بررسی انرژی مصرفی، سینیتیک و تغییرات رنگ لایه‌های سیب در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از پیش‌تیمار اسمزی

معصومه علیزاده[۱]، علی متولی[۲*]، سید جعفر هاشمی[۳]، ابراهیم تقی نژاد[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان

مسئول مقاله: ali.motevali62@yahoo.com

چکیده

روش‌ها و استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف برای خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌تواند بر شرایط، مقدار انرژی و پارمترهای کیفی محصول خشک‌شده تاثیرگذار باشد. اسمزی کردن نیز به عنوان یک پیش فرایند قبل از خشک کردن سبب کاهش میزان آب اولیه محصول شده و در نتیجه زمان فرایند خشک کردن کاهش می یابد. در پژوهش حاضر با استفاده از خشک‌کن مایکروویو، خشک‌شدن لایه‌های پیش‌تیمار شده سیب با پیش‌تیمار اسمزی (با غلظت ۴۰ و ۷۰٪ ساکاروز به مدت ۲ ساعت) در توان‌های ۱۸۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ وات انجام پذیرفت. نتایج حاصل از بررسی داده‌های مربوط به زمان خشک‌شدن نشان داد که بالاترین زمان و انرژی خشک‌شدن مربوط به پیش‌تیمار اسمزی ۴۰٪ ساکاروز و توان ۱۸۰وات و کمترین زمان خشک‌شدن و انرژی مصرفی مربوط به پیش‌تیمار اسمزی ۷۰٪ ساکاروز و توان ۶۰۰ وات می‌باشد. همچنین روند تغییرات رنگ با افزایش توان مایکروویو به صورت نزولی می‌باشد و با افزایش میزان غلظت پیش‌تیمار ساکاروز روند تغییرات رنگ به صورت صعودی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات رنگ، انرژی مصرفی، سیب، خشک‌کن مایکروویو

مقدمه

نگهداری مواد غذایی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده انسان می باشد. خشک کردن، نمک سود کردن و انجماد قدمتی هزاران ساله دارند. اما این روش های سنتی و بسیاری روش های دیگر که طی قرون اخیر ابداع شده و مورد استفاده قرار گرفته اند، همواره در حال تغییر، اصلاح و تکامل هستند. خشک کردن یکی از مهمترین روش های نگهداری مواد غذایی و یکی از مهمترین مراحل پس از برداشت محصولات کشاورزی به شمار می آید که باعث تسهیل در حمل و نقل (حجم کمتر مواد غذایی)، افزایش

قابلیت نگهداری و کاهش واکنش های شیمیایی و میکروبی (به دلیل کاهش فعالیت آبی محصول) می گردد. در سالهای اخیر، تلاش های گسترده ای در جایگزین نمودن روش های نوین با روش های متداول خشک کردن، که موجب بروز اثرات نامطلوب در فرآورده نهایی مانند کاهش کیفیت رنگ و بافت، از دست دادن عطر و طعم، کاهش دانسیته و از دست دادن مواد مغذی می شود، صورت گرفته است. این امر جزئی از تلاش پایان ناپذیر محققان و متخصصان در راه افزایش زمان ماندگاری و در عین حال ایجاد کمترین تغییر در بافت و مزه مواد غذایی می‌باشد. ظهور روش‌های نوین نظیر استفاده از پرتوها، فشار بالا، اولتراسوند، میدان های الکتریکی پالسی، مقاومت الکتریکی و غیره در واقع پاسخی به دل نگرانی های مصرف کنندگان در جهت حذف و یا کاهش استفاده از مواد شیمیایی و نیز حفظ ترکیبات طبیعی و با ارزش در مواد غذایی نظیر ویتامین ها در مقایسه با روش های حرارتی بوده است. استفاده از پیش‌تیمارها مانند پیش‌تیمار اسمزی یکی از این روشهاست. آبگیری اسمزی عبارت از خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی به وسیله تماس مستقیم آنها با یک محلول غلیظ مناسب مانند محلول های غلیظی از قندها، نمک ها یا مخلوط هایی از ان دو می باشد (Singh *et al*., 2007). در این فرآیند با قرار دادن مواد غذایی مانند میوه یا سبزی بصورت قطعه قطعه شده یا کامل در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول های ماده غذایی به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل نموده و به علت وجود گرادیان غلظت بین محلول اسمزی که دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتری و نیز مایعات داخل سلولی، نیروی محرک لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می شوند (Jayaraman *et al*., 1990; Singh *et al*., 2007). خشک کردن اسمزی یک فرایند مناسب برای حذف بخشی از رطوبت بافت سلولی مواد غذایی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها بدون تغییر فاز است و اغلب به عنوان یک فرایند پیش تیمار به کار می‌رود. اساس فرایند خشک کردن به روش اسمزی، قرار دادن قطعات مواد غذایی در یک محلول با فشار بالا می‌باشد. محلول هیپرتونیک شامل نمک، شکر، سوربیتول، گلیسرول و .. می‌باشد (Moura *et al*., 2005). دو دلیل عمده استفاده از پیش فرایند اسمزی پیش از خشک کردن، بهبود کیفیت و صرفه جویی در مصرف انرژی می باشد. علاوه بر کاهش زمان خشک شدن، این پیش فرایند، رنگ طبیعی میوه را (بدون افزودن تر کیبات ضد قهوه ای شدن) حفظ می نماید. همچنین به حفظ مواد معطر حین خشک کردن کمک می کند (Torreggianni and Bertolo, 2001).

فرآیند خشک‌کردن لایه‌های کیوی را در محلول های اسمزی قندی در دماها و زمان غوطه وری مختلف نشان داد که با افزایش غلظت محلول های اسمزی ، زمان و دمای خشک کردن محتوی رطوبت نمونه ها به طور معنی داری کاهش می یابد (Fathi *et al*., 2011). فرآیند خشک‌کردن پیاز با استفاده از محلول های نمکی نشان داد که با افزایش غلظت محلو ل های اسمزی میزان ازدست رفتن رطوبت و جذب ماده جامد افزایش می یابد و نمونه های اسمزی شده از لحاظ رنگ مقبولیت بیشتری داشتند (Patil *et al*., 2012). در پژوهش دیگر تاثیر ترکیبات اسمزی بر آبگیری اسمزی پاپایا نشان داد که فاکتور های ازدست رفتن رطوبت و جذب ماده جامد در محلول قندی ساکاروز بالا بود (El-Aouar *et al*., 2006). خشک کردن اسمزی همچنین سبب حفظ مواد معطر که یکی از مهمترین شاخص های کیفی میوه جات و سبزیجات می باشد، می گردد. خشک کردن اسمزی از افزایش الکل در

حین فرایند انجماد طالبی ممانعت می کند. این یافته بیانگر وجود طعم بهتر در محصولات فرایند شده با محلول های اسمزی در مقایسه با نمونه های بدون پیش فرایند است (Bignardi *et al*., 2000).

در کنار استفاده از عملیات پیش‌تیمار، محصول پیش‌تیمار شده باید به داخل خشک‌کن اصلی انتقال یابد و برای عملیات اصلی خشک‌کردن آماده سازی گردد. یکی از روش‌های سریع برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی استفاده از خشک‌کن مایکروویو است. خشک کردن محصولات غذایی با استفاده از مایکروویو می‌تواند جانشین مناسبی برای خشک کن های هوای گرم محسوب شود. فرایند خشک کردن با مایکروویو روشی نسبتا ارزان بوده که امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. طیف الکترومغناطیسی بین بسامدهای 300MHz و 300GHz نشان‌گر امواج مایکروویو است. برخلاف سیستم های گرمایشی رایج، امواج مایکروویو در ماده نفوذ کرده و گرمایش در سراسر محصول گسترش می یابد (Schiffman, 1992). به عبارت دیگر، در خشک‌کن مایکروویو انرژی الکترومغناطیسی مستقیما به انرژی جنبشی مولکول‌های آب تبدیل می‌شود. بنابراین، حرارت در داخل محصول تولید می‌شود و انتقال انرژی بوسیله موانع انتقال بویژه در مواد ویسکوز تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. نظر به اینکه امواج مایکروویو قادر به نفوذ به داخل ماده بوده و بدین ترتیب انرژی را ذخیره می‌کند لذا در این روش حرارت می‌تواند در سراسر حجم ماده تولید شود و ماده سریعتر خشک می شود. مطالعات زیادی در مورد خشک‌کردن محصولات کشاورزی با استفاده از مایکروویو مانند خشک‌کردن دانه‌ها (Adu and Otten, 1996; Walde *et al*., 2002)، خشک‌کردن سبزی‌جات (Litvin *et al*., 1998; Lin *et al*., 1998)، خشک‌کردن میوه‌جات (Funebo and Ohlsson, 1998) انجام شده است.

هر چند مطالعات زیادی در مورد خشک‌کردن محصولات مختلف با استفاده از مایکروویو وجود دارد اما مطالعات در مورد استفاده از پیش‌تیمار اسمز برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی در مایکروویو کم است و در مورد سیب انجام نشده است. هدف از اجـرای این پژوهش بررسی زمان، سینیتیک، آهنگ تبخیر خشک‌شدن و انرژی مصرفی و تغییرات رنگ سیب با استفاده از پیش‌تیمار اسمز و خشک‌کردن آن در خشک‌کن مایکروویو می‌باشد.

مواد و روش ها

برای انجام آزمایش‌ها سیب از بازار تهیه گردید. برای انجام فرآیند خشک‌کردن ابتدا سیب به قطعاتی با ضخامت ۱ سانتی‌متر برش داده شدند. در این پژوهش از محلول های اسمزی (۴۰٪ ساکارز)، (۷۰ ٪ ساکارز) به مدت ۲ ساعت در دمای ثابت ۲۴ درجه سلسیوس در حالت استاتیک استفاده گردید. ورقه‌های سیب بلافاصله پس از برش جهت اعمال تیمار اسمز در محلوط ساکارز به مدت ۲ ساعت قرار داده شدند و پس از اعمال پیش‌تیمار نمونه‌ها به داخل مایکروویو منتقل شده و عملیات خشک‌شدن با استفاده از

مایکروویو در توان‌های ۱۸۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ وات انجام گردید. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی[1] با دقت ۰/۰۱ ثبت گردید.

جهت بررسی سینیتیک فرآیند خشک شدن، ابتدا پارامتر نسبت رطوبت در طی خشک شدن سیب با استفاده از معادله زیـر محاسـبه گردید:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \qquad (۱)$$

MR: نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t: رطوبت نمونه‌ها در هرلحظه بر پایه خشک (d.b)، M_e: رطوبت تعادلی نمونه‌ها (d.b) و M_0: رطوبت اولیه نمونه‌ها (d.b) می‌باشند. با توجه به رابطه۱، نسبت رطوبت به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه‌ها در هرلحظه در طی خشک شدن وابسته است. برای زمان‌های طولانی خشک شدن، مقادیر M_e در مقایسه با مقادیر M_o و M_t بسیار کوچک می‌باشد. بنابراین می‌توان معادله نسبت رطوبت در طی خشک شدن را به‌صورت رابطه ۲ ساده نمود.

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \qquad (۲)$$

آهنگ تبخیر برای برش‌های نازک سیب نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$DR = \frac{MC_{t+dt} - MC_t}{dt} \qquad (۳)$$

که در آن DR آهنگ تبخیر (گرم بر دقیقه)، MC_{t+dt} محتوای رطوبت در زمان t+dt (گرم)، MC_t محتوای رطوبت در زمان t (گرم) ، dt فاصله زمانی بین وزن کردن نمونه‌ها (ثانیه) است. از آنجایی که آهنگ تبخیر در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت افزایش می یابد و به یک نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است می‌رسد و بعد از آن با گذشت زمان آهنگ تبخیر بطور مدوام کاهش می یابد. لذا این ویژگی آهنگ تبخیر را می‌توان توسط رابطه (۳) بیان کرد.

انرژی مصرفی در مایکروویو

انرژی مصرفی در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از رابطه ۴ بدست می‌آید:

$$E_t = P \times t \qquad (۴)$$

[1] - Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)

که در آن E_t کل انرژی مصرفی در هر دوره خشک‌شدن (kW.h)، P توان خروجی مایکروویو (kW) و t مدت زمان خشک‌شدن (ساعت) می‌باشد (Ozkan *et al*., 2007).

تغییرات رنگ

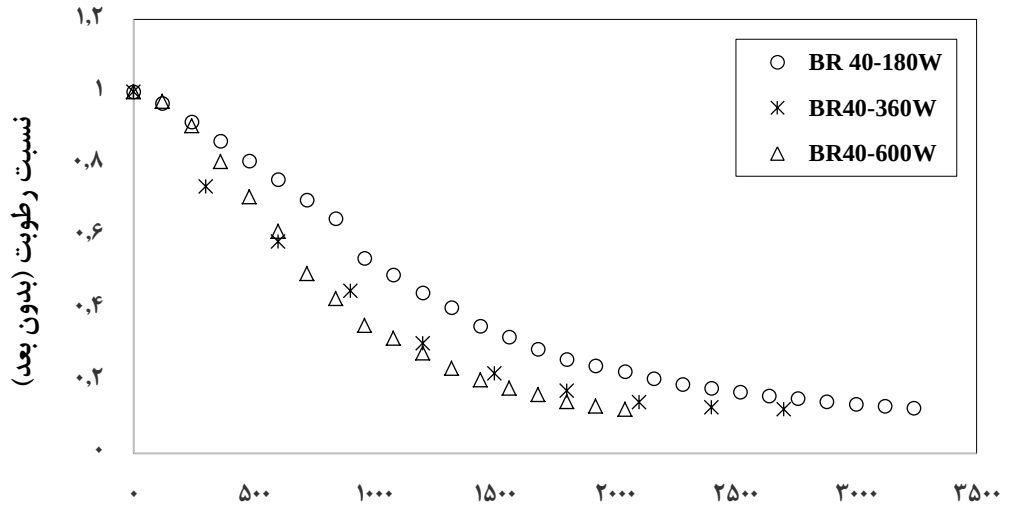
برای مقایسه‌ی رنگ، تغییرات رنگ (ΔE) با استفاده از سه فاکتور میزان قهوه‌ای بودن (L^*)، میزان سبز بودن (a^*) و میزان زرد بودن (b^*) بدست آورده شد. میزان رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از خشک شدن هر سری از نمونه‌ها به وسیله دستگاه رنگ سنج بر حسب پارامترهای مدل RGB (میزان قرمز، سبز و آبی بودن) به دست آمد. تغییرات کلی رنگ (ΔE) نمونه‌ها با استفاده از رابطهٔ ۵ بر حسب پارامترهای رنگی $L^*a^*b^*$ محاسبه شد.

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_0^* - L_t^*\right)^2 + \left(a_0^* - a_t^*\right)^2 + \left(b_0^* - b_t^*\right)^2} \quad (۵)$$

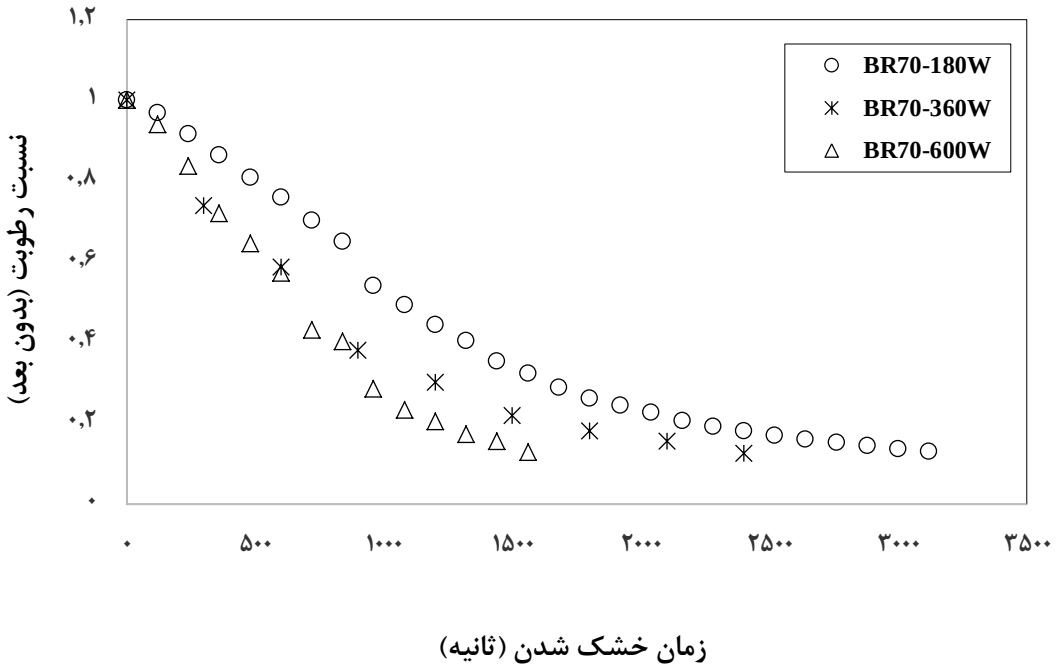
در این رابطه L_0^*, a_0^*, b_0^* مقادیر اولیه پارامترهای رنگی و L_t^*, a_t^*, b_t^* مقادیر پارامترهای رنگی لایه‌های سیب پس از خشک شدن می‌باشند.

نتایج و بحث

شکل ۱ روند خشک شدن لایه‌های سیب را در توان‌های مختلف و با غلظت بریکس ۴۰٪ و شکل ۲ روند خشک شدن لایه های سیب را در بریکس ۷۰٪ نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۱ مشخص است با افزایش توان مایکروویو سرعت فرآیند خشک‌شدن افزایش می‌یابد که دلیل این امر می‌تواند تاثیر مدت زمان بیشتر امواج مایکروویو بر محصول در حال خشک‌شدن باشد و دمای محصول را بالا برده و در نتیجه سرعت خروج رطوبت از محصول افزایش می‌یابد. از طرف دیگر همین نتیجه در شکل ۲ نیز بدست آمد. با مقایسه شکل ۱ و ۲ می‌توان تاثیرات پیش‌تیمار اسمزی را بر فرآیند خشک‌کردن بررسی نمود و می‌توان نتیجه گرفت با افزایش غلظت در پیش‌تیمار اسمز، مدت زمان خشک‌شدن کاهش می یابد. استفاده از پیش تیمار اسمزی قبل از خشک کردن می تواند سرعت خشک شدن را افزایش و زمان آن را کاهش دهد که دلیل این امر خروج سریع تر آب از میوه جات به دلیل تاثیر محلول های مورد استفاده روی ساختار بافت محصول و همچنین میزان رطوبت از دست رفته در طول فرآیند پیش‌تیمار باشد. از آنجا که در غلظت بالاتر ، گرادیان غلظت بین محلول اسمزی و مایعات داخل سلولی بسیار بالا بوده و نیروی محرک لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی در غلظت بالاتر با شدت بیشتری انجام می‌گردد.



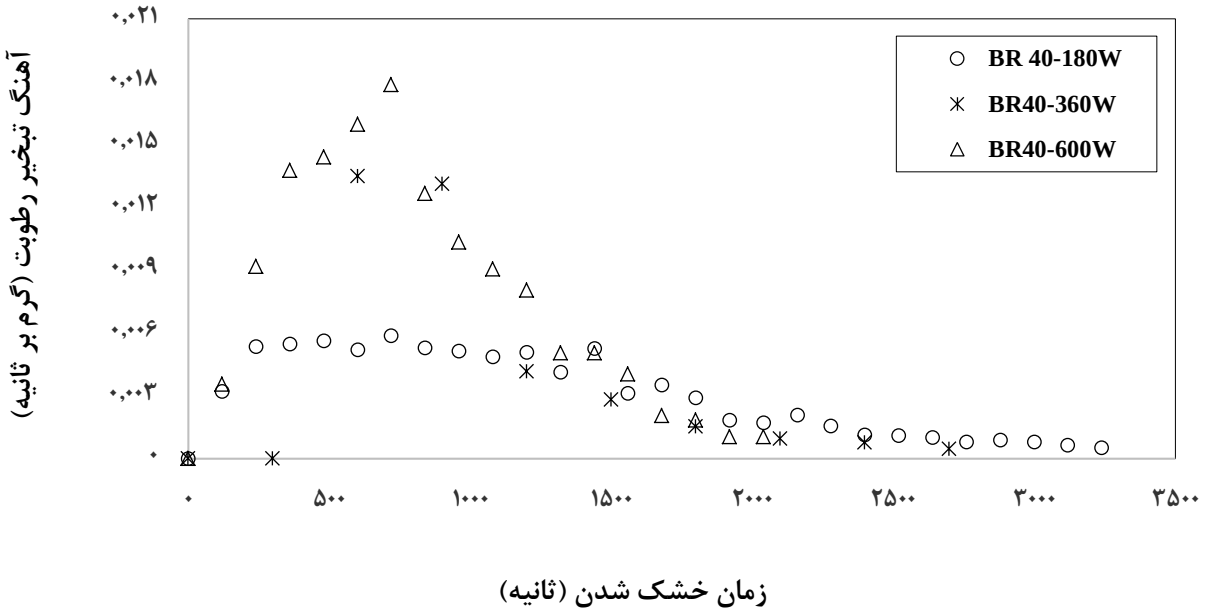
شکل ۱: روند تغییرات نسبت رطوبت در توان‌های مختلف مایکروویو با استفاده از غلظت ٤٠٪ ساکاروز



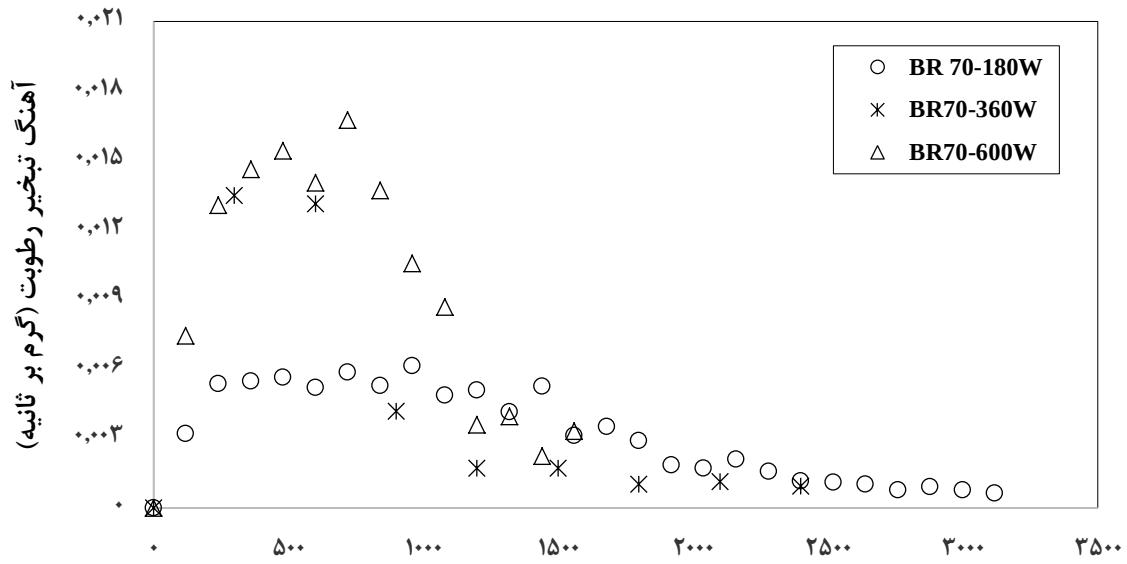
شکل ۲: روند تغییرات نسبت رطوبت در توان‌های مختلف مایکروویو با استفاده از غلظت ۷۰٪ ساکاروز

با مقایسه اشکال ۳ و ۴ می‌توان دریافت که آهنگ خروج رطوبت در با افزایش توان مایکروویو افزایش می‌یابد به طوری که بالاترین میزان آهنگ تبخیر رطوبت در هر دو پیش‌تیمار ۴۰ و ۷۰٪ ساکاروز در توان ۶۰۰ وات و پایین‌ترین میزان آهنگ تیخیر

رطوبت در هر دو پیش‌تیمار مربوط به توان ۱۸۰ وات می باشد. همچنین با مقایسه شکل ۳ و ۴ می‌توان دریافت که با افزایش میزان غلظت ساکاروز آهنگ تیخیر رطوبت افزایش یافته و محول رطوبت خود را با سرعت بیشتری از دست می‌دهد. دلیل این امر را می‌توان کاهش فشار اسمزی در غلظت ۴۰٪ ساکاروز نسبت به غلظت ۷۰٪ ساکاروز دانست که عامل مهم آبگیری در این فرایند محسوب می‌گردد. افزایش غلظت غوطه‌وری (غلظت بیشتر پیش‌تیمار) سبب افزایش جذب مواد جامد بیشتر توسط قطعات سیب می‌گردد و همزمان میزان کاهش آب نمونه‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که تاثیر توان مایکروویو نسبت به پیش-تیمار اسمزی در فرآیند خشک‌شدن و آهنگ تبخیر رطوبت میوه سیب بیشتر می‌باشد.



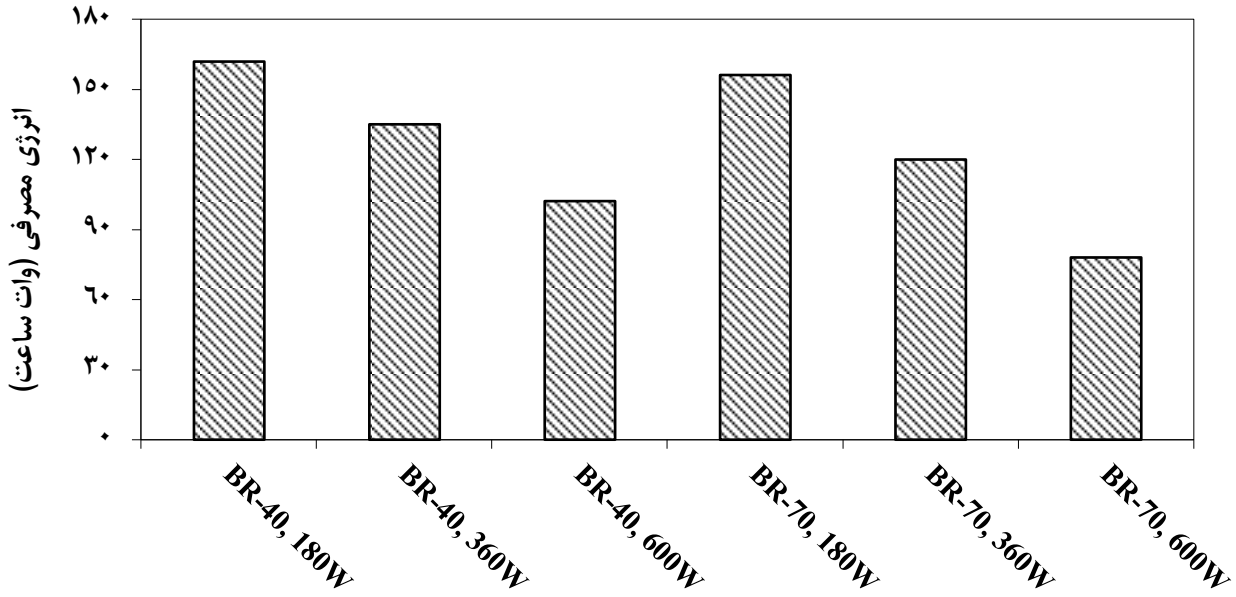
شکل۳: روند تغییرات آهنگ تبخیر رطوبت در توان‌های مختلف مایکروویو با استفاده از غلظت ٤٠٪ ساکاروز



شکل٤: روند تغییرات آهنگ تبخیر رطوبت در توان‌های مختلف مایکروویو با استفاده از غلظت ۷۰٪ ساکاروز

یکی از عوامل بسیار مهم در طراحی و ارزیابی خشک کن ها میزان انرژی مصرفی است. خشک کردن به روش مایکروویو یکی از روش های ارزان می باشد و انرژی کمتری را نسبت به بقیه خشک کن ها مصرف می کند. با توجه به شکل ۵ با افزایش توان مایکروویو، میزان دو قطبی شدن در مولکول‌های سیب افزایش یافته و دمای محصول در حال خشک‌شدن افزایش می‌یابد و این افزایش دما در محصول سبب انتقال جرم بیشتری می‌گردد و در نتیجه مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

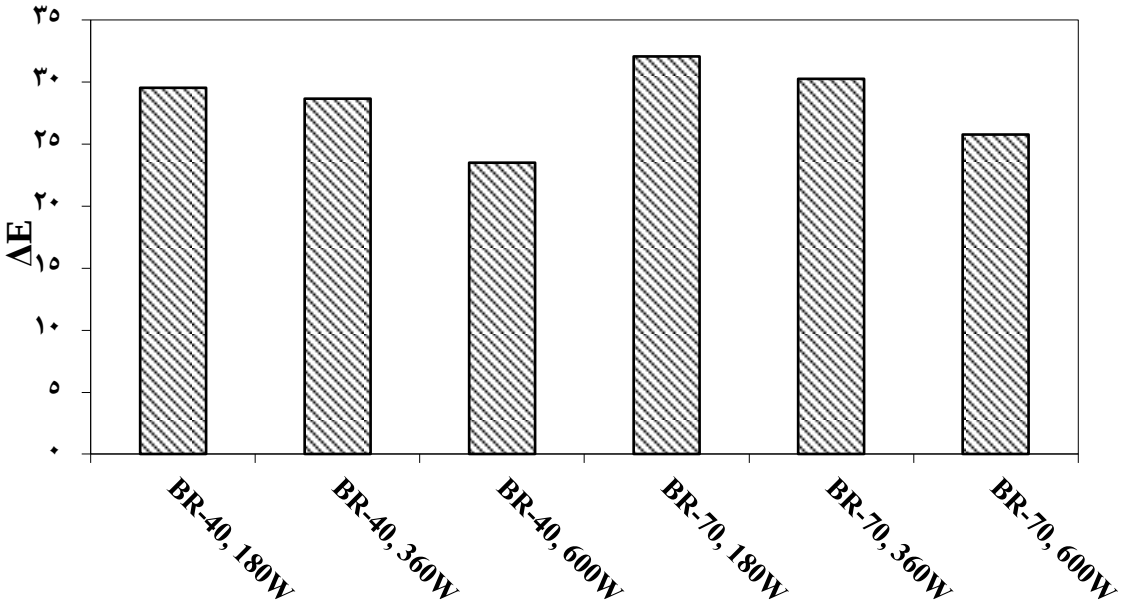
از طرف دیگر با مقایسه روند تغییرات انرژی مصرفی با استفاده از پیش‌تیمارها با غلظت‌های مختلف می‌توان دریافت که به علت خروج سریعتر رطوبت از سیب‌هایی که با پیش‌تیمار ۷۰٪ ساکاروز آبگیری شدند نسبت به سیب‌هایی که با پیش‌تیمار ۴۰٪ ساکاروز آبگیری شدند، کمتر می باشد و دلیل این امر می تواند کاهش زمان خشک‌شدن و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک‌شدن باشد. نتایج مشابهی در بررسی انرژی ویژه مصرفی فرآیند خشک‌کردن و انرژی مصرفی غده‌های سیر در خشک‌کن مایکروویو نشان داد که توان مایکروویو می‌تواند تاثیر زیادی در فرآیند خشک‌کردن (سرعت خشک‌کردن) و انرژی مصرفی باشد (Sharma and Prasad, 2004).



شکل۵: روند تغییرات انرژی مصرفی در توان‌های مختلف مایکروویو و پیش‌تیمارها با غلظت‌های مختلف ساکاروز

تغییرات رنگ یکی از مهمترین فاکتور های کیفی در محصولات خشک شده می باشد. باید توجه داشت باید روش‌ها، دماها و یا پیش‌تیمارهیی را استفاده نمود که کمترین تغییرات رنگی را در فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی داشته باشد. نتایج تغییرات رنگ در تیمارهای مختلف و توان‌های مختلف مایکروویو در شکل ۶ آورده شده است. در فرآیندهای حرارتی مواد غذایی، تعدادی واکنش شیمیایی رخ می‌دهد که یکی از شناخته شده‌ترین آنها واکنش میلارد که عامل قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی است. واکنش میلارد شامل واکنش یک آلدهید و آمین (معمولاً یک پروتئین یا آمینو اسید) می‌باشد و بسیار وابسته به دما است. با بررسی شکل ۶ می توان دریافت که با افزایش توان مایکروویو میزان تغییرات رنگی کاهش می‌یابد که یکی از دلایل مهم آن کاهش زمان خشک‌شدن محصول و ماندگاری کمتر در فضای خشک‌کن می‌باشد. با این روش محصول در مدت زمان طولانی در دماهای بالا قرار نخواهد گرفت که به این ترتیب از واکنش‌های شدید شیمیایی و تغییر رنگ زیاد لایه‌های سیب جلوگیری می‌شود، لذا تغییرات کلی رنگ کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش میزان غلظت ساکاروز به منظور انجام عملیات پیش‌تیمار از ۴۰ به

۷۰٪ تغییرات رنگی نیز شدیدتر می باشد که دلیل این امر می‌تواند جذب بیشتر مواد جامد توسط لایه‌های سیب در غلظت بالاتر پیش‌تیمار اسمزی باشد.



شکل۵: روند تغییرات انرژی مصرفی در توان‌های مختلف مایکروویو و پیش‌تیمارها با غلظت‌های مختلف ساکاروز

نتیجه‌گیری

رفتار خشک‌شدن لایه‌های سیب به صورت لایه نازک در خشک‌کن مایکروویو در توان‌های (۱۸۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ وات) با استفاده از پیش‌تیمار اسمزی بررسی شد. توان خروجی در خشک‌کن مایکروویو و غلظت ساکاروز در فرآیند پیش‌تیمار عامل مهمی در زمان خشک شدن لایه‌های سیب بود. نتایج نشان داد که با افزایش توان خروجی مایکروویو روند تغییرات زمان خشک‌شدن نزولی می‌باشد اما با افزایش غلظت پیش‌تیمار اسمزی این روند صعودی می‌باشد. آهنگ تبخیر رطوبت، میزان انرژی مصرفی و تغییرات رنگ با افزایش توان خروجی مایکروویو روند نزولی داشته و با کاهش توان خروجی مایکروویو این پارامترها روند نزولی داشتند. از طرف دیگر با افزایش غلظت پیش‌تیمار اسمز از ۴۰٪ به ۷۰٪ روند تغییرات انرژی مصرفی و زمان خشک‌شدن به صورت نزولی ولی آهنگ تبخیر رطوبت و تغییرات رنگ به صورت صعودی بود.

منابع

Adu B, Otten L. 1996. Diffusion characteristics of white beans during microwave drying. Journal of Agricultural Engineering Research, 64(1), 61–69.

Bignardi B, Lupi D, Lo Scalzo R, Maestrelli A, Torreggiani D. 2000. Partial removal of water before freezing to obtain high quality frozen cantalpup melon balls. In Poster presented final congress" osmotic treatment in food processing" EU_FAIR concerted action CT961118" Improvement of overall food quality by application of osmotic treatments in conventional and new process", Karlsruge, Germany, 23-24, June 2000.

El-Aouar AA, Azoubel PM, Barbosa JL, and Murr FEX. 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (Carica papaya L.). Journal of Food Engineering, 75(2), 267-274.

Fathi M, Mohebbi,M, Razavi SMA. 2011. Effect of Osmotic Dehydration and Air Drying on Physicochemical Properties of Dried Kiwi fruit and Modeling of Dehydration Process Using Neural Network and Genetic Algorithm. Food Bioprocess Technology 4:1519–1526.

Funebo T, Ohlsson T. 1998. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. Journal of Food Engineering 38, 353–367.

Jayaraman KS. 1990. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. International Journal of Food Science and Technology. 25, 47-60.

Lin T M, Durance T D, Seaman C H. 1998. Characterization of vacuum microwave air and freeze dried carrot slices. Food Research International, 4, 111–117.

Litvin S, Mannheim C H, Miltz J. 1998. Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying. Journal of Food Engineering, 36, 103–111.

Moura C, Masson M, Yamamoto C. 2005. Effect of osmotic dehydration in the apple (Pyrus- malus) varieties Gala, Gold and Fuji. Revista de EngenhariaTérmica, 4: 46-49.

Ozkan A, Akbudak B, Akbudak N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. Journal of Food Engineering 78: 577–583.

Patil MM, Kalse SB, Jain SK. 2012. Osmo-Convective Drying of Onion Slices. Research Journal of Recent Sciences .1(1), 51-59.

Schiffman RF, 1992. Microwave processing in the U.S. food industry. Food Technology, 50–52: 56

Sharma G.P, Prasad S. 2004. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. Journal of Food Engineering, 65: 609-617.

Singh B, Kumar A, Gupta AK. 2007. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. Journal of Food Engineering 79, 471-480.

Torreggianni D, Bertolo G. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. Journal of Food Engineering, 49: 247-253.

Walde S G, Balaswamy K, Velu V, Rao D G. 2002. Microwave drying and grinding characteristics of wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Food Engineering 55, 271–276.