تاثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر انرژی مصرفی در خشک‌کردن لایه نازک دانه انار

سعید مینایی[۲]- علی متولی[۱]- محمد هادی موحدنژاد[۳]- سارا غریبی[٤]

۱- **دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- دانشیار ۳- دانشجوی دکترا** گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

٤- **دانشجوی کارشناسی ارشد** گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و برنامه ریزی دانشگاه الزهرا

Sminaee@gmail.com

چکیده

تحلیل انرژی می‌تواند به عنوان یک ابزار لازم برای طراحی، آنالیز و بهینه‌سازی سامانه گرمایی بکار رود. در این پژوهش به تحلیل انرژی مصرفی در خشک‌کردن لایه نازک دانه انار ترش با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو می‌پردازد. آزمایشات در سه تیمار شاهد و پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات و پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات و سه سطح دمایی (۵۰، ٦۰و ۷۰ درجه سلسیوس) در سه سطح سرعت باد (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) انجام شد. انرژی مصرفی و نسبت انرژی مصرفی با افزایش زمان افزایش یافت. با انجام پیش‌تیمار مایکروویو(۲۰۰ وات)، انرژی مصرفی و زمان خشک‌شدن نسبت به تیمارهای دیگر به طور قابل توجهی کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی، خشک‌کردن لایه نازک، پیش‌تیمار مایکروویو، دانه انار

مقدمه

فرایند خشک کردن یکی از بهترین راه های نگهداری میوه ها از جمله انار محسوب می شود. در طی خشک کردن آب از ماده غذایی خارج شده و در نتیجه امکان رشد میکروارگانیسم ها و ایجاد واکنش های شیمیایی نامطلوب به حداقل رسیده و ماندگاری ماده افزایش می یابد (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado 1996). مدلهای ریاضی خشک کردن لایه نازک یا مدل‌سازی ریاضی اطلاعات کمی درباره آنالیز انرژی واحد خشک کن می دهندو بنابراین غیر قابل کاربرد برای طراحی و بهینه سازی می باشند. تحلیل ترمودینامیکی به عنوان یک ابزار لازم جهت طراحی سیستم، آنالیز و بهینه سازی سیستم گرمایی بکار می‌رود (Aghabashlo et al., 2009; Corzo et al., 2008; Akpinar, 2004).

آکپینارو همکاران (۲۰۰٤)، به تحلیل انرژی مفید و تلف شده در فرایند خشک‌شدن ورقه‌های نازک فلفل پرداختند. آزمایشات آنها در سه سطح دمایی ۵۵، ٦۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه انجام شد. انرژی مفید در محدوده ۱۸۹.۹٤۹ تا ۳۷۳۲.۹٦۱ ژول بر ثانیه در مدت ۱۸۰۰۰ تا ۹٦۰۰ ثانیه (وابسته به دمای هوای خشک‌کردن) تغییر کرد. آکپینار و همکاران (۲۰۰۵)، به محاسبه انرژی در فرآیند خشک‌کردن ورقه‌های نازک سیب‌زمینی پرداختند. آزمایشات خشک‌شدن در سه دمای ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰ تا ۲۰ درصد و سرعت هوای ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه

به مدت ۱۰ تا ۱۲ ساعت انجام شد. در این آزمایشات تلفات انرژی بین صفر تا ۱/۷۹۶ کیلوژول بر ثانیه محاسبه شد. میدیلی و کوچاک (۲۰۰۳) انرژی خشک شدن پسته در خشک کن خورشیدی را مطالعه کردند. آنها از پسته های پوست کنده و دست نخورده در آزمایشات‌شان استفاده کردند و نتیجه گرفتند که ساختار و محتوی رطوبتی عامل مهمی در افزایش مصرف انرژی و کاهش تلفات می باشد.

اکپینار (۲۰۰٤) انرژی برای خشک شدن ورقه های فلفل قرمز را در یک خشک کن آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد. او گزارش کرد که با افزایش دما مصرف انرژی و نسبت مصرف انرژی افزایش پیدا می‌کند در حالیکه با گذشت زمان مصرف انرژی و نسبت مصرف انرژی کاهش پیدا می کند.

مواد و روش‌ها

انار ترش تازه از شهرستان جویبار، استان مازندران تهیه شد و برای انجام آزمایشات در یخچال در دمای ۵+ درجه سلسیوس نگهداری شد. میزان رطوبت اولیه دانه‌های انار به روش گراویتیک (خشک کردن در آون) با استفاده از ۵ تکرار بدست آمد. نتایج نشان داد که میزان رطوبت اولیه (۳۳۱٪) بر پایه خشک می باشد (Doymaz, 2005)

آزمایشات در سه سطح دمایی ۵۰، ٦۰، ۷۰ درجه سلسیوس و در سه سطح سرعت هوای گرم ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ متر بر ثانیه و در سه تیمار مختلف شاهد، پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات به مدت ۲۰ دقیقه و پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. در این آزمایشات برای اندازه‌گیری و تنظیم دما از ترمومتر (Lutron, TM-925, Taiwan)، برای تنظیمات سرعت باد از(Anemometer, Lutron-YK,80AM, Taiwan)، برای اندازه‌گیری فشار محیط از فشارسنج (PVR 0606A81,Italy)، برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی از رطوبت‌سنج (Testo 650)، برای انجام عملیات پیش-تیمار دانه‌های انار از مایکروویو (SAMSUNG, 75DK300036V, model: M945, Korea) و برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دارای دقت ۰/۰۰۱ گرم (Sarturius, TE214S, AG Germany) استفاده شد.

میزان مصرف انرژی در خشک کن در هر لحظه مشخص می تواند از طریق قانون بقای انرژی محاسبه شود.

$$EU = \dot{m}_{ai} h_{ai} - \dot{m}_{ao} h_{ao} \qquad (۱)$$

در این معادله EU میزان مصرف انرژی (kJ/s)، $\dot{m}_{ai}$ میزان دبی هوای ورودی (kg/s)، h_{ai} آنتالپی هوای ورودی (kJ/kg)، $\dot{m}_{ai}$ میزان دبی هوای خروجی (kg/s)، h_{ao} آنتالپی هوای خروجی (kJ/kg) می‌باشد (Corzo et al., 2008).

محاسبه دبی هوای ورودی و خروجی

دبی هوای ورودی می تواند از طریق رابطه ۲ بدست می‌آید (Ceylan et al., 2007).

$$\dot{m}_a = \rho_a V_a A_{dc} \qquad (۲)$$

که در آن ρ_a چگالی هوا (kg/m^3)، V_a سرعت هوای ورودی (m/s) و A_{dc} سطح مقطع محفظه خشک کننده می باشد. هوای ورودی بطور کامل از سطح مقطع خشک کن عبور می کند و طبق قانون بقای جرم دبی هوای خروجی برابر با دبی هوای ورودی در نظر گرفته شده است.

$$\dot{m}_{ai} = \dot{m}_{ao} \qquad (۳)$$

محاسبه آنتالپی هوای ورودی یا خروجی

آنتالپی هوای ورودی یا خروجی برابر است با آنتالپی هوای خشک بعلاوه آنتالپی بخار آب (Corzo et al., 2008).

$$h_a = C_a(T_a - T_\infty) + h_{fg} w \qquad (٤)$$

که در آن h_a آنتالپی هوای ورودی یا خروجی (kJ/kg)، C_a گرمای ویژه هوای ورودی یا خروجی (kJ/kg^oC)، T_a دمای هوای ورودی یا خروجی (^oC)، T_∞ دمای محیط(^oC)، h_{fg} گرمای نهان تبخیر آب (kJ/kg) و w نسبت رطوبت (کیلو گرم آب به کیلوگرم هوای خشک) می باشد.

محاسبه گرمای ویژه هوا

گرمایی ویژه هوا می‌تواند از طریق رابطه ۵ محاسبه شود که عدد ۱/۰۰٤ گرمایی ویژه هوای بدون رطوبت می‌باشد. (Aghabashlo et al., 2009)

$$C_a = 1.004 + 1.88w \qquad (٥)$$

تبدیل رطوبت نسبی به نسبت رطوبت

در طول اجرای آزمایشات، رطوبت نسبی هوا از طریق رابطه زیر به نسبت رطوبت قابل تبدیل است (Corzo et al., 2008; Aghabashlo et al., 2009).

$$w = 0.622 \frac{\varphi P_{vs}}{P - \varphi P_{vs}} \qquad (٦)$$

در این معادله φ رطوبت نسبی، P فشار هوا (kPa) و P_{vs} فشار بخار اشباع (kPa) می باشد. با استفاده از نمودار سایکرمتری نیز می توان رطوبت نسبی را به نسبت رطوبت تبدیل کرد.

محاسبه نسبت مصرف انرژی

نسبت انرژی مصرف شده به انرژی مهیا شده در محفظه خشک کن نسبت مصرف انرژی گفته می شود. نسبت مصرف انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است (Corzo et al., 2008)

$$EUR = \frac{\dot{m}_{ai} h_{ai} - \dot{m}_{ao} h_{ao}}{\dot{m}_{ai}(h_{ai} - h_\infty)} \qquad (٧)$$

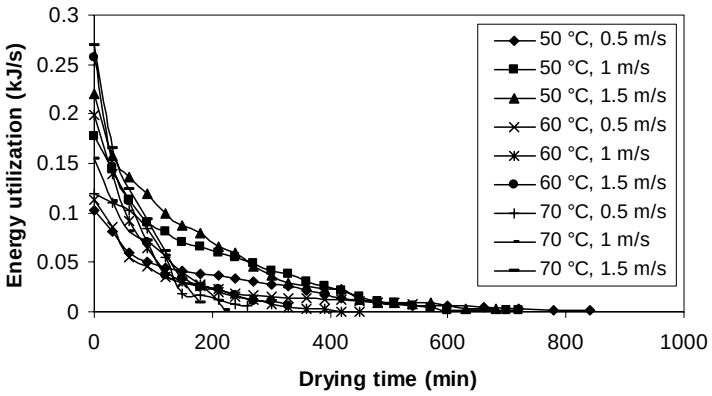
که در آن h_∞ آنتالپی هوای محیط (kJ/kg) می باشد.

نتایج و بحث

شکل۱ میزان انرژی مصرفی را در طی خشک‌کردن دانه انار شاهد نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل‌ها پیداست میزان انرژی مصرفی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در ابتدای مرحله خشک شدن انرژی مصرفی در بالاترین مقدار خود قرار دارد در حالی که با گذشت زمان مقدار آن رو به کاهش می‌گذارد به طوری که در مراحل پایانی خشک‌شدن دارای کمترین مقدار است. دلیل این امر آن است که در ابتدای مرحله خشک شدن میزان رطوبت جابه‌جا شده توسط سرعت باد بیشتر از مراحل بعد بوده به گونه‌ای که در مراحل پایانی رطوبت بسیار کمی از محصول خارج می‌شود.این مشاهدات مصرف انرژی شبیه به انرژی مصرفی خشک کردن تکه‌های سیب با خشک‌کن جریان همرفتی (Akpinar, 2004) ، خشک کردن تکه‌های سیب-

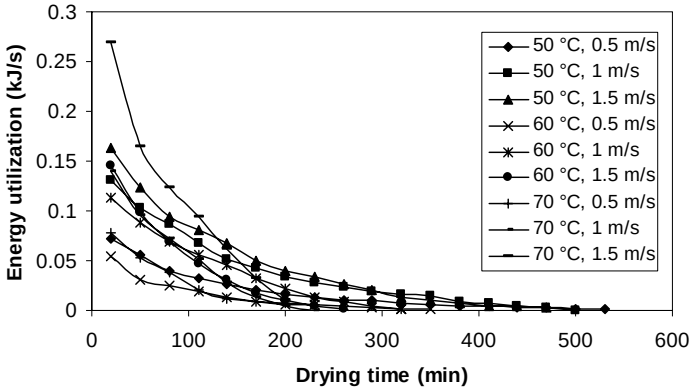
زمینی و کدو با خشک‌کن سلیکون (Akpinar et al., 2006 ، Akpinar et al., 2005) و تحلیل انرژی و اکسرژی در خشک‌کردن لایه نازک تکه‌های کروبا (Corzo et al., 2008) می‌باشد.

افزایش دما و دبی هوای ورودی، میزان مصرف انرژی را افزایش می‌دهد. افزایش دمای هوا و دبی هوای ورودی، آنتالپی هوای ورودی را افزایش داده، افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت را افزایش می دهد. در نتیجه مصرف انرژی افزایش پیدا می‌کند. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در خشک‌کردن انار شاهد به میزان ۰/۲۶۹۲۰۵ کیلوژول بر ثانیه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه و کمترین میزان انرژی مصرفی در دمای ۵۰ درجه و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۱۰۱۸۷۹ کیلوژول بر ثانیه محاسبه شد.



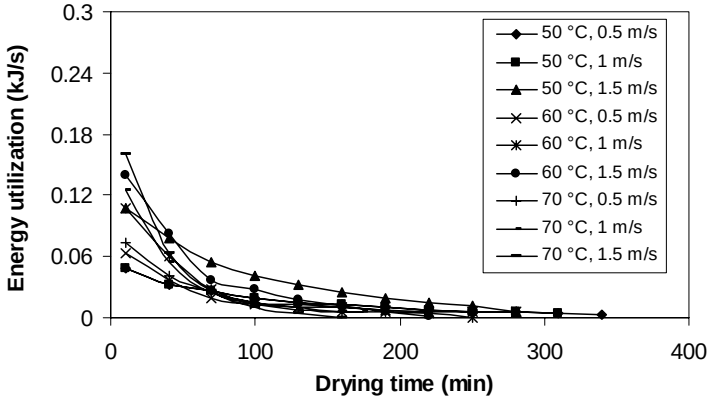
شکل۱. تاثیر دما و سرعت ورودی بر انرژی مصرفی در تیمار شاهد

شکل ۲ میزان انرژی مصرفی را در طی زمان خشک کردن دانه انار با استفاده از پیش تیمار مایکروویو (توان ۱۰۰ وات به مدت ۲۰ دقیقه) نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان انرژی مصرفی در این روش نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. علت این امر آن است که در اثر پیش تیمار به وسیله مایکروویو رطوبت قابل توجهی در محیط مایکروویو از دست می‌رود و آب آزاد درون محصول بر اثر این پیش تیمار از آن خارج می‌شود. از سوی دیگر افزایش دما و سرعت هوای ورودی، میزان مصرف انرژی را افزایش می‌دهد. این روند مانند روند مصرف انرژی در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در خشک‌کردن انار با استفاده از پیش تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات به میزان ۰/۲۶۹ کیلوژول بر ثانیه در دمای ۷۰ درجه در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه بدست آمد، در حالی که و کمترین میزان انرژی مصرفی در دمای ۵۰ درجه و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۰۷۱ کیلوژول بر ثانیه محاسبه شد.



شکل۲. تاثیر دما و سرعت هوای ورودی بر انرژی مصرفی با پیش‌تیمار ۱۰۰ وات

شکل ۳ میزان انرژی مصرفی در طی زمان خشک کردن دانه انار با پیش تیمار مایکروویو (توان ۲۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه) نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان انرژی مصرفی با استفاده از این روش نسبت به تیمار شاهد و استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ کاهش یافته است. علت آن است که در اثر پیش تیمار۲۰۰ وات به وسیله مایکروویو میزان رطوبت بیشتری نسبت به دو تیمار قبلی در محیط مایکروویو از دست می‌رود. از سوی دیگر افزایش دما و سرعت هوای ورودی، نیز مانند دو تیمار قبلی میزان مصرف انرژی را افزایش می‌دهد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی در خشک‌کردن انار با پیش تیمار ۲۰۰ وات به میزان ۰/۱۶۰ کیلوژول بر ثانیه در دمای ۷۰ درجه در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه و کمترین میزان انرژی مصرفی در دمای ۵۰ درجه و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۰۴۸ کیلوژول بر ثانیه محاسبه شد. این مشاهدات برای انرژی مصرفی با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو شبیه به مصرف انرژی تیمار شاهد بود. در زمینه انرژی مصرفی با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو گزارشی برای مقایسه یافت نشد.



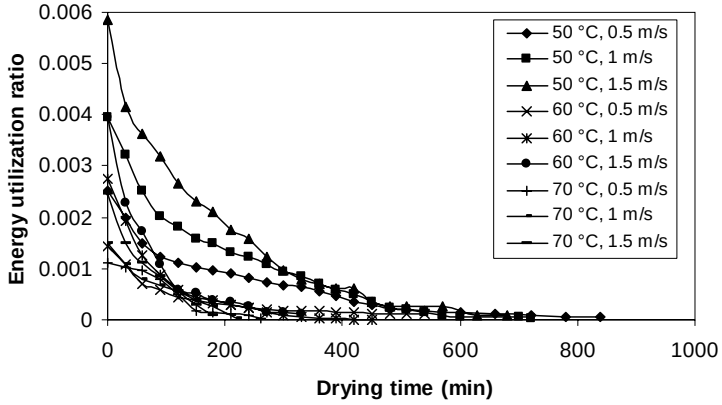
شکل ۳. تاثیر دما و سرعت هوای ورودی بر انرژی مصرفی با پیش‌تیمار ۲۰۰ وات

با مقایسه میزان انرژی در سه تیمار شاهد و مایکروویو با توان ۱۰۰ وات و مایکروویو با توان ۲۰۰ وات می‌توان نتیجه گرفت که با انجام پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه، میزان انرژی مصرفی و زمان خشک‌شدن نسبت به تیمارهای دیگر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. از آنجا که انرژی مصرفی تابع عوامل مختلفی مانند سرعت هوای ورودی، دمای محیط، گرمای نهان تبخیرآب، گرمای ویژه هوا و دمای هوای خروجی می‌باشد، تقریبا تمام عوامل ذکر شده به جز دمای هوای خروجی در سه تیمار مختلف به یکدیگر نزدیک می‌باشند. اما دمای هوای خروجی در تیمار مایکروویو

با توان ۲۰۰ وات نسبت به بقیه تیمارها بالاتر است. دلیل این امر آن است که مایکروویو با توان ۲۰۰ وات دمای نمونه آزمایشی را نسبت به تیمار شاهد و تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات بالاتر می‌برد. لذا نمونه پس از انتقال از محیط مایکروویو به محیط خشک‌کن دارای دمای بالاتر بوده و در نتیجه دمای خروجی از محیط خشک‌کن نیز بالاتر است. از این رو دمای خروجی از محیط خشک‌کن به دمای ورودی نزدیک بوده و در نتیجه میزان انرژی مصرفی در مقایسه با تیمار شاهد و مایکروویو با توان ۱۰۰ وات کاهش می‌یابد.

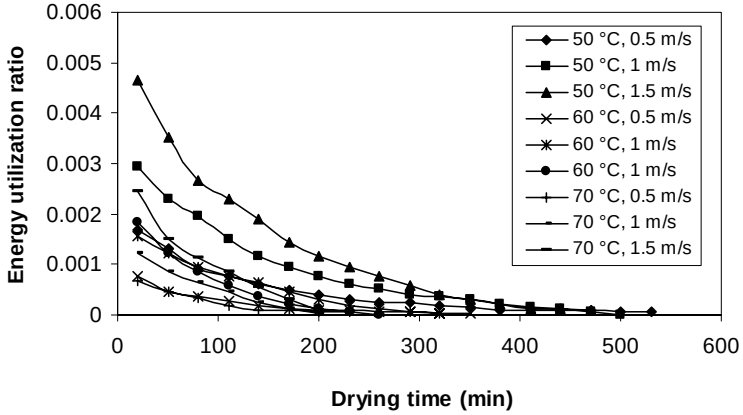
نسبت انرژی مصرفی

شکل ٤ نسبت انرژی مصرفی در برابر مدت زمان خشک شدن را در دما و سرعت‌های مختلف هوا نشان می‌دهد. با گذشت زمان میزان نسبت انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. نسبت انرژی مصرفی با استفاده از معادله (۷) بدست می‌آید. صورت معادله(۷) میزان انرژی مصرفی در طی زمان می‌باشد و از آنجا که انرژی مصرفی در طی زمان کاهش می‌یابد در نتیجه میزان نسبت انرژی مصرفی نیز کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار نسبت انرژی مصرفی در خشک‌کردن انار شاهد به میزان ۰/۰۰۵۸۵۹ در دمای ۵۰درجه در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه و کمترین میزان انرژی مصرفی در دمای ۷۰ درجه و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۰۰۱۱۲۲٦ محاسبه شد.نتایج بدست آمده مشابه نتایج بدست آمده در خشک کردن تکه‌های کدو با خشک‌کن سلیکون (Akpinar et al., 2005) است.



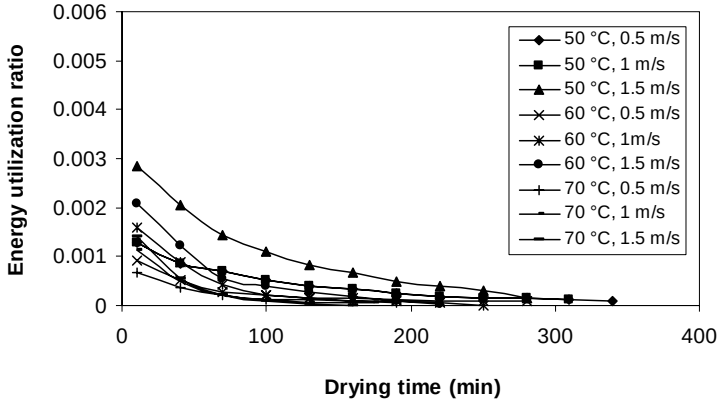
شکل٤. تاثیر دما و سرعت هوای ورودی روی نسبت انرژی مصرفی در تیمار شاهد

نسبت انرژی مصرفی در خشک‌کردن دانه انار با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات در شکل ۵ نشان داده شده است. با گذشت زمان، نسبت انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. این کاهش نسبت به تیمار شاهد بیشتر بوده و دلیلش این است که درخشک‌کردن به کمک پیش تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات میزان انرژی مصرفی به نسبت تیمار شاهد کمتر بوده و در نتیجه نسبت انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار نسبت انرژی مصرفی در خشک‌کردن انار پیش تیمار مایکروویو (توان ۱۰۰ وات) به میزان ۰/۰۰٤٦ در دما^{o}C ۵۰ در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه حاصل شد، در حالی که کمترین میزان نسبت انرژی مصرفی در دمای ۷۰^{o}C و سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۰۰۰٦۸۵ محاسبه شد.



شکل۵. تاثیر دما و دبی هوایی ورودی روی نسبت انرژی مصرفی در پیش‌تیمار ۱۰۰ وات

شکل ٦ نسبت انرژی مصرفی در مقابل مدت زمان خشک شدن در دما و سرعت‌های مختلف هوا برای خشک‌کردن دانه انار با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات را نشان می‌دهد. با گذشت زمان مانند دو تیمار قبلی میزان نسبت انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. این کاهش نسبت به تیمار قبلی بیشتر بوده و دلیل آن این است که درخشک‌کردن به روش پیش تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات میزان انرژی مصرفی به نسبت دو تیمارقبلی کمتر بوده و در نتیجه نسبت انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدارنسبت انرژی مصرفی در خشک‌کردن انار با استفاده از پیش تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات به میزان ۰/۰۰۲۸۳۵ در دمای^{o}C ۵۰ در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه و کمترین میزان انرژی مصرفی در دمای ^{o}C ۷۰ سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۰/۰۰۰٦٦۲ محاسبه شد. این مشاهدات برای نسبت انرژی مصرفی با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو شبیه نسبت انرژی مصرفی تیمار شاهد بود اما در زمینه نسبت انرژی مصرفی با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو گزارشی یافت نشد.



شکل٦. تاثیر دما و سرعت هوای ورودی روی نسبت انرژی مصرفی برای پیش‌تیمار ۲۰۰ وات

مقایسه نسبت مصرف انرژی در سه تیمار آزمایشی نشان داد که نسبت مصرف انرژی در تیمار شاهد بیشترین و در تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات کمترین مقدار می‌باشد. دلیل این امر آن است که نسبت مصرف انرژی را از نسبت انرژی مصرفی به انرژی مهیا شده در محیط خشک‌کن بدست می‌آورند. مخرج این نسبت برای دماهای ثابت در تیمارهای مختلف یکسان است اما صورت این نسبت برای تیمارهای مختلف تغییر می‌کند. همانطور که گفته شد انرژی مصرفی در تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات کمترین مقدار را نسبت به دو تیمار دیگر داشت به همین دلیل نسبت انرژی مصرفی نیز در تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات نسبت به دو تیمار دیگر کمتر بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تجزیه وتحلیل ترمودینامیکی انرژی واکسرژی در طی فرآیند خشک‌شدن لایه نازک دانه انار ترش مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در سه سطح دمایی ۵۰، ٦۰،۷۰ درجه سلسیوس و در سه سطح سرعت هوای ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ متر بر ثانیه و در سه تیمار مختلف شاهد، پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات به مدت ۲۰ دقیقه و پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. نتایج حاصل از آنالیز داده‌های بدست آمده در زیر آمده است.

۱- انرژی مصرفی با افزایش زمان خشک شدن در هر سه تیمار کاهش‌یافت. انرژی مصرفی در تیمار شاهد بیشترین مقدار و در تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات کمترین مقدار را دارا بود.

۲- نسبت انرژی مصرفی با افزایش زمان در هر سه تیمار روند کاهشی را طی کرد در حالی که بیشترین انرژی مصرفی برای تیمار شاهد و کمترین انرژی مصرفی برای تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات محاسبه شد.

۳- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل انرژی نشان داد که خشک‌کن هوای گرم از لحاظ ترمودینامیکی کم بازده بوده واین یک عدم مزیت برای این نوع خشک کردن که متداولترین نوع خشک کردن است می باشد. استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو باعث افزایش بازده ترمودینامیکی خشک‌کن گردید.

منابع و مآخذ

Aghabashlo, M., Kianmehr, M.H., Arabhosseini, A., (2009). Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. Journal of Food Engineering. 91: 99–108.

Akpinar E. K., Midilli. A., Bicer. Y., (2005). Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer. Energy Conversion and Management (46) 2530–2552.

Akpinar, E.K.(2004).Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in convective type dryer. International Journal of Heat and mass transfer, 31(8), 1165-1176.

Akpinar, E.K.; Midilli, A.; Bicer, Y., (2006). The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process. Journal of Food Engineering, 72(4), 320–331.

Akpinar, K. E., Y. Bicar and Yildiz, C., (2004). Thin layer drying of red paper. Journal of Food Engineering . Vol 159, 99-104.

Barbosa-Canovas, G.V. and Vega-Mercado, H. (1996). Dehydration of Foods (first ed.), (Chapman and Hall/ NY/ USA).

Ceylan, I.; Aktas, M. Dogan, H.(2007)Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump. Applied Thermal Engineering, 27, 216–222.

Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A., Pereira, A. (2008). Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. Journal of Food Engineering, 86:151–161.

Dincer, I. (2000). Thermodynamic, exergy and environmental impact. Energy Sources, 22: 723–732.

Dincer, I. (2002). On energetic, exergetic and environmental aspects of drying systems. International Journal of Energy Research, 26, 717–727.

Doymaz, I., (2005). Influence of pretreatment solution on the drying of sour-cherry. Journal of food engineering; 78:591–6.

Abstract

Energy analyses may be considered as necessary tools for designing, analysis and optimization of thermal systems. Energy analyses of thin-layer drying of sour pomegranate seeds with microwave treatment were conducted in this research. Experiments were carried out at three different air temperatures (50, 60 and 70^{o}C) and velocities (0.5, 1 and 1.5 m/s). Energy consumption and energy consumption ratio increased with time, while exergy efficiency decreased with time. Energy consumption and drying time decreased considerably by using 200W microwave pretreatment.

Keywords: energy consumption, thin layer drying, pretreatment microwave, pomegranate arils