

اثر پیش تیمارهای مختلف میکروویو پالسی بر پارامترهای ترمودینامیکی فرآیند خشک شدن گیاه رزماری

رامین کیانی^۱، علی متولی^{۲*}، سید جعفر هاشمی^۳، ابراهیم شهبازی^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- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

ایران

*نویسنده مسئول: علی متولی، ali.motevali62@yahoo.com

چکیده

امروزه استفاده از عملیات پیش تیمار جهت کاهش زمان، انرژی و هزینه‌های خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر گیاه دارویی رزماری با استفاده از پیش تیمار میکروویو در سه تیمار (۹۰ وات به مدت ۵ دقیقه، ۱۸۰ وات به مدت ۲/۵ دقیقه و ۳۶۰ وات به مدت ۱/۵ دقیقه) و تیمار شاهد (بدون عملیات پیش تیمار) در یک خشک کن جریان هوای گرم در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس خشک و پارامترهای انرژی و ترمودینامیکی آن مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کمترین میزان انرژی مخصوص مورد نیاز و گرمای مخصوص مورد نیاز در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و پیش تیمار ۳۶۰ وات و بالاترین میزان این دو پارامتر در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و در تیمار شاهد می‌باشد. همچنین بالاترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به ترتیب به میزان ۶۴/۳۲ کیلوگرم بر کیلوژول، ۳۳/۳۲٪ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و اعمال پیش تیمار ۳۶۰ وات و پایین‌ترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به ترتیب به میزان ۵/۱۵ کیلوگرم بر کیلوژول، ۱۱/۵۴٪ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و اعمال بدون پیش تیمار (تیمار شاهد) اتفاق افتاد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که تغییرات روند بازده انرژی و خشک کردن به دلیل اعمال پیش تیمار میکروویو روند نامنظمی داشت اما می‌توان نتیجه گرفت که اعمال پیش تیمار سبب کاهش شدید گرما و انرژی کل مصرفی می‌گردد.

واژگان کلیدی: بازده انرژی و خشک کردن، انرژی مخصوص، بازده حرارتی، رزماری

مقدمه

امروزه اکثر کشورهای پیشرفته دنیا مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناخت گیاهان دارویی مورد استفاده در کشور خود به عمل آورده‌اند (Ahmadi Chenarbon et al., 2011). در کشور ایران به دلیل تنوع شرایط آب هوایی گیاهان دارویی مختلف به صورت

طبیعی و به صورت مکانیزه کشت می‌گردند که یکی از مهمترین گیاهان دارویی، گیاه دارویی رزماری است. این گیاه دارای خواص درمانی زیادی از جمله برای رفع خستگی، ضد تشنج، از بین برنده کرم‌های معده و روده، تقویت عمومی بدن، درمان اختلالات عصبی، درمان سرگیجه، درمان آسم و سیاه سرفه و ... می‌باشد (Omidbeigi, 2006). معمولا بعد از برداشت گیاهان دارویی و محصولات کشاورزی فعالیت‌های آنزیمی، میکروبی، حمله آفات و جوندگان و گرد و غبار، باعث آلودگی فرآورده‌های حاصل می‌گردد. بنابراین برای ماندگاری طولانی مدت این محصولات نیاز به کاهش رطوبت تا سطح معین می‌باشد (Sharma et al., 1995). بنابراین با توجه به فسادپذیری بالای گیاهان دارویی بعد از عملیات برداشت، انجام دقیق و درست عملیات پس از برداشت بسیار مهم می‌باشد. یکی از مهمترین عملیات‌های پس از برداشت، خشک کردن می‌باشد. خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال گسترده‌ترین فرایندهای مورد استفاده جهت حفظ مواد غذایی در مقابل فساد، می‌باشد که با کاهش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و تقلیل سرعت فعل و انفعالات شیمیایی، زمان ماندگاری محصول را افزایش و با کاهش وزن و حجم مواد، بسته‌بندی، حمل و نقل و انبارداری محصولات را سهولت می‌بخشد (Zirjani and Tavakolipour, 2010). یکی از متداول‌ترین روش‌های خشک کردن، استفاده از جریان هوای گرم است که شامل انتقال جرم و حرارت همزمان می‌باشد. انتقال جرم (از دست دادن آب) از یک سو و انتقال حرارت از سوی دیگر، تنش‌هایی را در ساختار سلولی ماده غذایی ایجاد می‌کند و منجر به کاهش حجم در آن می‌گردد (Awad et al., 2012; Rawson et al., 2011).

در کشور ایران هنوز حجم زیادی از گیاهان دارویی به روش سنتی (خشک کردن در سایه) خشک می‌گردد. به دلیل وجود مشکلات زیاد در این روش، از جمله مانند قرار گرفتن محصولات در محیطی که بر روی پارامترهای آن کنترلی وجود ندارد، آلودگی محصول و آسیب‌های وارده به آن به علت کند بودن فرایند و ... روند استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی در سال‌های اخیر در این بخش صعودی بوده و کشاورزان تمایل بیشتری برای استفاده از این سامانه‌ها دارند. یکی از معیارهای مهم در مرحله خشک کردن گیاهان دارویی، محصولات کشاورزی و مواد غذایی، میزان انرژی مصرفی و بازده خشک‌کن‌ها در طول این فرآیند، می‌باشد (Motevali et al., 2011a, b). از آنجا یکی از پرکاربردترین خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی خشک کردن با جریان هوای گرم می‌باشد، این روش دارای انرژی مصرفی بالا و بازده بسیار پایین در فرآیند خشک کردن می‌باشد (Motevali et al., 2014). از این رو به کارگیری روش‌های مناسب برای افزایش بازده‌های ترمودینامیکی (بازده انرژی، بازده خشک کردن، بازده حرارتی و ...) در فرآیند خشک کردن امری ضروری به نظر می‌رسد.

خشک کردن به روش جریان هوای گرم به تنهایی به دلیل نیاز به انرژی زیاد و مدت زمان بالای خشک کردن، روشی پرهزینه می‌باشد. استفاده از مایکروویو به عنوان یک پیش فرایند قبل از خشک کردن سبب کاهش میزان رطوبت اولیه محصول شده و در نتیجه زمان فرایند خشک کردن کاهش می‌یابد. انتقال سریع حرارت، کاهش زمان فرآیند، کمترین میزان تخریب در نمونه‌ها و کنترل شرایط محصول در حال خشک شدن از مزیت‌های مهم مایکروویو می‌باشد (Wang et al., 2004). بررسی منابع مختلف

نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار میکروویو می‌تواند کمترین آسیب را به ترکیبات موجود گیاهان دارویی داشته باشد (Li et al., 1998; Gabriel et al., 2005; Duvernay et al., 2005; Chemat et al., 2004).

متولی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی پارامترها انرژی در خشک‌کن‌های مختلف دریافتند که خشک‌کن میکروویو دارای بالاترین بازده انرژی، خشک‌کردن و حرارتی و همچنین کمترین میزان انرژی مخصوص مورد نیاز می‌باشد. از طرف دیگر خشک‌کن تحت خلا دارای پایین‌ترین میزان بازده انرژی، خشک‌کردن و حرارتی و همچنین بالاترین میزان انرژی مخصوص مورد نیاز می‌باشد. همچنین محققین با بررسی خشک‌کن جریان هوای گرم دریافتند که این خشک‌کن دارای بازده کم و مصرف انرژی مخصوص بالاست (Motevali et al., 2014).

در پژوهش دیگر با خشک‌کردن خمیر کاغذ به بررسی پارامترهای انرژی و ترمودینامیکی خشک‌کن جریان هوای گرم پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه بکارگرفته شده دارای بازده انرژی و خشک‌کردن کمتر از ۲۰٪ می‌باشد. این نشان از بازده پایین خشک‌کن‌های جریان هوای گرم می‌باشد (Vieira et al., 2007).

در تحقیقی دیگر متولی و همکاران به بررسی اثرات پیش‌تیمار میکروویو بر ضرایب مدل شبیه‌سازی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دما، سرعت جریان هوا و توان پیش‌تیمار میکروویو، آهنگ ثابت خشک‌شدن روند افزایشی دارد. همچنین با افزایش توان پیش‌تیمار میکروویو زمان خشک‌شدن روند کاهش داشت. (متولی و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهش دیگر با استفاده از پیش‌تیمار میکروویو به خشک‌کردن ریشه جوز هندی پرداخته شد و اثرات ضد میکروبی آن در مقابله با باکتری‌های بیماری‌زا و کپک‌های عامل فساد بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار میکروویو سبب افزایش خواص ضد میکروبی آن شد (اکبریان میمند و همکاران، ۱۳۹۴).

در پژوهشی دیگر به بررسی پیش‌تیمار میکروویو بر خصوصیات فیزیکی و بافتی پرتقال خشک شده در خشک‌کن جریان هوای گرم پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار میکروویو با تاثیر روی بافت محصول، میزان پکنین استخراجی از ماده خشک‌شده نسبت به حالت تیمار شاهد افزایش داده است (Kratchanova et al., 2004).

از آنجا مبحث انرژی به چالش اساسی در دنیای امروز تبدیل شده و کارایی سامانه‌های انرژی بسیار با اهمیت می‌باشد لذا لازم است تا با بررسی خصوصیات ترمودینامیکی سامانه‌های مورد استفاده بررسی گردد. بررسی منابع نشان داد که خشک‌کن‌های جریان هوای گرم دارای بازده پایینی می‌باشد، لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند بازده انرژی و ترمودینامیکی را بهبود بخشد بسیار ضروری به نظر می‌رسد. یکی از این روش‌ها استفاده از پیش‌تیمار میکروویو است. بررسی پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با بکارگیری پیش‌تیمار میکروویو در خشک‌کردن محصولات مختلف کشاورزی و محصولات غذایی نشان داد که تقریباً هیچ‌کدام از این پژوهش‌ها اثرات این پیش‌تیمار را بر خصوصیات ترمودینامیکی بررسی نکرده است.

مواد و روش‌ها



در این پژوهش برای خشک کردن گیاه دارویی رزماری که در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری پرورش یافت، استفاده گردید. نمونه‌های مورد آزمایش بصورت تازه تهیه می‌گردید و پس از آماده شدن خشک‌کن‌ها و تنظیم آن‌ها در سطوح مختلف آزمایشی یک لایه از آن روی بستر خشک کن قرار داده می‌شد در طی فرآیند خشک شدن کاهش وزن ورقه‌ها توسط ترازو اندازه‌گیری می‌گردید. در طول آزمایش‌های خشک کردن، محدوده میانگین تغییرات دمای محیط 25 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوا 35 ± 5 درصد بود. به منظور اندازه‌گیری رطوبت گیاه دارویی رزماری از استاندارد AOAC (1980) استفاده شد. به طور تصادفی، 5 نمونه 5 گرمی از توده‌ی محصول مورد استفاده جدا شد و درون اجاق قرار داده شد. طبق استاندارد ذکر شده برای تعیین رطوبت گیاه دارویی رزماری، نمونه‌ها را به مدت 24 ساعت در اجاق با دمای 70 درجه سلسیوس قرار داد. رطوبت اولیه گیاه دارویی رزماری 0/75 بر پایه تر به دست آمد.

پیش تیمارهای اعمال شده در این تحقیق عبارت بودند از: پیش تیمار مایکروویو با توان 90 وات به مدت 5 دقیقه، پیش تیمار مایکروویو با توان 180 وات به مدت 2/5 دقیقه، پیش تیمار مایکروویو با توان 360 وات به مدت 1/5 دقیقه. همچنین در کنار پیش تیمارهای اعمال شده، تیمار شاهد نیز مورد بررسی قرار گرفت که بدون اعمال فرآیند پیش تیمار بود. پس از اعمال پیش تیمارهای مختلف مایکروویو، نمونه‌های تیمار شده را به محیط خشک‌کن انتقال داده و ادامه آزمایش‌های خشک کردن در دمای 40، 50 و 60 درجه سلسیوس و در سرعت جریان هوای ثابت 0/4 متر بر ثانیه انجام گردید.

محاسبه میزان انرژی مصرفی

انرژی مصرفی در مایکروویو

انرژی مصرفی در خشک‌کن مایکروویو در طول عملیات پیش تیمار با استفاده از رابطه 1 بدست می‌آید:

$$E_{mic} = P \times t \quad (1)$$

که در آن E_M انرژی مصرفی در دوره پیش تیمار (kW.h)، P توان خروجی از مایکروویو (kW) و t مدت زمان خشک شدن (h) می‌باشد (Ozkan et al., 2007).

انرژی مصرفی در خشک‌کن جریان هوای گرم

انرژی حرارتی مصرفی توسط خشک‌کن جریان هوای گرم برای خشک کردن گیاه دارویی رزماری در دماهای مختلف و سرعت جریان هوای ثابت با استفاده از رابطه (2) بدست می‌آید (Motevali et al., 2011; Aghbashlo et al., 2008).



$$E_{ter} = A \cdot v \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot \Delta T \cdot t \quad (2)$$

E_t کل انرژی مصرفی در هر دوره خشک شدن (kWh)، A ، مساحت ظرف که نمونه آزمایش در آن قرار می‌گیرد (m^2)، v سرعت باد (m/s)، ρ_a چگالی هوا (kg/m^3)، t کل زمان خشک شدن هر نمونه (h)، ΔT اختلاف دما ($^{\circ}C$)، C_a گرمای ویژه (kJ/kg) می‌باشد.

انرژی مکانیکی مصرفی توسط دمنده در خشک کن در طول فرآیند خشک کردن از رابطه ۳ بدست می‌آید:

$$E.U_{mec} = \Delta P \cdot W_{air} \cdot t \quad (3)$$

انرژی مخصوص مورد نیاز به ازای خروج یک کیلوگرم رطوبت از محصول در حال خشک شدن با استفاده از رابطه ۴ بدست می‌آید

$$S.E.C = \frac{E.U_{(total)}}{M_w} = \frac{E.U_{(mic+mec+ter)}}{M_w} \quad (4)$$

$S.E.C$ انرژی مخصوص مورد نیاز (kWh/kg)، $E.U_{(total)}$ کل انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک شدن (kWh) و M_w میزان رطوبت خارج شده از محصول (kg).

بازده خشک شدن

بازده خشک شدن عبارت است از تقسیم مجموع انرژی لازم برای گرم کردن محصول در حال خشک شدن و انرژی لازم برای تبخیر رطوبت به کل انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک شدن (Vieira et al., 2007).

$$Drying\ efficiency = \frac{E_{Heating+evaporation}}{E_{total}} \quad (5)$$

در رابطه بالا بازده خشک شدن (%، انرژی لازم برای گرم کردن محصول در حال خشک شدن و انرژی لازم برای تبخیر رطوبت)

$$(E_{Heating+evaporation}) \text{ (MJ)}, \text{ کل انرژی مصرفی } E_{total} \text{ (MJ)}.$$

بازده انرژی

بازده انرژی عبارت است از تقسیم انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از محصول در حال خشک شدن به کل انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک شدن (Vieira et al., 2007).

$$Energy\ efficiency = \frac{E_{evaporation}}{E_{total}} \quad (6)$$

در رابطه بالا بازده انرژی (%)، انرژی لازم برای تبخیر رطوبت ($E_{evaporation}$) (MJ)، کل انرژی مصرفی E_{total} (MJ).

بازده حرارتی

بازده حرارتی عبارت است از تقسیم میزان رطوبت تبخیر شده از محصول به میزان گرمای مصرفی می‌باشد و می‌توان از رابطه ۷ این بازده را بدست آورد (Vieira et al., 2007).

$$\text{Thermal efficiency} = \frac{M_{evaporation}}{H_{total}} \quad (7)$$

در رابطه بالا بازده حرارتی (kg/kJ)، وزن رطوبت تبخیر شده از محصول ($M_{evaporation}$) (kg)، کل گرمای مصرفی E_{total} (MJ).

گرما (حرارت) مصرفی مخصوص

گرمای مصرفی مخصوص عبارت است از تقسیم کل گرمای مصرفی در طول فرآیند خشک شدن به وزن کل رطوبت خارج شده از محصول. لازم به ذکر است این پارامتر عکس بازده حرارتی می‌باشد (Vieira et al., 2007).

$$\text{Specific heat consumption} = \frac{H_{total}}{M_{evaporation}} \quad (8)$$

بازده همرفتی سامانه

بازده همرفتی سامانه برای خشک کردن رزماری با استفاده از رابطه ۹ بدست می‌آید (Vieira et al., 2007).

$$\text{Convective efficiency} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{amb}} \quad (9)$$

در رابطه بالا بازده همرفتی سامانه (%، دمای ورودی به محفظه خشک‌کن (T_1) (°C)، دمای خروجی از محفظه خشک‌کن (T_2) (°C)، دمای محیط (T_{amb}) (°C).

انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از محصول

انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از محصول حین فرآیند خشک شدن رزماری را می‌توان از رابطه ۱۰ محاسبه نمود (Vieira et al., 2007).

$$Q_w = h_{fg} \cdot M_{w,ev} \quad (10)$$

در رابطه بالا Q_w انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (kJ)، h_{fg} گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)، $M_{w,ev}$ میزان رطوبت تبخیر شده از محصول (kg) می‌باشد.

گرمای نهان تبخیر رزماری را می‌توان از رابطه ۱۰ و ۱۱ بدست آورد (Aghbashlo et al., 2012).

$$h_{fg} = 2.503 \times 10^6 - 2.386 \times 10^3 (T - 273.16) \quad 273.16 \leq T(K) \leq 338.72 \quad (11)$$

$$h_{fg} = (7.33 \times 10^{12} - 1.60 \times 10^7 T^2)^{0.5} \quad 338.72 \leq T(K) \leq 533.16 \quad (12)$$

انرژی لازم برای بالا بردن دمای محصول

انرژی لازم برای افزایش دمای محصول از دمای اولیه (دمای قبل از ورود محصول به داخل محفظه خشک‌کن) به دمای نهایی (بالاترین دمای محصول) را می‌توان از رابطه ۱۳ محاسبه نمود.

$$Q_m = W_d c_m (T_{m2} - T_{m1}) \quad (13)$$

$$c_m = 1465.0 + 3560.0 \left(\frac{M_p}{1 + M_p} \right) \quad (14)$$

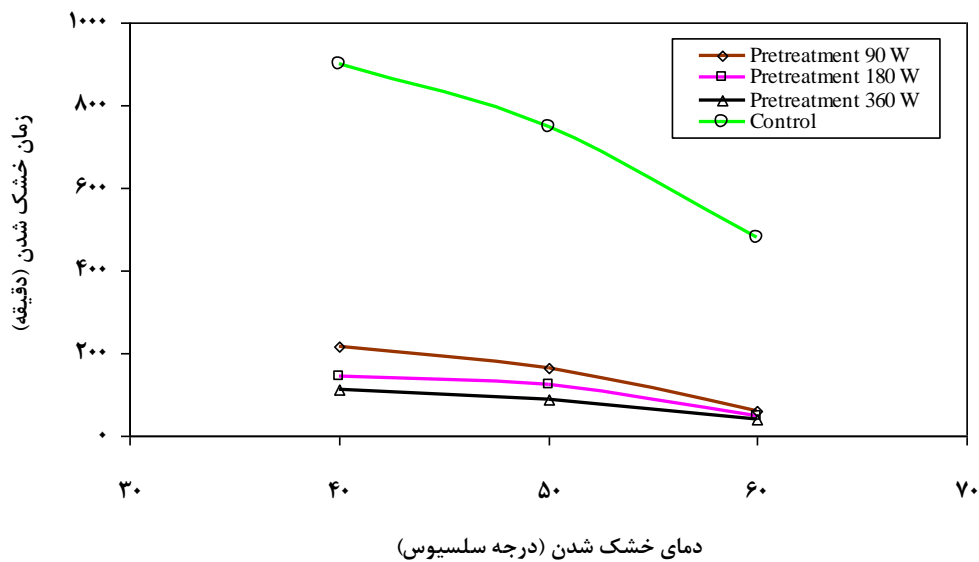
$$M_p = \left(\frac{W_w - W_d}{W_d} \right) \quad (15)$$

در روابط بالا Q_m انرژی لازم برای افزایش دمای محصول (kJ)، W_d وزن ماده خشک (kg)، c_m گرمای ویژه محصول (kJ/kg K)، T_{m1} دمای اولیه محصول (K)، T_{m2} دمای نهایی محصول (K)، M_p محتوای رطوبتی محصول بر پایه خشک (kg water/kg solid)، W_w وزن اولیه محصول (kg) می‌باشد.

نتایج و بحث

زمان خشک شدن

نتایج حاصل از بررسی خشک کردن گیاه دارویی رزماری در دما و پیش تیمارهای مختلف مایکروویو نشان می‌دهد زمان خشک شدن با افزایش دما و افزایش توان پیش تیمار مایکروویو روند نزولی دارد. با توجه به شکل ۱ می‌توان دریافت که اعمال پیش تیمار مایکروویو در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تاثیر زیادی روی زمان خشک شدن دارد به طوری که در این دما (دمای ۴۰ درجه سلسیوس) زمان خشک شدن با بکارگیری پیش تیمار ۹۰ وات تقریباً دو برابر (۱/۹۳ برابر) زمان خشک شدن با پیش تیمار ۳۶۰ وات می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۱ مشخص است که با افزایش دمای خشک کردن تاثیرات اعمال پیش تیمار کاهش می‌یابد به طوری که در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با اعمال پیش تیمار ۹۰ وات زمان خشک شدن ۱/۴۴ برابر زمان خشک شدن با اعمال پیش تیمار ۳۶۰ وات در همان دما می‌باشد. از آنجا که اکثراً پژوهشگران توصیه کرده‌اند که گیاهان دارویی با دمای پایین خشک شوند به نظر می‌رسد اعمال پیش تیمار مایکروویو می‌تواند تاثیر بسزایی در کاهش زمان خشک شدن داشته باشد.

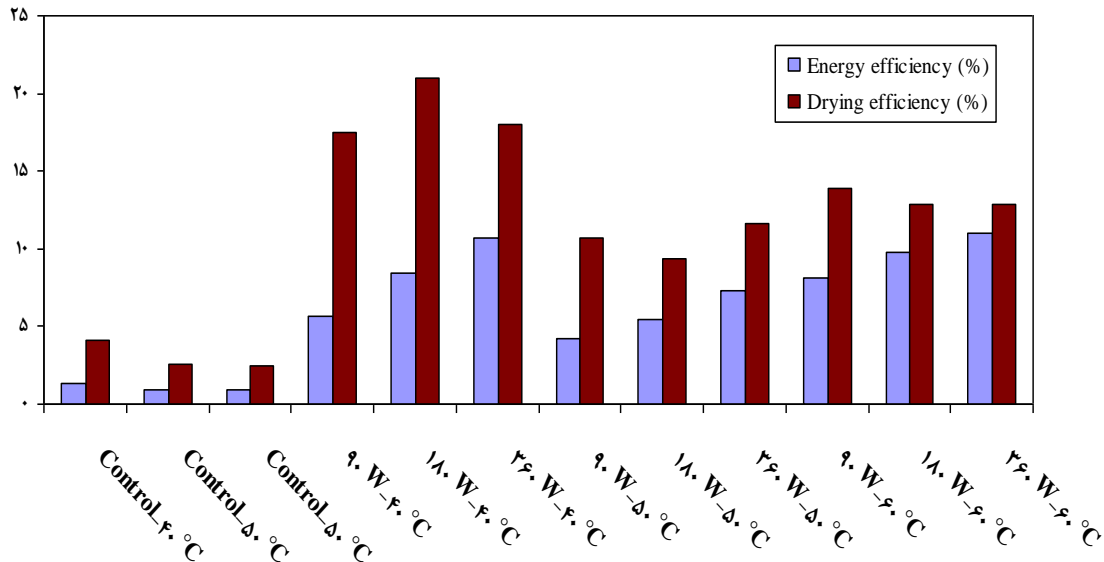


شکل ۱: تاثیر دما و پیش تیمار مایکروویو بر زمان خشک شدن گیاه دارویی رزماری

بازده انرژی و خشک کردن

نتایج بازده انرژی و خشک کردن حاصل از انجام آزمایشات در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۲ مشخص است بالاترین بازده انرژی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و استفاده از پیش تیمار ۳۶۰ وات و پایین ترین بازده انرژی مربوط به دمای ۵۰ درجه سلسیوس و بدون پیش تیمار می‌باشد. همچنین بالاترین بازده خشک کردن در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و استفاده از پیش تیمار ۱۸۰ وات و پایین ترین بازده انرژی مربوط به دمای ۶۰ درجه سلسیوس و بدون پیش تیمار می‌باشد. یکی از دلایل نامنظم بودن این نتایج استفاده از پیش تیمار مایکروویو می‌باشد. از آنجا که مایکروویو تاثیر کاملاً غیریکنواختی روی نمونه های تیمار شده می‌گذاشت، این تاثیر نامنظم بر روی فرآیند بعدی (خشک کردن در خشک کن جریان هوای گرم) نیز تاثیر گذار بود و نتایج بدست

آمده قدری نامنظم بود. با یک نتیجه گیری کلی می‌توان به این نتیجه رسید که هر دو پارامتر بازده انرژی و خشک‌شدن ابتدا روند نزولی داشته (از دمای ۴۰ درجه سلسیوس به دمای ۵۰ درجه سلسیوس) و سپس روند صعودی داشته (از دمای ۵۰ درجه سلسیوس به دمای ۶۰ درجه سلسیوس) است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اعمال فرآیند پیش‌تیمار سبب افزایش زیادی در بازده انرژی و خشک‌کردن می‌گردد.

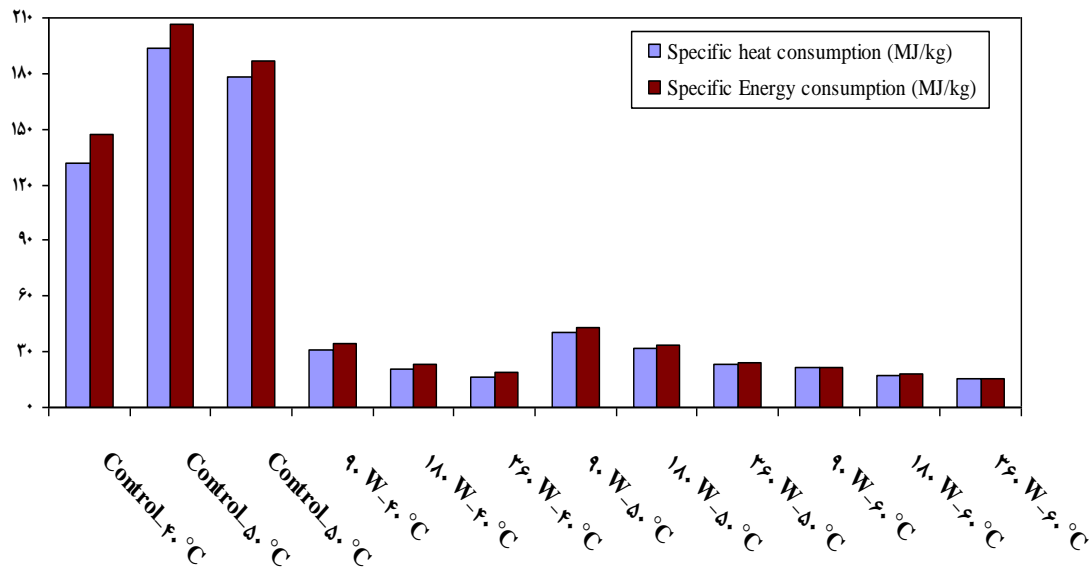


شکل ۲: روند تغییرات بازده انرژی و خشک‌کردن با تغییرات دما و پیش‌تیمار خشک‌کردن

انرژی مخصوص و گرمای مخصوص مصرفی

نتایج بدست آمده از محاسبات میزان انرژی مخصوص مورد نیاز و میزان گرمای مخصوص مورد نیاز در شکل ۳ نشان می‌دهد که روند تغییرات هر دو پارامتر ابتدا صعودی (از ۴۰ درجه سلسیوس به ۵۰ درجه سلسیوس) و سپس روند آن به صورت نزولی (از ۵۰ درجه سلسیوس به ۶۰ درجه سلسیوس) می‌باشد. کمترین میزان انرژی مخصوص مورد نیاز و گرمای مخصوص مورد نیاز در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و پیش‌تیمار ۳۶۰ وات و بالاترین میزان این دو پارامتر در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و بدون پیش‌تیمار می‌باشد. با توجه به آزمایشات انتظار می‌رفت که بالاترین میزان این دو پارامتر در دمای ۴۰ درجه سلسیوس اتفاق افتد اما به دلیل نزدیک بودن دمای خشک‌کردن به دمای محیط میزان انرژی و گرمای مصرفی پایین بود. بلافاصله با افزایش دما از ۴۰ درجه سلسیوس به ۵۰ درجه سلسیوس بدلیل اختلاف دمای خشک‌کردن با دمای محیط و همچنین با توجه به زمان خشک‌کردن میزان انرژی و گرمای مصرفی روند صعودی داشت. همچنین با افزایش دمای خشک‌کردن از ۵۰ به ۶۰ درجه سلسیوس اختلاف دمای خشک-

کردن با دمای محیط افزایش یافت ولی در عین افزایش اختلاف دمایی، زمان خشک‌شدن محصول به صورت چشمگیری کاهش یافت که این خود دلیل محکمی برای کاهش میزان انرژی و گرمای مصرفی می‌باشد.

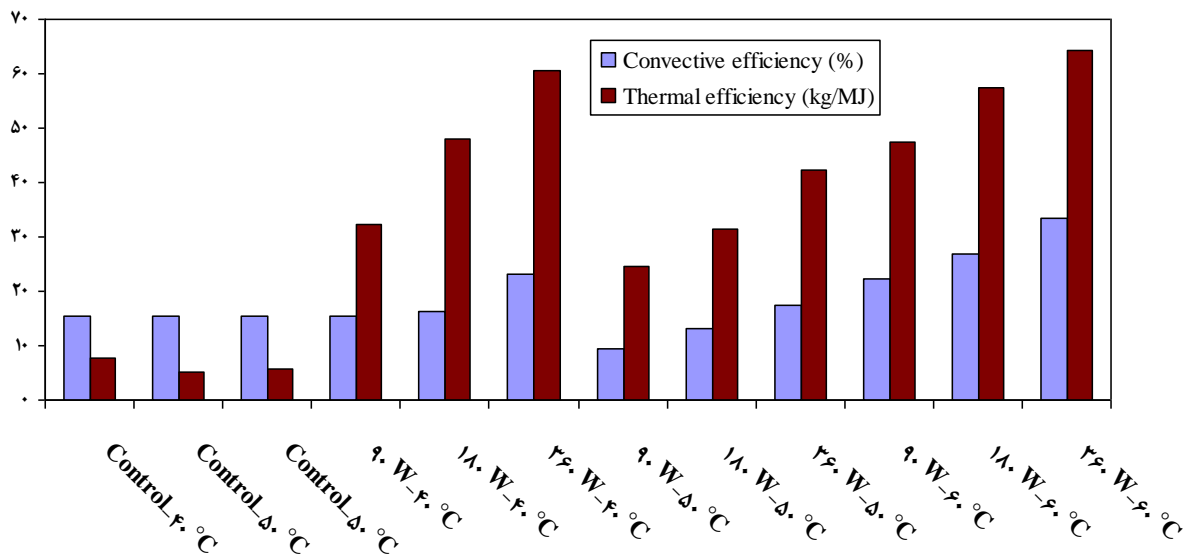


شکل ۳: روند تغییرات انرژی مخصوص و گرمای مخصوص مصرفی با تغییرات دما و پیش تیمار در خشک کردن گیاه دارویی رزماری

بازده حرارتی و بازده همرفتی سامانه

شکل ۴ تغییرات بازده حرارتی و بازده همرفتی سامانه را در دماها و پیش تیمارهای مختلف مایکروویو برای خشک شدن گیاه دارویی رزماری نشان می‌دهد. بالاترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به ترتیب به میزان ۶۴/۳۲ کیلوگرم بر کیلوژول، ۳۳/۳۲٪ در دمای ۶۰ درجه سلسیوس و اعمال پیش تیمار ۳۶۰ وات و پایین‌ترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به ترتیب به میزان ۵/۱۵ کیلوگرم بر کیلوژول، ۱۱/۵۴٪ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و اعمال بدون پیش تیمار اتفاق افتاد. روند تغییرات این دو پارامتر از دمای ۴۰ درجه سلسیوس به دمای ۵۰ درجه سلسیوس نزولی بوده و از دمای ۵۰ درجه سلسیوس به دمای ۶۰ درجه سلسیوس صعودی می‌باشد. دلیل این امر آن است که در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، اختلاف دمای محیط و دمای خشک کردن پایین است و این امر سبب تلفات کمتر حرارت به محیط در طول فرآیند خشک کردن می‌گردد و به دنبال آن سبب افزایش میزان بازده همرفتی می‌گردد. با افزایش دما به ۵۰ درجه سلسیوس، اختلاف دمایی سامانه با محیط افزایش یافته و از طرف دیگر با توجه به بالا بودن زمان خشک کردن در این دما (شکل ۱) اتلاف حرارتی زیاد می‌گردد و بازده همرفتی کاهش می‌یابد. با بررسی دمای ۶۰ درجه می‌توان دریافت که در این دما اختلاف دمایی ایجاد شده بین محیط و دمای خشک کردن سبب تلافی بیشتری نسبت به

دو دمای دیگر یعنی ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس در واحد زمان می‌گردد اما از آنجا که مدت زمان خشک‌شدن گیاه رزماری در این دما بسیار کم است لذا کل تلفات حرارت در این تیمار پایین می‌باشد. همچنین نتایج مشابهی را نیز با اعمال پیش تیمار نیز می‌توان مشاهده کرد. نیاز بالا بودن میزان این دو پارامتر نشان از کارایی سامانه خشک‌کن می‌باشد و نتایج نشان می‌دهد که با اعمال پیش تیمار ۳۶۰ وات کارایی سامانه نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۴: روند تغییرات بازده حرارتی و بازده همرفتی با تغییرات دما و پیش تیمار در خشک کردن گیاه دارویی رزماری

نتایج

در پژوهش حاضر به بررسی پارامترهای انرژی و ترمودینامیکی فرآیند خشک‌شدن گیاه دارویی رزماری با استفاده از پیش تیمارهای میکروویو و دماهای مختلف خشک‌شدن پرداخته شد و به طور خلاصه نتایج زیر بدست آمد:

- ۱- بالاترین میزان انرژی مخصوص و گرمای مخصوص مورد نیاز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و پایین‌ترین میزان انرژی مخصوص و گرمای مخصوص مورد نیاز در دمای ۶۰ درجه سلسیوس بدست آمد.
- ۲- بیشترین تغییرات زمان خشک‌شدن با اعمال پیش تیمار میکروویو در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و کمترین تغییرات زمان خشک شدن با اعمال پیش تیمار میکروویو در دمای ۶۰ درجه سلسیوس اتفاق افتاد.
- ۳- روند تغییرات بازده انرژی و خشک کردن گیاه دارویی رزماری نشان داد که اعمال پیش تیمار سبب نامنظم شدن تغییرات این دو پارامتر در طول فرآیند خشک شدن در دماهای مختلف می‌گردد.



۴- روند تغییرات بازده همرفتی و بازده حرارتی نشان داد که هر دو پارامتر با افزایش دما ابتدا روند نزولی و سپس با افزایش دما روند صعودی داشت.

منابع

متولی ع، مینایی س، خوش تقاضا م ه، عزیزی م ح. ۱۳۹۲. تاثیر پیش تیمار مایکروویو بر زمان خشک شدن دانه‌های انار و ضرایب مدل شبیه‌سازی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۳۸:۱۰: ۱۲۶-۱۱۳.

اکبریان میمند م ج، فرجی کفشگری س، محمودی ا، وطن خواه م. ۱۳۹۴. تاثیر استفاده از پیش تیمار مایکروویو در خشک کردن ریشه جوز هندی بر خاصیت ضد میکروبی آن در مقابله با باکتریهای بیماریزا و کپکهای عامل فساد. مجله میکروبیشناسی پزشکی ایران، ۴۷-۴۵: ۹:۲.

Aghbashlo M, Kianmehr MH, Samimi-Akhijahani H. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae). *J Energy Convers Manage* 2008; 49:2865-71.

Aghbashlo M, Mobli H, Rafiee S, Madadlou A. Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation. *Biosys Eng* 2012; 111:229-41.

AhmadiChenarbon H, Minaei S, Bassiri AR, Almassi M, Arabhosseini A. Effective parameters on drying of *Hypericum perforatum* L. leaves *J Med Plants Res* 2011;18:4530-6.

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D. and Youssef, M.M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*. 48(2): 410-427.

Chemat S, Ait-Amar H, Lagha A, Esveld DC, Microwave-assisted extraction kinetics of terpenes from caraway seeds. *Chem Engi Proc*. 2005; 44: 1320-1326.

Duvernay WH, Assad JM, Sabliov CM, Lima M, Xu Z. Microwave Extraction of Antioxidant Components from Rice Bran. *Pharmaceutical Eng*. 2005; 25: 1-5.

Gabriel C, Gabriel S, Grant EH, Halstead BSJ, Mingos DMP. Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. *Chem Soc Rev*.1998; 27:213-223.

- Kratchanova M., Pavlova E., Panchev I. 2004. The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin Carbohydrate Polymers 56; 181–185.
- Li H, Chen B, Nie N, Yao S. Solvent effects on focused microwave assisted extraction of polyphenolic acids from *Eucommia ulmoides*. *Phytochem anal.* 2004; 15: 306–312.
- Motevali A, Minaei S, Banakar A, Ghobadian B, Khoshtaghaza MH. Comparison of energy parameters in various dryers. *Energ Convers Manage* 2014; 87: 711-725.
- Motevali A, Minaei S, Khoshtaghaza MH. Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energ Convers Manage* 2011;52:1192-9.
- Motevali A, Minaei S, Khoshtaghaza MH, Amirnejat H. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energ* 2011;36:6433-41.
- Omid beigi R. Production and treatment of medicinal plants: Astane Ghods Razavi Publication; 2006.
- Omidbaigi R., Sefidkon F., Kazemi F. 2003. Influence of drying methods on the essential oil composition of Roman chamomile. *Flavor and Fragrance Journal*, 19: 196-198.
- Ozkan. A., Akbudak. B., Akbudak. N., (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78: 577–583.
- Rawson, A., Tiwari, B.K., Tuohy, M.G., O'Donnell, C.P. and Brunton, N. 2011. Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs. *Ultrasonics Sonochemistry*. 18(5): 1172–1179.
- Sharma V.K., Colangelo A., Spagna G. 1995. Experimental investigation of different solar dryers suitable for fruit and vegetable drying. *Renewable Energy*, 6(4): 413-24.
- Vieira MGA, Estrella L, Rocha SCS. Energy Efficiency and Drying Kinetics of Recycled Paper Pulp. *Drying Tech* 2007; 25:1639-48.
- Wang J, Xiong YS, Yu Y. Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research and Technology*. 2004; 219(5): 500-506.
- Zirjani, L. and Tavakolipour, H. 2010. Banana sheets production possibility by using a combination of hot air and microwave drying. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 6: 58-67.



مركز پژوهش‌های مهندسی کشاورزی



انجمن مهندسی مکانیک بیوسیستم‌های کشاورزی
و مکانیزاسیون ایران