نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی

سال هفتم، شمارهٔ دوم/ تابستان ۱۳۹۶/ صفحه ۴۲ـ۵۱

بررسی پارامترهای ترمودینامیکی و میزان اسانس در فرایند خشک‌شدن رزماری با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو پالسی

علی متولی[1*]، رامین کیانی[2]، سید جعفر هاشمی[3]

[1] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

a.motevali@sanru.ac.ir

[2] دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

keyanid@yahoo.com

[3] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

szhash@yahoo.com

چکیده: امروزه استفاده از عملیات پیش‌تیمار برای کاهش زمان، انرژی و هزینه‌های خشک‌کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی موردتوجه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، گیاه دارویی رزماری با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو در سه تیمار (۹۰ وات به‌مدت ۵ دقیقه، ۱۸۰ وات به‌مدت ۲/۵ دقیقه و ۳۶۰ وات به‌مدت ۱/۵ دقیقه) و تیمار شاهد (بدون عملیات پیش‌تیمار) در یک خشک‌کن جریان هوای گرم در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و پارامترهای انرژی و ترمودینامیکی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کمترین میزان انرژی و گرمای مخصوص موردنیاز در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و پیش‌تیمار ۳۶۰ وات و بالاترین میزان این دو پارامتر در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و در تیمار شاهد بود. همچنین بالاترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به‌ترتیب ۶۴/۳۲ کیلوگرم بر کیلوژول، ۳۳/۳۲ درصد در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و اعمال پیش‌تیمار ۳۶۰ وات و پایین‌ترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به‌ترتیب ۵/۱۵ کیلوگرم بر کیلوژول، ۱۱/۵۴ درصد در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و اعمال بدون پیش‌تیمار (تیمار شاهد) اتفاق افتاد. تغییرات روند بازده انرژی و خشک‌کردن به‌دلیل اعمال پیش‌تیمار مایکروویو روند نامنظمی داشت، اما می‌توان نتیجه گرفت که اعمال پیش‌تیمار سبب کاهش شدید گرما و انرژی کل مصرفی می‌گردد. همچنین بیشترین میزان اسانس تولیدی در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات به‌مدت ۱/۵ دقیقه به میزان ۰/۷۷ درصد و کمترین میزان اسانس تولیدی در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و بدون استفاده از پیش‌تیمار به میزان ۰/۲۱ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بازده انرژی و خشک‌کردن، انرژی مخصوص، بازده حرارتی، رزماری.

* نویسندهٔ مسئول

۱. مقدمه

امروزه اکثر کشورهای پیشرفتهٔ دنیا مطالعات گسترده‌ای در زمینهٔ شناخت گیاهان دارویی مورداستفاده در کشور خود انجام داده‌اند [۱]. در کشور ایران به‌دلیل تنوع اقلیم آب‌وهوایی، گیاهان دارویی مختلف به‌صورت طبیعی یا مکانیزه کشت می‌شوند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis*) است. این گیاه دارای خواص درمانی زیادی ازجمله رفع خستگی، ضد تشنج، از بین‌برندهٔ کرم‌های معده و روده، تقویت عمومی بدن، درمان اختلالات عصبی، درمان سرگیجه، درمان آسم و سیاه سرفه و... است [۲]. معمولاً بعد از برداشت گیاهان دارویی و محصولات کشاورزی، فعالیت‌های آنزیمی، میکروبی، حملهٔ آفات و جوندگان و گردوغبار، باعث آلودگی فرآورده‌های حاصل می‌شود. بنابراین برای ماندگاری طولانی‌مدت این محصولات نیاز به کاهش رطوبت تا سطح معین است [۳]. بنابراین با توجه به فسادپذیری بالای گیاهان دارویی بعد از برداشت، انجام دقیق و درست عملیات پس از برداشت بسیار مهم است؛ یکی از مهم‌ترین این عملیات‌ها، خشک‌کردن است. خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال گسترده‌ترین فرایندهای مورداستفاده برای حفظ مواد غذایی در مقابل فساد است 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، حمل‌ونقل و انبارداری محصولات را آسان می‌کند [۴]. یکی از متداول‌ترین روش‌های خشک‌کردن، 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 مادهٔ غذایی ایجاد می‌کند و منجر به کاهش حجم در آن می‌شود [۵ و ۶].

در کشور ایران، هنوز حجم زیادی از گیاهان دارویی به روش سنتی (خشک کردن در سایه) خشک می‌شود. به‌دلیل وجود مشکلات زیاد در این روش، ازجمله قرار گرفتن محصولات در محیطی که بر روی پارامترهای آن کنترلی وجود ندارد، آلودگی محصول و آسیب‌های وارده به آن به‌علت کند بودن فرایند و... روند استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی در سال‌های اخیر در این بخش افزایشی بوده و کشاورزان تمایل بیشتری برای استفاده از این سامانه‌ها دارند. یکی از معیارهای مهم در مرحلهٔ خشک‌کردن گیاهان دارویی، محصولات کشاورزی و مواد غذایی، میزان انرژی مصرفی و بازده خشک‌کن‌ها در طول این فرایند است [۷ و ۸]. یکی از پرکاربردترین خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی، خشک‌کن‌های جریان هوای گرم‌اند که مصرف انرژی بالا و بازده بسیار پایین دارند [۹]. ازاین‌رو به‌کارگیری روش‌های مناسب برای افزایش بازده‌های ترمودینامیکی (بازده انرژی، بازده خشک‌کردن، بازده حرارتی و...) در فرایند خشک‌کردن امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

خشک‌کردن به روش جریان هوای گرم به‌تنهایی، به‌دلیل نیاز به انرژی زیاد و مدت زمان بالای خشک‌کردن، روشی پرهزینه است. استفاده از مایکروویو به‌عنوان یک پیش‌فرایند قبل از خشک‌کردن سبب کاهش میزان رطوبت اولیهٔ محصول شده و درنتیجه زمان فرایند خشک‌کردن کاهش می‌یابد. انتقال سریع حرارت، کاهش زمان فرایند، کمترین میزان تخریب در نمونه‌ها و کنترل شرایط محصول در حال خشک‌شدن، از مزیت‌های برجسته استفاده از مایکروویو[1] است [۱۰].

بررسی منابع مختلف نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو در خشک‌کردن یوکومیا (*Eucommia ulmodies*) [۱۱]، برنج (*Oryza Sativa*) [۱۲]، زیرهٔ سیاه (*Carum carvil*) [۱۳] می‌تواند کمترین آسیب را به ترکیبات موجود در محصولات مختلف کشاورزی و گیاهان دارویی بزند.

متولی و همکاران [۹] پارامترهای انرژی را در خشک‌کن‌های مختلف موردبررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که خشک‌کن مایکروویو بالاترین بازده (انرژی، خشک‌کردن و حرارتی) و کمترین میزان انرژی مخصوص را دارد. از طرف دیگر، خشک‌کن تحت خلأ دارای پایین‌ترین میزان بازده (انرژی، خشک‌کردن و حرارتی) و همچنین بالاترین میزان انرژی مخصوص موردنیاز است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که خشک‌کن جریان هوای گرم به‌علت مصرف انرژی بالا دارای عملکرد و بازده مناسبی نبود.

ویرا و همکاران [۱۵] در پژوهشی دیگر با خشک‌کردن خمیر کاغذ، به بررسی پارامترهای انرژی و ترمودینامیکی خشک‌کن جریان هوای گرم پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که سامانهٔ به‌کارگرفته‌شده دارای بازده انرژی و خشک‌کردن کمتر از ۲۰٪ است. این نشان از بازده پایین خشک‌کن‌های جریان هوای گرم است.

در تحقیقی دیگر، متولی و همکاران [۱۶] به بررسی اثرات پیش‌تیمار مایکروویو بر ضرایب مدل شبیه‌سازی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش پارامترهای دما، سرعت جریان هوا و توان مایکروویو، مقادیر ضرایب مدل‌های شبیه‌سازی (آهنگ ثابت خشک‌شدن) افزایش یافت. همچنین با افزایش توان پیش‌تیمار مایکروویو زمان خشک‌شدن روند کاهشی داشت.

در پژوهش دیگر، اکبریان میمند و همکاران [۱۷] با استفاده از

1. Microwave

پیش‌تیمار مایکروویو به خشک‌کردن ریشهٔ جوز هندی پرداختند و اثرات ضدمیکروبی آن در مقابله با باکتری‌های بیماری‌زا و کپک‌های عامل فساد بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو سبب افزایش خواص ضد میکروبی ریشهٔ جوز هندی خشک‌شده می‌شود.

در پژوهشی دیگر، کراتچانوا و همکاران [۱۸] به بررسی پیش‌تیمار مایکروویو بر خصوصیات فیزیکی و بافتی پرتقال خشک‌شده در خشک‌کن جریان هوای گرم پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با تأثیر روی بافت محصول، میزان پکنین[1] استخراجی از مادهٔ خشک‌شده نسبت به حالت تیمار شاهد را افزایش داده است.

بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر سینتیک فرایند و میزان اسانس و مادهٔ مؤثر گیاه دارویی رزماری نشان داد که مدل پیج[2] بهترین برازش بر روی داده‌های آزمایشگاهی به‌دست‌آمده را دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش دمای هوای خشک‌کردن در آون سبب کاهش میزان اسانس استخراج‌شده از محصول می‌شود [۱۹].

عبادی و همکاران [۲۰] به بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر زمان و درصد و اجزای اسانس گیاه دارویی ریحان پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین زمان خشک‌شدن مربوط به استفاده از سایه و کمترین زمان خشک‌شدن مربوط به استفاده از خشک‌کن مایکروویو با توان ۹۰۰ وات بود. همچنین با افزایش توان مایکروویو تا ۳۰۰ وات میزان اسانس استحصالی روند صعودی و به‌دنبال آن با افزایش توان مایکروویو از ۳۰۰ به ۹۰۰ وات میزان اسانس استحصالی روند نزولی داشت. همچنین میزان اسانس استحصالی در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد بیشترین مقدار را در بین تیمارهای خشک‌شده با استفاده از دستگاه خشک‌کن داشت.

در پژوهش دیگری به بررسی اثر انجماد و خشک‌کردن بر کمیت و کیفیت مواد مؤثر برگ‌های گیاه رزماری پرداخته شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که روش مختلف انجماد تأثیر زیادی بر میزان مواد مؤثر گیاه رزماری داشته و مقدار اسانس محصول با استفاده از این روش به‌طور مناسب حفظ می‌شود [۲۱].

ازآنجاکه مبحث انرژی به چالش اساسی در دنیای امروز تبدیل شده و میزان بازده در سامانه‌های انرژی اهمیت فراوانی دارد، لازم است تا خصوصیات ترمودینامیکی سامانه‌های مورداستفاده به‌طور دقیق بررسی شود. بررسی منابع نشان داد که خشک‌کن‌های جریان هوای گرم بازده پایینی دارند، بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از روش‌هایی که بتواند بازده انرژی و ترمودینامیکی را بهبود بخشد، ضروری است. یکی از این روش‌ها استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو است. بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با به‌کارگیری پیش‌تیمار مایکروویو در خشک‌کردن محصولات مختلف کشاورزی و محصولات غذایی نشان داد که در هیچ‌یک از این پژوهش‌ها اثرات این پیش‌تیمار را بر خصوصیات ترمودینامیکی بررسی نشده است. در این پژوهش، به بررسی خصوصیات ترمودینامیکی سامانهٔ خشک‌کن جریان هوای گرم در خشک‌شدن گیاه رزماری با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو پرداخته شد. همچنین میزان اسانس تولیدی گیاه رزماری خشک‌شده در تیمارهای مختلف آزمایشی نیز بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد

در این پژوهش، از گیاه دارویی رزماری پرورش‌یافته در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استفاده شد. نمونه‌های موردآزمایش به‌صورت تازه تهیه و پس از آماده شدن خشک‌کن‌ها و تنظیم آن‌ها در سطوح مختلف آزمایشی یک لایه از آن روی بستر خشک‌کن قرار داده می‌شد. در طی فرایند خشک‌شدن کاهش وزن ورقه‌ها توسط ترازو اندازه‌گیری می‌شد. در طول آزمایش‌های خشک‌کردن، محدودهٔ میانگین تغییرات دمای محیط ۲±۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی هوا ۵±۳۵ درصد بود. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت گیاه دارویی رزماری از استاندارد (AOAC, 1980) استفاده شد. به‌طور تصادفی، ۵ نمونهٔ ۵ گرمی از توده‌ی محصول مورداستفاده جدا و درون اجاق قرار داده شد. طبق استاندارد ذکرشده برای تعیین رطوبت گیاه دارویی رزماری، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در اجاق با دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. رطوبت اولیهٔ گیاه دارویی رزماری ۰/۷۵ بر پایهٔ تر به‌دست آمد.

ازآنجاکه یکی از اهداف این پژوهش بررسی پارامترهای انرژی است، پیش‌تیمارها و سطوح انتخاب‌شده طوری تعیین شد که به نمونه ها انرژی یکسانی در مایکروویو اعمال شود. پیش‌تیمارهای اعمال‌شده در این تحقیق عبارت بودند از: پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۱۰۰ وات به‌مدت ۵ دقیقه، پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۲۰۰ وات به‌مدت ۲/۵ دقیقه، پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۳۰۰ وات به‌مدت ۱/۵ دقیقه. همچنین در کنار پیش‌تیمارهای اعمال‌شده، نمونهٔ شاهد نیز موردبررسی قرار گرفت که بدون اعمال فرایند پیش‌تیمار بود.

پس از اعمال پیش‌تیمارهای مختلف مایکروویو، نمونه‌های تیمارشده را به محیط خشک‌کن انتقال داده و ادامهٔ آزمایش‌های

1. Pectin
2. Page

خشک‌کردن در دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و در سرعت جریان هوای ثابت ۰/۴ متر بر ثانیه انجام شد.

۲.۲. محاسبهٔ میزان انرژی مصرفی در مایکروویو

انرژی مصرفی در خشک‌کن مایکروویو در طول عملیات پیش‌تیمار با استفاده از رابطهٔ (۱) به‌دست می‌آید:

$$E_{mic} = P \times t \qquad (۱)$$

که در آن، E_{mic} انرژی مصرفی مایکروویو در دورهٔ پیش‌تیمار (kW h)، P توان خروجی از مایکروویو (kW) و t مدت زمان خشک‌شدن (h) است [۲۲].

۳.۲. محاسبهٔ میزان انرژی مصرفی در خشک‌کن جریان هوای گرم

انرژی حرارتی مصرفی توسط خشک‌کن جریان هوای گرم برای خشک‌کردن گیاه دارویی رزماری در دماهای مختلف و سرعت جریان هوای ثابت با استفاده از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید [۸ و ۲۳].

$$E_{ter} = A\, \upsilon\, \rho_a\, C_a\, \Delta T\, t \qquad (۲)$$

E_{ter} کل انرژی مصرفی حرارتی در هر دوره خشک‌شدن (کیلووات ساعت)، A مساحت ظرف که نمونهٔ آزمایش در آن قرار می‌گیرد (متر مربع)، υ سرعت باد (متر بر ثانیه)، ρ_a چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)، t کل زمان خشک شدن هر نمونه (ساعت)، ΔT اختلاف دما (سانتی‌گراد)، C_a گرمای ویژه (کیلوژول بر کیلوگرم درجهٔ سانتی‌گراد) است.

انرژی مکانیکی مصرفی توسط دمنده در خشک‌کن در طول فرایند خشک‌کردن از رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید:

$$E_{mec} = \Delta P . W_{air} . t \qquad (۳)$$

E_{mec} کل انرژی مصرفی مکانیکی در هر دوره (کیلوژول)، ΔP افت فشار (پاسکال)، جریان هوا (مترمکعب بر ثانیه)، t زمان خشک‌شدن (ساعت) است.

انرژی مخصوص موردنیاز به‌ازای خروج یک کیلوگرم رطوبت از محصول در حال خشک‌شدن با استفاده از رابطهٔ (۴) به‌دست می‌آید.

$$S.E.C = \frac{E.U_{(total)}}{M_w} = \frac{E.U_{(mic+mec+ter)}}{M_w} \qquad (۴)$$

در این رابطه، $S.E.C$ انرژی مخصوص موردنیاز (کیلووات ساعت بر کیلوگرم)، $E.U_{total}$ کل انرژی مصرفی در طول فرایند خشک‌شدن (کیلووات ساعت) و M_w میزان رطوبت خارج‌شده از محصول (کیلوگرم) است.

۴.۲. بازده خشک‌شدن

بازده خشک‌شدن عبارت است از: تقسیم مجموع انرژی لازم برای گرم کردن محصول در حال خشک‌شدن و انرژی لازم برای تبخیر رطوبت به کل انرژی مصرفی در طول فرایند خشک‌شدن [۱۵].

$$Drying\ \ Efficiency = \frac{E_{Heating+evaporation}}{E_{total}} \qquad (۵)$$

در این رابطه، $Drying\ \ Efficiency$ بازده خشک‌شدن (درصد)، $E_{Heating}$ انرژی لازم برای افزایش دمای محصول در حال خشک‌شدن (کیلوژول)، $E_{eveporation}$ انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (کیلوژول) و E_{total} کل انرژی مصرفی (کیلوژول) است.

۵.۲. بازده انرژی

بازده انرژی از تقسیم انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از محصول در حال خشک شدن به کل انرژی مصرفی در طول فرایند خشک‌شدن به‌دست می‌آید [۱۵].

$$Energy\ \ Efficiency = \frac{E_{evaporation}}{E_{total}} \qquad (۶)$$

در این رابطه، $Energy\ \ Efficiency$ بازده انرژی (بازده)، $E_{eveporation}$ انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (کیلوژول) و E_{total} کل انرژی مصرفی (کیلوژول) است.

۶.۲. بازده حرارتی

بازده حرارتی عبارت است از تقسیم میزان رطوبت تبخیرشده از محصول به میزان گرمای مصرفی که از رابطهٔ (۷) این بازده را به‌دست می‌آید [۱۵].

$$Thermal\ \ Efficiency = \frac{M_{evaporation}}{H_{total}} \qquad (۷)$$

در این رابطه، $Thermal\ \ Efficiency$ بازده حرارتی (کیلوگرم بر کیلوژول)، $M_{evaporation}$ وزن رطوبت تبخیرشده از محصول (کیلوگرم)، H_{total} کل گرمای مصرفی (کیلوژول) است.

۷.۲. گرما (حرارت) مصرفی مخصوص

گرمای مصرفی مخصوص عبارت است از تقسیم کل گرمای مصرفی در طول فرایند خشک شدن به وزن کل رطوبت خارج‌شده از محصول که عکس بازده حرارتی است [۱۵].

$$Specific\ \ Heat\ Consumption = \frac{H_{total}}{M_{evaporation}} \qquad (۸)$$

در ایـن رابطـه، *Specific Heat Consumption* گرمـای مصـرفی مخصوص (کیلوژول بر کیلـوگرم)، $M_{evaporation}$ وزن رطوبـت تبخیـر شده از محصول (کیلوگرم)، H_{total} کـل گرمـای مصـرفی (کیلـوژول) است.

۸.۲. بازده همرفتی سامانه

بازده همرفتی سامانه برای خشک‌کردن رزماری با استفاده از رابطهٔ (۹) به‌دست می‌آید [۱۵].

$$Convective\ Efficiency = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{amb}} \qquad (۹)$$

در این رابطـه، *Convective Efficiency* بـازده همرفتـی سـامانه (درصد)، T_1 دمای ورودی به محفظهٔ خشک‌کن (درجهٔ سـانتی‌گـراد)، T_2 دمای خروجی از محفظهٔ خشک‌کـن (درجـهٔ سـانتی‌گـراد) و T_{amb} دمای محیط (درجهٔ سانتی‌گراد) است.

۹.۲. انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از محصول

انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از محصول حین فرایند خشـک شـدن رزماری را می‌توان از رابطهٔ (۱۰) محاسبه کرد [۱۵].

$$Q_w = h_{fg}.\ M_{w,ev} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه، Q_w انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (کیلـوژول)، h_{fg} گرمای نهان تبخیـر (کیلـوژول بـر کیلـوگرم) و $M_{w,ev}$ میـزان رطوبـت تبخیرشده از محصول (کیلوگرم) است.

گرمای نهان تبخیـر رزمـاری را مـی‌تـوان از رابطـهٔ (۱۱) و (۱۲) به‌دست آورد [۲۴].

$$h_{fg} = 2.503\times10^{6} - 2.386\times10^{3}(T - 273.16) \qquad (۱۱)$$

$$h_{fg} = (7.33\times10^{12} - 1.60\times10^{7}T^{2})^{0.5} \qquad (۱۲)$$

رابطهٔ (۱۱) بـا شـرط $273.16 \le T(K) \le 338.72$ و رابطـهٔ (۱۲) با شرط $338.72 \le T(K) \le 533.16$ برقرار است.

۱۱.۲. انرژی لازم برای بالا بردن دمای محصول

انرژی لازم برای افزایش دمای محصول از دمای اولیـه (دمـای قبـل از ورود محصول به داخل محفظهٔ خشک‌کن) به دمـای نهـایی (بـالاترین دمای محصول) را می‌توان از رابطهٔ (۱۳) محاسبه کرد.

$$Q_m = W_d\ c_m(T_{m2} - T_{m1}) \qquad (۱۳)$$

$$c_m = 1465.0 + 3560.0\left(\frac{M_p}{1+M_p}\right) \qquad (۱۴)$$

$$M_p = \left(\frac{W_w - W_d}{W_d}\right) \qquad (۱۵)$$

در ایـن روابـط، Q_m انـرژی لازم بـرای افـزایش دمـای محصـول (کیلوژول)، W_d وزن مادهٔ خشک (کیلوگرم)، C_m گرمای ویژهٔ محصول (کیلـوژول بـر کیلـوگرم درجـهٔ کلـوین)، T_{m1} دمـای اولیـهٔ محصـول (کلوین)، T_{m2} دمای نهایی محصـول (کلـوین)، M_p محتـوای رطـوبتی محصول بر پایهٔ خشک (کیلوگرم آب بـر کیلـوگرم مـاده جامـد)، W_w وزن اولیه محصول (کیلوگرم) است.

۱۲.۲. بررسی میزان اسانس استحصالی در شرایط مختلف آزمایشی

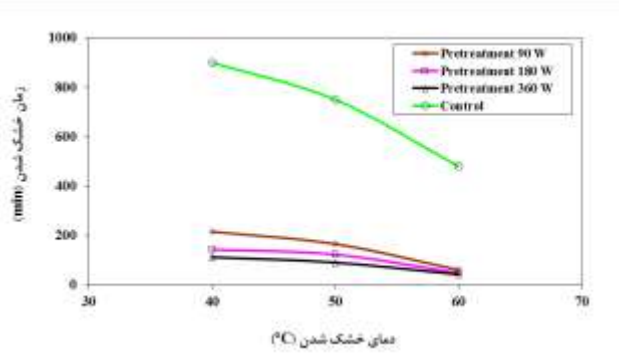
در این پژوهش، به‌منظور استخراج اسانس از برگ‌های گیـاه رزمـاری، ابتدا نمونه‌های خشـک‌شـده بـه وزن ۵۰ گـرم در تیمارهـای مختلـف آزمایشی (پیش‌تیمارهای مختلف و تیمارهای مختلف دمایی) تهیه شد. پس از پودر کردن نمونه‌ها، استخراج اسانس به روش تقطیـر بـا آب و با استفاده از دستگاه کلونجر[1] انجام شد. آزمایش‌ها از لحظهٔ به جوش آمدن آب درون بالن دستگاه کلونجر شروع و به‌مدت سـه سـاعت در شرایط کاملاً یکسان ادامه داشت [۱۹].

۳. نتایج و بحث

۱.۳. زمان خشک شدن

نتایج حاصل از بررسی خشک‌کردن گیـاه دارویـی رزمـاری در دمـا و پیش‌تیمارهای مختلف مایکروویو نشان می‌دهد زمان خشـک‌شـدن بـا افزایش دما و افزایش توان پیش‌تیمار مایکروویو روند نزولـی دارد. بـا توجه به شکل (۱) می‌توان دریافت که اعمال پیش‌تیمار مایکروویو در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد تأثیر زیادی روی زمـان خشـک‌شـدن دارد؛ به‌طوری‌که در این دما زمان خشک‌شدن با به‌کـارگیری پـیش‌تیمـار ۹۰ وات تقریباً دو برابر (۱/۹۳ برابر) زمان خشک‌شدن با پـیش‌تیمـار ۳۶۰ وات است. همچنین با توجه به شکل (۱) مشخص است که با افزایش دمای خشک‌کردن تأثیرات اعمال پیش‌تیمار کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گـراد بـا اعمـال پـیش‌تیمـار ۹۰ وات زمـان خشک‌شدن ۱/۴۴ برابر زمان خشک شدن بـا اعمـال پـیش‌تیمـار ۳۶۰ وات در همان دما می‌باشد. ازآنجاکه بیشتر پژوهشگران توصیه کرده‌اند که گیاهان دارویی با دمـای پـایین خشـک شـوند، اعمـال پـیش‌تیمـار مایکروویو می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش زمان خشـک‌شـدن داشـته باشد.

1. Clevenger

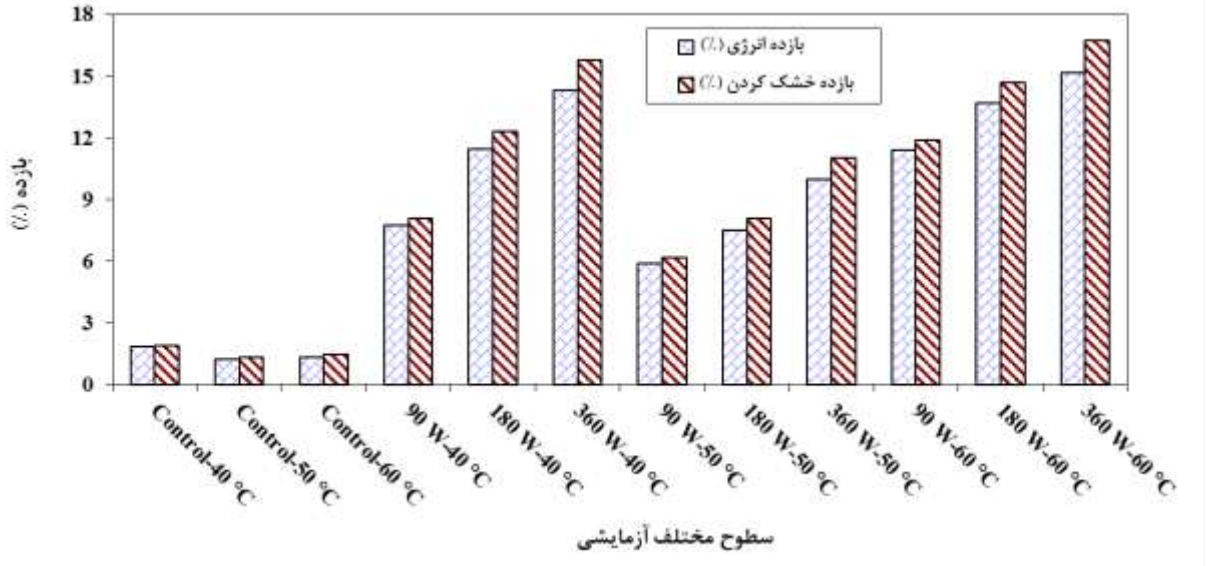


شکل (۱): تأثیر دما و پیش‌تیمار مایکروویو بر زمان خشک‌شدن گیاه دارویی رزماری

۲.۳. بازده انرژی و خشک‌کردن

نتایج بازده انرژی و خشک‌کردن حاصل از انجام آزمایشات در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است بالاترین بازده انرژی و خشک‌کردن در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و استفاده از پیش‌تیمار ۳۶۰ وات و پایین‌ترین بازده انرژی مربوط به دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و بدون پیش‌تیمار است. براساس این شکل در نمونه‌های پیش‌تیمار شده، بازده انرژی و خشک‌کردن در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد بالا می‌باشد و با افزایش دما به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد این دو پارامتر روند کاهش و با افزایش دمای خشک‌کردن از ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد هر دو پارامتر بازده انرژی و خشک‌کردن روند صعودی داشت. دلیل این امر آن است که دمای خشک‌کردن ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به دو دمای دیگر به دمای محیط نزدیک بوده و میزان انرژی کمی صرف فرایند خشک‌کردن می گردد. از طرف دیگر در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد نیز میزان دو پارامتر بازده انرژی و خشک‌کردن بالاست که دلیل این امر می‌تواند سرعت بالای خشک‌شدن نمونه‌ها باشد. سرعت بالای خشک‌شدن نمونه‌ها به‌دلیل اختلاف گرادیان حرارتی بین محصول و دمای خشک‌کردن اتفاق می‌افتد و به‌دنبال آن زمان خشک‌شدن و انرژی مصرفی کاهش می‌یابد.

از طرف دیگر نتایج شکل (۲) نشان می‌دهد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو سبب نامنظم شدن نتایج به‌دست‌آمده می‌شود. ازآنجاکه مایکروویو تأثیر کاملا غیریکنواختی روی نمونه‌های تیمارشده می‌گذاشت، این تأثیر نامنظم روی فرایند بعدی (خشک‌کردن در خشک‌کن جریان هوای گرم) نیز تأثیرگذار بود و نتایج به‌دست‌آمده قدری نامنظم بود. در بررسی کلی می‌توان بیان کرد که هر دو پارامتر بازده انرژی و خشک‌شدن ابتدا روند نزولی (از دمای ۴۰ به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و سپس روند صعودی (از دمای ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد) داشته است. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که اعمال فرایند پیش‌تیمار سبب افزایش چشمگیری در بازده انرژی و خشک‌کردن می‌شود.

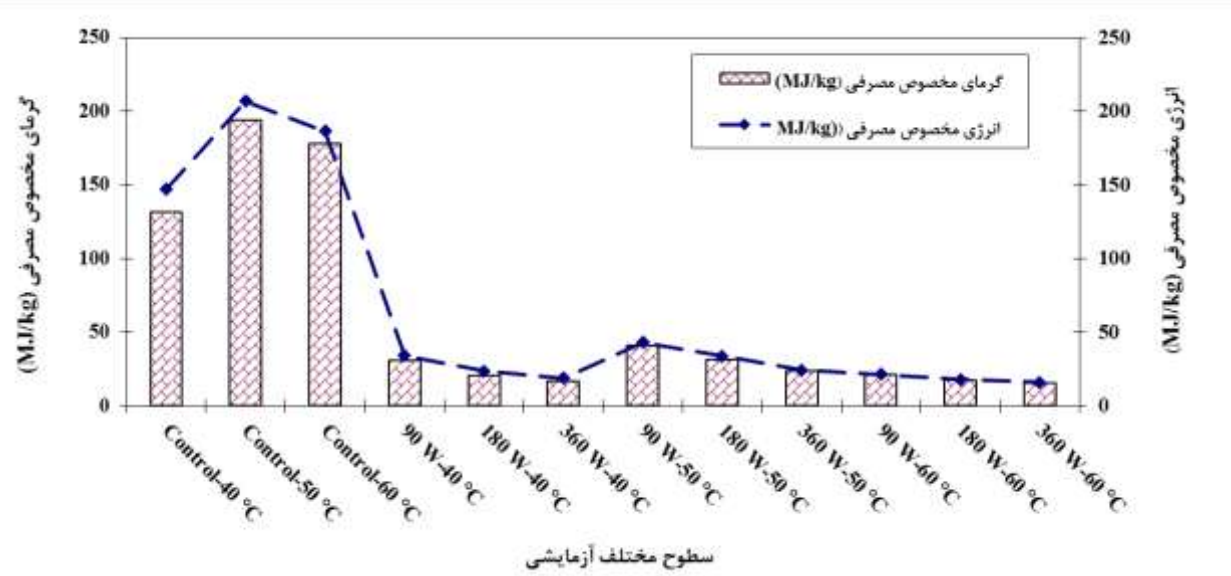


شکل (۲): روند تغییرات بازده انرژی و خشک‌کردن با تغییرات دما و پیش‌تیمار خشک‌کردن

۳.۳. انرژی مخصوص و گرمای مخصوص مصرفی

نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات میزان انرژی مخصوص موردنیاز و میزان گرمای مخصوص موردنیاز در شکل (۳) نشان می دهد که روند تغییرات هر دو پارامتر ابتدا صعودی (از ۴۰ به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد) و سپس روند آن به‌صورت نزولی (از ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد)

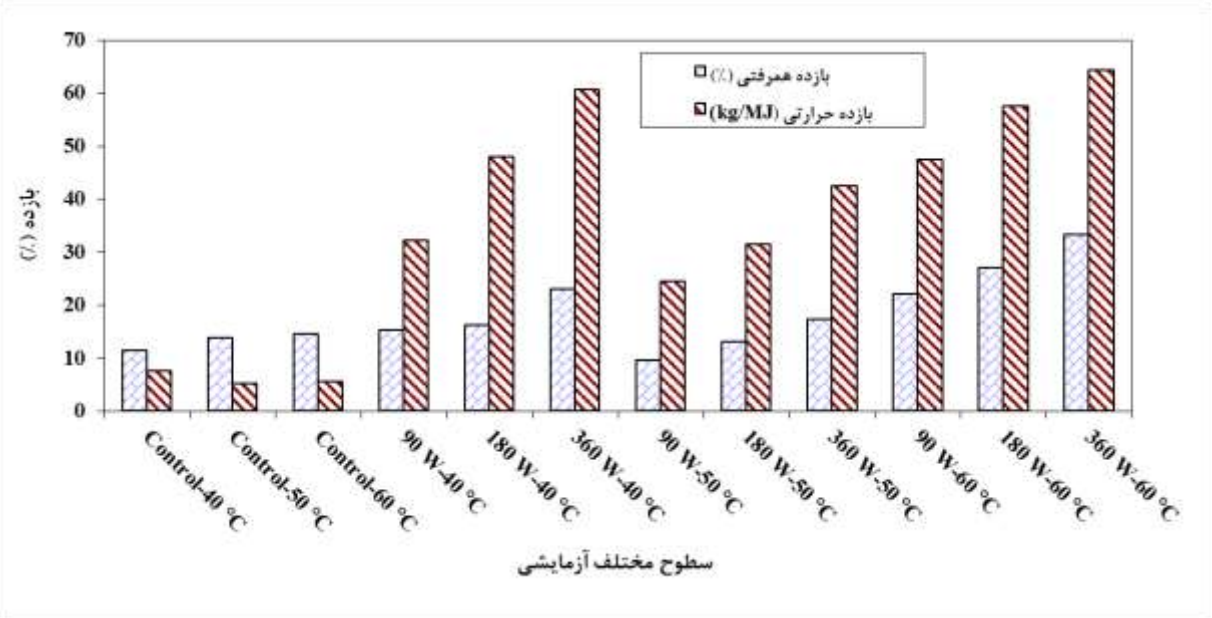
می‌باشد. کمترین میزان انرژی مخصوص موردنیاز و گرمای مخصوص موردنیاز در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و پیش‌تیمار ۳۶۰ وات و بالاترین میزان این دو پارامتر در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و بدون پیش‌تیمار می‌باشد. با توجه به آزمایشات انتظار می‌رفت که بالاترین میزان این دو پارامتر در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد اتفاق افتد اما به‌دلیل نزدیک بودن دمای خشک‌کردن به دمای محیط میزان انرژی و گرمای مصرفی پایین بود. بلافاصله با افزایش دما از ۴۰ به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد 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 خشک کردن از ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد اختلاف دمای خشک‌کردن با دمای محیط افزایش یافت ولی در عین افزایش اختلاف دمایی، زمان خشک‌شدن محصول به‌صورت چشمگیری کاهش یافت که این خود دلیل محکمی برای کاهش میزان انرژی و گرمای مصرفی است.



شکل (۳): روند تغییرات انرژی مخصوص و گرمای مخصوص مصرفی با تغییرات دما و پیش‌تیمار در خشک‌کردن گیاه دارویی رزماری

۴.۳. بازده حرارتی و بازده همرفتی سامانه

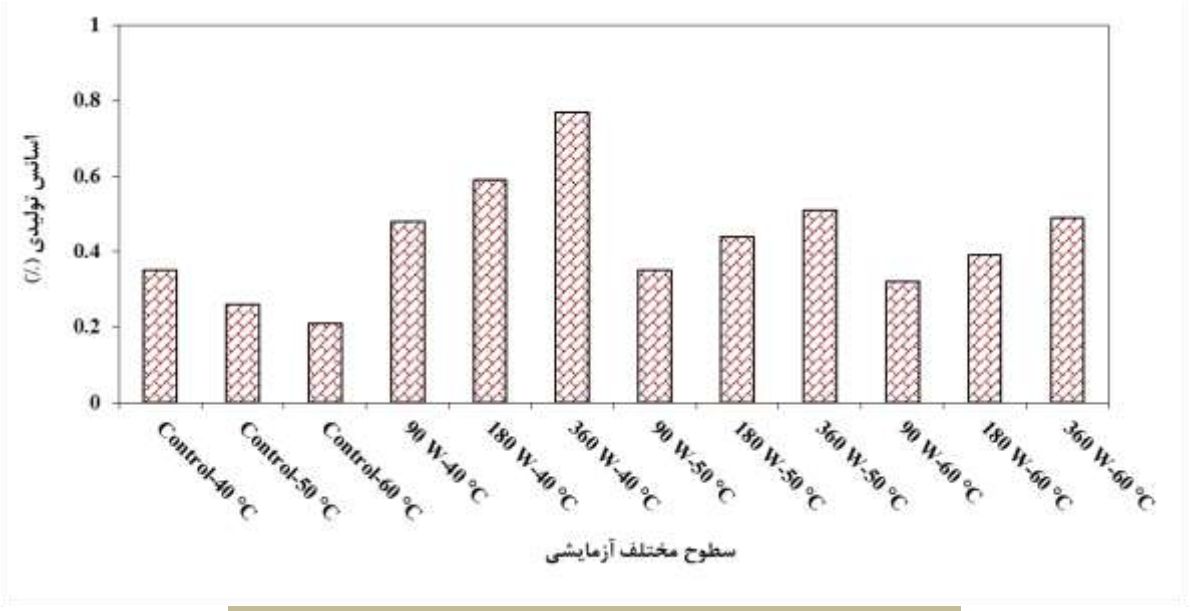
شکل (۴) تغییرات بازده حرارتی و بازده همرفتی سامانه را در دماها و پیش‌تیمارهای مختلف مایکروویو برای خشک‌شدن گیاه دارویی رزماری نشان می‌دهد. بالاترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به‌ترتیب ۶۴/۳۲ کیلوگرم بر کیلوژول، ۳۳/۳۲ درصد در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و اعمال پیش‌تیمار ۳۶۰ وات و پایین‌ترین میزان بازده حرارتی و بازده همرفتی به‌ترتیب ۵/۱۵ کیلوگرم بر کیلوژول، ۱۱/۵۴ درصد در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و اعمال بدون پیش‌تیمار اتفاق افتاد. روند تغییرات این دو پارامتر از دمای ۴۰ به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد نزولی بوده و از دمای ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد صعودی است. دلیل این امر آن است که در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، اختلاف دمای محیط و دمای خشک‌کردن پایین است و این امر سبب تلفات کمتر حرارت به محیط و انرژی کمتر مصرفی توسط گرمکن‌ها در طول فرایند خشک‌کردن می‌شود و به‌دنبال آن سبب افزایش میزان بازده همرفتی می‌گردد. با افزایش دما به ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد، 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 می‌شود و بازده همرفتی کاهش می‌یابد. با بررسی دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌توان دریافت که در این دما اختلاف دمای ایجادشده بین محیط و دمای خشک‌کردن سبب اتلاف بیشتری نسبت به دو دمای دیگر یعنی ۴۰ و ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد در واحد زمان می‌شود، اما ازآنجاکه مدت زمان خشک‌شدن گیاه رزماری در این دما بسیار کم است، میزان هدر رفتن حرارت در این تیمار پایین می‌باشد. همچنین نتایج مشابهی را نیز با اعمال پیش‌تیمار نیز می‌توان مشاهده کرد. بالا بودن میزان این دو پارامتر نشان از کارایی سامانه خشک‌کن دارد و نتایج نشان می‌دهد که اعمال پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات سبب افزایش کارایی سامانه می‌شود.



شکل (۴): روند تغییرات بازده حرارتی و بازده همرفتی با تغییرات دما و پیش‌تیمار در خشک‌کردن گیاه دارویی رزماری

۵.۳. میزان اسانس تولیدی در شرایط مختلف

فرایند خشک‌کردن یکی از مراحل مهم در چرخهٔ فرایندهای پس از برداشت گیاهان دارویی است که انتخاب روش مناسب خشک‌کردن می‌تواند سبب حفظ بیشتر مواد مؤثر و میزان اسانس در گیاه دارویی شود. عملیات خشک‌کردن سبب حرکت ترکیب‌های معطر در برگ گیاهان دارویی ب سمت سطح برگ به‌همراه آب می‌گردد و در این پدیده، مقداری از این ترکیب‌های معطر از دست می‌رود. همان‌طور که نتایج به‌دست‌آمده از استخراج میزان اسانس از گیاه دارویی رزماری در تیمارهای مختلف آزمایشی (شکل ۵) نشان داد، افزایش دما در روند خشک‌شدن سبب کاهش میزان اسانس در این محصول می‌شود. دلیل این امر می‌تواند تأثیر دمای بالا بر تخریب مواد حساس به دما در طول فرایند خشک‌کردن باشد که مقدار زیادی از ترکیبات معطر از دست می‌رود. نتایج پژوهش‌های سایر محققان نشان داد که استفاده از فناوری مایکروویو در خشک‌کردن گیاهان دارویی اسانس‌داری که مادهٔ مؤثر آن‌ها در ناحیهٔ سطحی برگ‌هایشان قرار دارد و به‌دنبال آن به دماهای بالا حساس هستند، بسیار مفید استو میزان اسانس استحصالی را افزایش می‌دهد [۲۵]. از طرف دیگر استفاده از مایکروویو سبب افزایش دما درون محصول شده و ممکن است در توان‌های بالا سبب تخریب مواد مؤثر شود [۲۰]. در این تحقیق با علم به هر دو موضوع، مایکروویو به‌عنوان پیش‌تیمار در توان و زمان‌های مختلف بر نمونه‌های رزماری اعمال گردید و نمونه‌های پیش‌تیمار شده به محیط خشک‌کن منتقل شدند. نتایج نشان داد که بالاترین میزان اسانس تولیدی در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات به‌مدت ۱/۵ دقیقه به میزان ۰/۷۷ درصد بود. همچنین پایین‌ترین میزان اسانس تولیدی در دمای خشک‌کردن ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و بدون استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو به میزان ۰/۲۱ درصد به‌دست آمد. دلیل نتایج به‌دست‌آمده این است که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو سبب تخریب لایهٔ مومی‌شکل سطحی روی برگ‌های گیاه رزماری می‌شود و ازآنجاکه زمان استفاده از مایکروویو در حدود ۱/۵ دقیقه بود، به‌دلیل وجود رطوبت بالا در محصول، افزایش دمای چندانی در نمونه اتفاق نمی‌افتد. این امر (پیش‌تیمار مایکروویو) سبب می‌شود که رطوبت قابل‌ملاحظه‌ای در زمان کم از محصول خارج شده و به‌دنبال آن، محصول مدت زمان بسیار کمتری در محیط خشک‌کن و در معرض جریان هوای گرم قرار گیرد (شکل ۱). همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که میزان اسانس در طول فرایند خشک‌شدن در تمامی دماها در نمونه‌های خشک‌شده با استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافته است.



شکل (۵): درصد اسانس تولیدی از گیاه دارویی رزماری در تیمارهای مختلف آزمایشی

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به بررسی پارامترهای انرژی و ترمودینامیکی فرایند خشک‌شدن گیاه دارویی رزماری با استفاده از پیش‌تیمارهای مایکروویو و دماهای مختلف خشک‌کردن پرداخته شد و به‌طور خلاصه نتایج زیر به‌دست آمد:

۱. بیشترین میزان انرژی مخصوص و گرمای مخصوص موردنیاز در دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و پایین‌ترین میزان انرژی مخصوص و گرمای مخصوص موردنیاز در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست آمد.

۲. بیشترین تغییرات زمان خشک‌شدن با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو در دمای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد و کمترین تغییرات زمان خشک شدن با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد اتفاق افتاد.

۳. روند تغییرات بازده انرژی و خشک‌کردن گیاه دارویی رزماری نشان داد که اعمال پیش‌تیمار سبب نامنظم شدن تغییرات این دو پارامتر در طول فرایند خشک شدن در دماهای مختلف می‌شود.

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.

۵. نتایج نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات به‌مدت ۱/۵ دقیقه، سبب کاهش زمان خشک‌شدن و حفظ بیشتر اسانس موجود در گیاه رزماری در طول فرایند خشک‌شدن شد.

مراجع

[1] Ahmadi Chenarbon, H., Minaei, S., Bassiri, A.R., Almassi, M., Arabhosseini, A., "*Effective Parameters on Drying of Hypericum perforatum L. leaves*", Journal of Medicinal Plants Research, Vol. 18, pp. 4530-4536, 2011.

[۲] امیدبیگی، رضا، «**تولید و فرآوری گیاهان دارویی**»، انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد، ایران، ۱۳۸۴.

[3] Sharma, V.K., Colangelo, A., Spagna, G., "*Experimental Investigation of Different Solar Dryers Suitable for Fruit and Vegetable Drying*", Renewable Energy, Vol. 6, No. 4, pp. 413-24, 1995.

[۴] زیرجانی، لیلا، توکلی‌پور، حمید، «**مطالعه امکان تولید برگه موز توسط روش خشک کردن ترکیبی هوای داغ و مایکروویو**». نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد: ۶، شماره: ۱، صفحه ۵۸-۶۷، ۱۳۸۹.

[5] Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youssef, M.M., "*Applications of Ultrasound in Analysis, Processing and Quality Control of Food: A Review*", Food Research International, Vol. 48, No. 2, pp.410-427, 2012.

[6] Rawson, A., Tiwari, B.K., Tuohy, M.G., O'Donnell, C.P., Brunton, N., "*Effect of Ultrasound and Blanching Pretreatments on Polyacetylene and Carotenoid Content of Hot Air and Freeze Dried Carrot Discs*", Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 18, No. 5, pp. 1172–1179, 2011.

[7] Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M.H., "*Evaluation of Energy Consumption in Different Drying Methods*", Energy Conversion and Management, Vol. 52, pp.1192-1199, 2011.

[8] Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M.H., Amirnejat, H., "*Comparison of Energy Consumption and Specific Energy Requirements of Different Methods for Drying Mushroom Slices*", Energy, Vol. 36, pp. 6433-6441, 2011.

[9] Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M.H., "*Comparison of Energy Parameters in Various Dryers*", Energy Conversion and Management, Vol. 87, pp. 711-725, 2014.
[10] Wang, J., Xiong, Y.S., 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, Vol. 219, No. 5, pp. 500-506, 2004.
[11] Li, H., Chen, B., Nie, N., Yao, S., "*Solvent Effects on Focused Microwave Assisted Extraction of Polyphenolic Acids from Eucommia Ulmodies*", Phytochemical Analysis, Vol. 15, pp. 306-312, 2004.
[12] Duvernay, W.H., Assad, J.M., Sabliov, C.M., Lima, M., Xu, Z., "*Microwave Extraction of Antioxidant Components from Rice Bran*", Pharmaceutical Engineering, Vol. 25, pp. 1-5, 2005.
[13] Chemat, S., Ait-Amar, H., Lagha, A., Esveld, D.C., "*Microwave-assisted Extraction Kinetics of Terpenes from Caraway Seeds*", Chemical Engineering and Processing, Vol. 44, pp.1320-1326, 2005.
[14] Gabriel, C., Gabriel, S., Grant, E.H., Halstead, B.S.J., Mingos, D.M.P., "*Dielectric Parameters Relevant to Microwave Dielectric Heating*", Chemical Society Reviews, Vol. 27, pp. 213-223, 1998.
[15] Vieira, M.G.A., Estrella, L., Rocha, S.C.S., "*Energy Efficiency and Drying Kinetics of Recycled Paper Pulp*", Drying Technology, Vol. 25, pp.1639-48, 2007.
[۱۶] متولی، علی، مینایی، سعید، خوش‌تقاضا، محمدهادی، عزیزی، محمد حسین، «**تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر زمان خشک‌شدن دانه‌های انار و ضرایب مدل شبیه‌سازی**». فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد ۱۰، شماره ۳۸، صفحه ۱۲۶-۱۱۳، ۱۳۹۲.
[۱۷] اکبریان میمند، محمدجواد، فرجی کفشگری، سمانه، محمودی، احسان، وطن‌خواه، مهدی، «**تأثیر استفاده از پیش‌تیمار مایکروویو در خشک کردن ریشهٔ جوز هندی بر خاصیت ضدمیکروبی آن در مقابله با باکتری‌های بیماری‌زا و کپک‌های عامل فساد**». مجله میکروب‌شناسی پزشکی ایران، جلد ۹، شماره ۲، صفحه ۴۷-۵۵، ۱۳۹۴.
[18] Kratchanova, M., Pavlova, E., Panchev, I., "*The Effect of Microwave Heating of Fresh Orange Peels on the Fruit Tissue and Quality of Extracted Pectin*", Carbohydrate Polymers, Vol. 56, pp. 181–185, 2004.
[19] Bensebia, O., Allia, K., "*Drying and Extraction Kinetics of Rosemary Leaves: Experiments and Modeling*", Journal of Essential Oil Bearing Plants, Vol. 18, No.1, pp. 99-111, 2015.
[۲۰] عبادی، محمدتقی، رحمتی، مصطفی، عزیزی، مجید، حسن زاده خیاط، محمد، دادخواه، علیرضا، «**بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر زمان خشک‌کردن، درصد و اجزای اسانس ریحان (*Ocimum basilicum L.*)**» فصلنامهٔ علمی‌پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۹، شماره ۲، صفحه ۴۲۵-۴۳۷، ۱۳۹۲.
[۲۱] تازیکه، الهام، مهدوی میقان، جواد، «**مطالعه اثر روش‌های مختلف انجماد و خشک‌کردن بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره اسانس و تعیین مقدار اسیدکافئیک در عصارهٔ گیاه دارویی *Rosmarinus officinalis L***».اکوفیتو شیمی گیاهان دارویی، جلد ۴، شماره ۱، صفحه ۶۹-۸۲، ۱۳۹۵.
[22] Ozkan, A., Akbudak, B., Akbudak, N., "*Microwave Drying Characteristics of Spinach*", Journal of Food Engineering, Vol. 78, pp. 577-583, 2007.
[23] Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., 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)*", Energy Conversion and Management, Vol. 49, pp. 2865-2871, 2008.
[24] Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., Madadlou, A., "*Energy and Exergy Analyses of the Spray Drying Process of Fish oil Microencapsulation*", Biosystem Engineering, Vol. 111, pp.229-41, 2012.
[25] Venskutonis, P.R., "*Effect of Drying on the Volatile Constituents of Thyme (Thymus Vulgaris) and Sage (Salvia Officinalis)*", Food chemistry, Vol. 52, pp.219-277, 1997.