مروری بر مزایا و معایب ترکیب خشک کن‌های مایکروویو و هوای گرم

ابوالفضل قلیخانی[۱*] ، ناهید عقیلی ناطق[۲]، شاهین رفیعی[۳]، سلیمان حسین پور[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی،دانشگاه تهران،A.Gholikhani@ut.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی ،دانشگاه تهران
۳- استاد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
۴- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

فرایند خشک‌کردن به طور وسیعی برای نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها به کار می‌رود. انجام صحیح عملیات خشک‌کردن به علت امکان بروز برخی تغییرات نامطلوب در ماده غذایی اهمیت زیادی دارد. هدف این مقاله نشان دادن مزایا و معایب خشک‌کن‌های ترکیبی نسبت به خشک‌کن‌های هوای گرم و خشک‌کن‌های مایکروویو است. بنابراین انواع روش‌های ترکیب هوای گرم و امواج مایکروویو در دو دسته کلی گروه‌بندی شدند و پژوهش‌های انجام شده در هر گروه مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت گردآوری نتایج این پژوهش‌ها روشنگر این مسئله بود که در بین انواع روش‌های ترکیب، استفاده همزمان از هوای گرم و تابش امواج مایکروویو به صورت ناپیوسته (پالسی)، به لحاظ کیفیت محصول، مصرف انرژی و صرفه اقتصادی نسبت به روش هوای گرم، روش مایکروویو و سایر روشهای ترکیب آنها، از جایگاه بهتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: روش ترکیبی، انرژی مایکروویو، خشک‌کن هوای گرم

۱-مقدمه

خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی است(Maskan 2000). کم بودن کارایی انرژی و طولانی بودن زمان خشک‌کردن طی دوره سرعت نزولی از معایب مهم خشک‌کردن با جریان هوای گرم (روش جابه‌جایی) است. همچنین در خشک‌کن‌ها با هوای گرم، به دلیل هدایت حرارتی کم، انتقال حرارت به قسمت‌های داخلی ماده غذایی محدود شده، راندمان انرژی پایین آمده، مدت زمان طولانی‌تری برای خشک‌کردن لازم است(زیرجانی، ۱۳۸۷). برای رفع این مشکل و جلوگیری از کاهش کیفیت و دست‌یابی به یک فرآیند حرارتی موثر، از مایکروویو برای خشک‌کردن مواد غذایی استفاده شده است.

از نقطه نظر اقتصادی، خشک‌کردن با مایکروویو نمی‌تواند با خشک‌کردن با هوای گرم رقابت کند. به همین جهت پیشنهاد می‌شود که انرژی مایکروویو در دوره سرعت نزولی خشک‌کردن یا در مقادیر کم رطوبت، جهت خشک‌کردن نهایی به کار رود زیرا در آن مرحله، خشک‌کردن با روش هوای گرم، زمان زیادی لازم دارد (Prabhanjan and Ramaswamy, 1995).

هدف از ترکیب این روش‌ها، استفاده از مزایای آنها و به ویژه کاهش هزینه‌های خشک‌کردن است. 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(Krokida and Maroulis, 1997) .

در میوه‌هایی مانند انگور، آلو، آلبالو، گیلاس و زردآلو پوشش مومیِ موجود روی پوست میوه اثر کنترل کننده‌ای در فرایند خشک کردن دارد (Doymaz, 2005). بنابراین، استفاده از روش‌های ترکیبی مثل خشک‌کردن به وسیله هوای گرم- مایکروویو می‌تواند در افزایش سرعت خشک‌کردن این نوع میوه‌ها مؤثر باشد.

ترکیب خشک کردن مایکروویو با هوای گرم توسط برخی محققان برای خشک‌کردن میوه‌ها و سبزیجاتی مانند سیب(عسگری و همکاران، ۱۳۸۳ ; Funebo and Ohlsson, 1998)، موز (زیرجانی و توکلی‌پور، ۱۳۸۹)، انگور (ده بوره و اسماعیلی، ۱۳۸۹)، رزماری (Antoni *et al*., 2010)، فلفل‌قرمز(Soysal *et al.*, 2009)، موز(Maskan, 2000) ، هویج (Rosenthal, 1999)، سویای پخته شده (Gowen *et al*., 2008)، میوه چشم اژدها (Varith *et al.*, 2007)، گوجه فرنگی (Workneh *et al*., 2011)، سیر (Sharma and Prasad, 2001) و غیره ،بحث شده است.

با توجه به بررسی منابع علمی، روش‌های ممکن برای ترکیب جریان هوای گرم و مایکروویو به شرح زیر می‌باشد:

۱. ابتدا خشک نمودن محصول به کمک هوای گرم تا رسیدن به رطوبت بحرانی و سپس استفاده از امواج مایکروویو.
۲. استفاده همزمان از هوای گرم و تابش امواج مایکروویو (به دو روش پیوسته و ناپیوسته)

۲-مواد و روش‌ها

خشک‌کن لایه نازک به خشک‌کنی گفته می‌شود که ضخامت محصول و طول سینی حاوی، درآن به حدی باشد که دما و رطوبت هوای خشک‌کن قبل و بعد از عبور از محصول یکسان باشد(Pabis *et al.*, 1998). در این فرآیند خشک‌شدن، انتقال حرارت به دو طریق انجام می‌شود؛ یکی از طریق جابجایی حرارت توسط جریان هوای گرم خشک‌کن و دیگری از طریق هدایت بین سینی خشک‌کن و نمونه‌ها(Demirel and Turhan, 2003).

پرتوهای مایکروویو از دسته پرتوهای الکترومغناطیسی باطول موج بلند (فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز) می‌باشند. درهنگام عبور این امواج از بافت ماده غذایی، مولکول‌های قطبی نظیر آب و نمک‌ها به ارتعاش درآمده و همین ارتعاش موجب تبدیل انرژی مایکروویو به حرارت می‌شود. قابل توجه اینکه برخلاف روش‌های دیگر خشک‌کردن 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 (Prothon *et al.*, 2001; Maskan, 2001; Funebo *et al.*, 2000).

مایکروویو، یک روش سریع خشک کردن مواد غذایی است که انرژی آن ، قابل مقایسه با روش خشک کردن با هوای گرم است. در خشک‌کردن با مایکروویو خروج رطوبت سریع‌تر است و هم چنین به دلیل تمرکز انرژی سیستم مایکروویو فقط ۲۰ تا ۳۵٪ نسبت به سایر روش‌های خشک کردن، نیاز به فضا دارد (Crank, 1975).

کم بودن کارایی انرژی و طولانی بودن زمان خشک‌کردن طی دوره سرعت نزولی از معایب مهم خشک‌کردن با جریان هوای گرم (روش جابجایی) است. از طرفی هزینه‌های بالای خشک‌کردن با استفاده از انرژی مایکروویو سبب شده است که ترکیب خشک‌کن‌های هوای گرم و مایکروویو مورد استفاده قرار بگیرد. در این ترکیب گرمای حجمی تولید شده توسط مایکروویو باعث انتقال رطوبت به سطح می گردد که سپس به کمک جریان هوای گرم از روی سطح برداشته می‌شود. به این ترتیب از مزایای هر دو روش می‌توان استفاده نمود.

در این مقاله سعی بر این است که با مطالعات کتابخانه‌ای، خلاصه‌ای از مهمترین تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته است، گردآوری شود.

۳-نتایج و بحث

۳-۱. ابتدا خشک کردن با هوای گرم تا رسیدن به رطوبت بحرانی و سپس استفاده از امواج مایکروویو

پژوهشگرانی که از انرژی مایکروویو برای خشک‌کردن میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده نموده‌اند، گزارش کرده‌اند که انرژی مایکروویو موجب چروکیدگی شدید محصول پایانی می‌شود. علت اصلی این چروکیدگی 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. اما با استفاده از توان کمتر و در مدت زمانی بسیار کوتاه‌تر (۳۰۰ وات و ۱۰ ثانیه) نتایجی متفاوت حاصل شد. زیرا 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 گرم 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. (عسگری و همکاران، ۱۳۸۳)

در تحقیقی دیگر با بکارگیری روش ترکیبی هوای گرم و مایکروویو برای خشک‌کردن برگه های نازک سیب، محققان به این نتیجه رسیدند که در روش ترکیبی نسبت به روش هوای گرم، دانسیته ظاهری کاهش و تخلخل محصول افزایش یافته است و علت آن را بکارگیری انرژی مایکروویو در شرایطی که رطوبت محصول بالاست، اعلام نمودند.(امام جمعه و عسگری، ۱۳۸۳)

محققین به منظور بررسی تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی برگه‌های سیب حین خشک‌کردن با خشک‌کن هوای گرم و مایکروویو به این نتایج دست یافتند:

۱. در صورتی که میزان آب محصول زیاد باشد، انرژی مایکروویو باعث تخریب کلی ساختار درونی نمونه خواهد شد که نتیجه آن چروکیدگی محصول است.
۲. با توجه به این که انرژی مایکروویو در هر شرایطی موجب کاهش پایداری بافت نمونه می‌شود، استفاده از پوشش جهت حفظ ساختار حجیم به وجود آمده ضروری است، که در اینجا پوشش‌های نشاسته‌ای و پکتینی بهترین تاثیر را داشتند.
۳. پوشش و انرژی مایکروویو به تنهایی اثر قابل توجهی در افزایش تخلخل نمونه‌ها ندارند، تاثیر مهمتر هنگامی مشاهده می‌شود که این دو با هم مورد استفاده قرار می‌گیرند.
۴. به کارگیری انرژی مایکروویو در شرایطی که موجب افزایش حجم نمونه‌ها شود، ویژگی‌های رنگی آنها را نیز بهبود می‌بخشد که علت این امر کاهش تراکم رنگدانه‌ها در واحد سطح است.(عسگری و همکاران، ۱۳۸۴)

در خشک‌کردن ورقه‌های نازک موز با استفاده از خشک‌کن ترکیبی هوای گرم و مایکروویو، نمونه‌ها ابتدا در هوای گرم ۶۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به رطوبت بحرانی خشک شدند و سپس به آون مایکروویو با توان ۳۰۰ وات منتقل گردیدند و تا رسیدن به رطوبت نهایی خشک شدند. نتایج نشان داد که پیش فرآیندها آهنگ خشک‌کردن را افزایش داده و زمان خشک‌کردن را کاهش دادند و با افزایش ضخامت زمان خشک‌کردن نیز افزایش یافت. بهترین ضخامت برش‌های موز بعد از بررسی پارامترهای کیفی ۳ میلیمتر اعلام شد. همچنین پیش فرآیندها پارامترهای کیفی چیپس موز را بهبود دادند. (زیرجانی و توکلی‌پور، ۱۳۸۹)

در پژوهشی که به منظور بررسی تاثیر فرآیند خشک‌کردن نهایی با مایکروویو و هوای گرم بر پارامترهای خشک‌کردن دو نوع انگور خشک‌شده صورت گرفت، محققان ابتدا نمونه‌ها را در حمام آب با دمای (۲۵ و ۴۵ درجه سانتیگراد) و زمان (۶۰ و ۳۰ دقیقه) معین شستشو داده و پس از حذف آب سطحی، با روش‌های ماکروویوی (در دو توان ۲۷۰ و ۴۵۰ وات) و روش جریان هوای گرم (روش جابه‌جایی) در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد خشکانیدند. نتایج نشان داد که روش خشک کردن نهایی، رنگ محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد و همچنین استفاده از روش مایکروویو برای خشک‌کردن نهایی تابع توان مورد استفاده و نوع محصول است. (ده بوره و اسماعیلی، ۱۳۸۹)

گروهی از پژوهشگران گیاه رزماری را با روش‌های مختلف خشک کردند که عبارت‌اند از روش جابجایی هوای گرم، روش خشک‌کردن با مایکرویوو در خلا و روش ترکیبی شامل خشک‌کردن ابتدایی با هوای گرم و سپس خشک کردن نهایی در خلا با امواج مایکروویو. آن‌ها سینتیک خشک‌کردن را با یک تابع نمایی شبیه‌سازی کردند. بر اساس نتایج حاصل شده روش ترکیبی

بهترین روش شناخته شد زیرا استفاده از آن کمترین زمان خشک شدن را داشته (حدود ۳۰ دقیقه) و تغییرات کمی در بو و رنگ گیاه رزماری ایجاد می‌کند (Antoni *et al.*, 2010).

در تحقیقی از روش خشک کردن ترکیبی هوای گرم – ماکروویو (امواج با توان کم) برای خشک کردن سیب و قارچ استفاده شد. هدف از این تحقیق مقایسه روش های خشک کردن هوای گرم و روش ترکیبی هوای گرم – مایکروویو اعلام شد. در این تحقیق نمونه ها تا رسیدن به رطوبت بحرانی با هوای گرم خشک شدند و سپس از امواج مایکروویو استفاده شد. توان خروجی مایکروویو، دمای و سرعت جریان هوا به عنوان متغیر در نظر گرفته شد. پارامتر های ظرفیت آبرسانی، چگالی توده و رنگ برای تعیین کیفیت مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کمترین سرعت (۱ متربرثانیه) باعث قهوه ای شدن محصول نهایی شد. استفاده از امواج مایکروویو باعث کاهش سرعت خشک شدن به اندازه ۲ برابر برای سیب و ۴ برابر برای قارچ شد (Funebo and Ohlsson, 1998) .

در مقایسه فرآیند خشک‌کردن قطعات ماکارونی به دو روش هوای گرم(جابه‌جایی) و روش ترکیبی هوای گرم- ماکروویو، برای خشک‌کردن نمونه‌ها از رطوبت ۲۳٪ تا رطوبت ۱۲٪ از امواج مایکروویو استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش ترکیبی باعث کاهش میانگین زمان خشک شدن بیش از ۱۰ برابر نسبت به روش هوای گرم شده و علاوه بر صرفه جویی در صرف زمان و انرژی، محصول خشک شده دارای کیفیت و ظاهر بهتری نسبت به روش معمولی می‌باشد (Berteli and Marsaioli 2005).

۳-۲. استفاده همزمان از هوای گرم و تابش امواج مایکروویو (به دو روش پیوسته و ناپیوسته)

در خشک کردن فلفل قرمز به روش ترکیبی سینتیک خشک شدن، تغییر در بافت و رنگ فلفل اندازه‌گیری شد. بطور کلی، خشک-کردن به روش ترکیبی با استفاده همزمان از هوای گرم و تابش مداوم امواج مایکروویو کمترین زمان خشک شدن و پایین‌ترین کیفیت محصول را در میان سایر روش‌های ترکیبی خشک‌کردن نتیجه داد. این در حالی است که استفاده همزمان از هوای گرم و تابش متناوب امواج مایکروویو به تولید محصولی با کیفیت بالا نسبت به سایر روش‌های ترکیب، انجامید. بر اساس نتایج این مطالعه، استفاده همزمان از هوای گرم و تابش متناوب امواج مایکروویو ، در ۳۵ درجه سانتیگراد با نسبت پالس ۳ در توان ۵۹۷/۲۰ وات صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان خشک‌کردن در مقایسه با روش هوای گرم(جابه‌جایی) داشته و محصول نهایی از نظر رنگ ، بافت و ویژگی‌های حسی کیفیت بالایی داشته است (Soysal *et al.*, 2009).

در آزمایش دیگر با خشک‌کن ترکیبی بر روی ورقه‌های نازک موز به دو روش:

۱. همرفت(دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ۱/۴۵ متربرثانیه) و سپس استفاده از مایکروویو(در توان‌های ۳۵۰، ۴۹۰ و ۷۰۰ وات).
۲. همرفت(شرایط قبلی) و مایکروویو(در توان ۳۵۰ وات) به صورت همزمان

به این نتیجه رسیدند که استفاده همزمان از هوای گرم و مایکروویو سرعت خشک شدن را افزایش و زمان آن را کاهش می‌دهد. بعلاوه تاثیر کمی بر رنگ و ظرفیت آبرسانی محصول نهایی دارد (Maskan 2000) .

در یک بررسی برای خشک‌کردن برگه‌های نازک هویج از خشک‌کن هوای گرم مجهز به سیستم مایکروویو استفاده شد. که با استفاده از این روش ۹۰-۲۹٪ در مصرف انرژی صرفه جویی به‌عمل آمد. مشخص شد که استفاده از سطوح پایین‌تر انرژی موجب بهبود کیفیت فرآورده پایانی می‌شود(Rosenthal, 1999).

برای خشک کردن سیر به دو روش هوای گرم و ترکیب هوای گرم- مایکروویو تحقیقی صورت گرفت. در روش ترکیبی هوای گرم با دماهای ۴۰ ، ۵۰ ، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد و سرعت های ۱ و ۲ متر بر ثانیه به همراه امواج مایکروویو با توان ۴۰ وات به صورت پیوسته بر نمونه‌ها اعمال شد. این در حالی است که در روش هوای گرم نمونه‌هایی با همان اندازه در دماهای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد و سرعت جریان هوای ۲ متر بر ثانیه قرار گرفتند. پارامترهای زمان خشک شدن، رنگ و میزان عطر و طعم برای مقایسه دو روش در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که روش ترکیب هوای گرم- مایکروویو زمان خشک شدن را ۸۰ تا ۹۰ درصد نسبت به روش هوای گرم کاهش داد و کیفیت محصول نهایی در این روش بیشتر بود (Sharma and Prasad, 2001).

در آزمایشی که برای خشک کردن میوه چشم اژدها (Longan) با استفاده از خشک‌کن ترکیبی انجام شد، سطوح دما ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد و سطوح توان مایکروویو ۱۰۰، ۱۸۰، ۳۰۰و ۴۵۰ وات در نظر گرفته شد. هوای گرم و مایکروویو به صورت همزمان بر محصول اعمال شدند. نتایج نشان داد که دمای ۴۰ درجه سانتی گراد و توان ۴۵۰ وات با زمان ۱/۷ ساعت و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و توان ۳۰۰ وات با زمان ۳/۳ ساعت، بیشترین بازده خشک کردن را تامین نمودند (Varith *et al.*, 2007).

در آزمایش دیگری ورقه‌های نازک گوجه‌فرنگی با استفاده از ترکیب هوای گرم و امواج مایکروویو خشک شد. در این آزمایش چگالی توان مایکروویو ۱/۱۳، ۲/۰۸ و ۳/۱۱ وات بر گرم و جریان هوای گرم با دماهای ۴۰، ۵۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد با هم ترکیب شدند. نتایج نشان داد که ورقه های گوجه‌فرنگی هنگامی که امواج مایکروویو و هوای گرم به هم پیوستند، سریعتر خشک شدند. خشک کردن با امواج مایکروویو در ۱/۱۳ و ۲/۰۸ وات بر گرم کیفیت رنگ بهتری را سبب شد (Workneh *et al.*, 2011).

گروهی از پژوهشگران سویای پخته شده را به سه روش هوای گرم، مایکروویو و ترکیب مایکروویو- هوای گرم(جابجایی) خشک کردند. نتایج آزمایشات آنها نشان می‌دهد که سرعت خشک شدن به روش ترکیبی چهار برابر سریعتر از روش جابجایی هوای گرم و دو برابر سریعتر از روش مایکروویو می‌باشد. زمان آبرسانی (رهیدراسیون) در روش ترکیبی ۵۰ تا ۶۰ درصد کمتر از روش هوای گرم و یا روش ماکروویو گزارش شد. همچنین آن‌ها تغییرات رنگ را با دستگاه هانتر لب اندازه‌گیری کردند و تغییر در رنگ بین روش‌ها را برابر گزارش کردند (Gowen *et al.*, 2008).

۴- نتیجه‌گیری

در نهایت گردآوری نتایج این پژوهش‌ها روشنگر این مسئله بود که استفاده از روش‌های ترکیبی به لحاظ انرژی و صرفه اقتصادی نسبت به روش هوای گرم و یا روش مایکروویو از جایگاه بهتری برخوردار است. ضمناً در روش ترکیبی زمان خشک کردن نسبت به روش هوای گرم کاهش چشم‌گیری داشت.

به لحاظ ویژگی‌های ظاهری محصولات:

۱. هرچه رطوبت محصول در زمان استفاده از امواج مایکروویو کمتر باشد، کیفیت محصول خشک شده بیشتر می‌شود خصوصاً به لحاظ ویژگی‌های رنگی و میزان چروکیدگی. انرژی مایکروویو در شرایطی که موجب افزایش حجم نمونه‌ها شود، ویژگی‌های رنگی آنها را نیز بهبود می‌بخشد و علت این امر کاهش تراکم رنگدانه‌ها در واحد سطح است.

۲. هرچه توان مایکروویو کمتر و مدت زمان استفاده از آن در فرآیند خشک‌کردن کوتاه‌تر باشد، کیفیت محصول خشک شده افزایش می‌یابد. بدین ترتیب استفاده همزمان از هوای گرم و تابش امواج مایکروویو به صورت ناپیوسته(پالسی) می‌تواند محصولی با کیفیت بالاتر را تولید کند.

۳. استفاده همزمان از هوای گرم و تابش امواج مایکروویو به صورت پیوسته از ابتدای فرآیند خشک کردن، بیشترین سرعت خشک شدن نسبت به سایر روش ها را نتیجه داد اما کیفیت ظاهری محصول نهایی کاهش یافت.

۴. استفاده همزمان از هوای گرم و امواج مایکروویو به صورت ناپیوسته(پالسی)، توانست سرعت خشک‌شدن را نسبت به روش خشک‌کردن با هوای گرم تا رسیدن به رطوبت بحرانی و سپس استفاده از امواج مایکروویو، افزایش دهد. اما کیفیت محصول نهایی بسته به زمان استفاده از امواج مایکروویو می‌تواند متفاوت باشد.

از آنجایی که مکانیزم خشک شدن در روش هوای گرم از سطح به داخل محصول و در روش خشک کردن با امواج مایکروویو از داخل به سطح است، می‌توان انتظار داشت که با ترکیب صحیح این دو روش نتنها در صرف زمان و انرژی صرفه جویی خواهد شد بلکه محصول خشک‌شده کیفیت ظاهری بیشتری خواهد داشت.

منابع:

۱. امام جمعه، ز.، عسکری، غ. ۱۳۸۳. بکارگیری روش خشک کردن ترکیبی (پوشش دادن ،خشک کن هوا و مایکروویو) در خشک کردن برگه های نازک سیب. مجله علوم کشاورزی ایران , ۳۵ (۳): ۷۷۷-۷۸۵.

۲. ده بوره، ر.، اسماعیلی، م. ۱۳۸۹. تاثیر فرآیند خشک‌کردن نهایی با مایکروویو و هوای گرم بر پارامترهای خشک کردن انگور خشک شده. نشریه پژوهشهای صنایع غذایی ایران، ۵ (۲) : ۱۰۸- ۱۲۲

۳. زیرجانی، ل.، توکلی پور، ح.، ۱۳۸۹. مطالعه امکان تولید برگه موز توسط روش خشک کردن ترکیبی هوای گرم و مایکروویو. نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران ، ۶ (۱)، ۵۸-۶۷.

۴. زیرجانی، ل.، توکلی‌پور، ح. و پدرام نیا، ا. ۱۳۸۷. بهینه سازی فرآیند خشک کردن موز با هوای گرم و مایکروویو. مجله علمی پژوهشی علوم غذایی و تغذیه ، ۶ (۱) .

۵. عسکری، غ.، امام جمعه، ز.، ابراهیم زاده موسوی، س،م.، ۱۳۸۳. تغییرات میکروسکوپی، ویژگی‌های بافتی و ظرفیت جذب مجدد آب برش‌های سیب خشک شده با روش‌های مختلف. مجله علوم کشاورزی ایران, ۳۶ (۴) : ۱۰۰۱-۱۰۱۰.

۶. عسکری، غ.، امام جمعه، ز.، ابراهیم زاده موسوی، س،م.، ۱۳۸۴. بررسی تغییرات برخی ویژگی های فیزیکی برگه های سیب خشک شده با روش ترکیبی خشک کن هوای گرم و مایکروویو. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی , ۶ (۲۴) : ۱-۱۴.

7. Berteli, M., and A. Marsaioli. 2005. "Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process." Journal of Food Engineering **68**(2): 175-183.

8. Crank J. 1975. Mathematics of diffusion (2nd ed.) London: Oxford University Press. 414 pp.

9. Demirel, D and M. Turhan. 2003. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. Journal of Food Engineering, V(59): 1-11.

10. Doymaz, I. 2005. "Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. " *Food Engineering* (78), 591-596.

11. Funebo, T. Kidman, S and M., Langton. 2000. Microwave heat treatment of apple before air dehydration effects on physical properties and microstructure, *Journal of Food Engineering* 46: 173-182.

12. Funebo,T., and T., Ohlsson. 1998. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. Journal of Food Engineering. 38(3) : 353-367.

13. Gowen, A.A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., and Oliveira, J. 2008. "Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying." Innovative Food Science & Emerging Technologies 9(1): 129-137.

14. Krokida, M., and Z. Maroulis. 1997. "Effect of drying method on shrinkage and porosity". *Drying Technology , 10* (15), 2441-2458.

15. Maskan, M. 2000. "Microwave/air and microwave fnish drying of banana. " *Journal of Food*

engineering. 44(2) : 71-78.

16. Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48: 177-182.

17. Pabis, S., S. Jayas and S. Sankviski. 1998. Grain drying: theory and Practice.

18. Prabhanjan, D., and H. Ramaswamy. 1995. "Microwave-assisted convective air drying of thin layer carrots. " Journal of Food Engineering , 2 (25), 283-293.

19. Prothon., Funebo, T., Kidman, S. and M., Langton. 2001. Effects of combinated Osmotic and Microwave Dehydration of Apple on Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics. Lebensm-Wiss, u-Techno. 34: 95-101.

20. Rosenthal, A. J. 1999. *Food texture: measurement and perception* .

21. Sharma, G.P. and S., Prasad. 2001. Drying of garlic (Allium sativum) cloves by microwave–ho air combination. Journal of Food Engineering. 50(2) : 99-105.

22. Soysal, Y., Ayhan, Z., and Eştürk, O., and M.F. Arıkan. 2009. "Intermittent microwave–convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality." Biosystems Engineering **103**(4): 455-463.

23. Szumny, A., Figiel, A., Gutiérrez-Ortíz, A., and A. Carbonell-Barrachina. 2010. "Composition of rosemary essential oil (Rosmarinus officinalis) as affected by drying method." Journal of Food Engineering **97**(1): 253-260.

24. Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A., and S. Achariyaviriya. 2007. "Combined microwave-hot air drying of peeled longan. " *Food Engineering , 81*, 459-468.

25. Workneh, T. S., Raghavan, V., and Y. Gariepy. 2011. "Microwave Assisted Hot Air Ventilation Drying of Tomato Slices. " *International Conference on Food Engineering and Biotechnology*, *9*. Singapoore.

A review of advantages and disadvantages of combined microwave and hot air dryer

Abolfazel Gholikhani, Nahid Aghili-Nategh, Shahin Rafiee, Soleiman Hoosseinpour

Abstract

Drying fruits and vegetables are widely used for storage. Proper performance of the drying process due to the occurrence of some undesirable changes in food is important. The purpose of this paper is showing advantages and disadvantages of using combined drying methods of hot-air and microwave, and comparison with convective air drying and microwave drying. Therefore different methods of combination of hot air and microwave drying was classified in 2 class and researches were done in each class were checked.The results showed that intermittent microwave–convective drying method, is better than convective air drying method, microwave method and other methods of combining them, in quality product, energy consumption and economic terms.

Keywords: Hybrid methods, microwave energy, hot air dryers