushroom slices. *Energy Conversion and Management*, 86: 70–80
26. Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Ghani, J. A. and Lee, K. F. 2007. Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 80: 695–700.
27. Toontom, N., Meenune, M., Posri, W. and Lertsiri, S. 2012. Effect of drying method on physical and chemical quality, hotness and volatile flavor characteristics of dried chilli. *International Food Research Journal*, 19 (3): 1023-1031.
28. Tunde-Akintunde, T. Y., Oyelade, O.J. and Akintunde, B.O. 2014. Effect of drying temperatures and pre-treatments on drying characteristics, energy consumption, and quality of bell pepper. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*, 16: 108-118.
29. Vega, A., Fito, P., Andrés, A. and Lemus, R. 2007. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, 79: 460– 1466.
30. Weil, E .D. and Sandler, S. R. 1999. Sulfur Compounds". In Kroschwitz, Jacqueline I. *Kirk-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc. p: 1937. ISBN 978-0471419617
31. Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y. and Tagawa, A. 2007. Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering*, 83: 422–429.
32. Yasar, F., Ellialtioglu, S. and Kusvuran, S. 2006. Ion and Lipid Peroxide Content in Sensitive and Tolerant Eggplant Callus Cultured under Salt Stress. *Europe .Journal Horticulture Science*, 71 (4): 169–172.

