

خشک کردن برگ گیاه پولک (*Stachys schtschegleevii* Sosn.) پیش تیمار شده با فراصوت و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن

هما خدایی^۱، نارملا آصفی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۱۴)

چکیده

استفاده از امواج فراصوت به عنوان پیش تیمار نوین برای خشک کردن مواد غذایی در سال‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پیش تیمار فراصوت (۵۹ کیلوهرتز و زمان ۱۰ دقیقه) بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی برگ گیاه پولک (*Stachys schtschegleevii* Sosn.) خشک شده با استفاده از هوای گرم در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت جابجایی هوای ۱ متر بر ثانیه است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کمینه زمان خشک شدن، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و بیشینه سرعت خشک شدن، جذب مجدد آب و ضریب نفوذ مؤثر رطوبت ($52/4 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $42/2 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) در نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت مشاهده شد؛ علاوه بر این انرژی فعال-سازی در نمونه‌های فراصوت نشده نسبت به نمونه‌های فراصوت شده کمتر بود. برازش مدل‌های ریاضی سرعت خشک کردن با داده‌های تجربی نشان داد که مدل پیچ می‌تواند به طور رضایت بخشی منحنی سرعت خشک کردن برگ گیاه پولک خشک شده در هوای گرم را با ضریب همبستگی بالا ($R^2 = 0/998$)، حداقل ریشه میانگین مربعات خطا ($\text{RMSE} = 0/02109$) و کای اسکور ($\chi^2 = 0/00058$) توصیف کند.

کلید واژگان: پولک، خشک کردن، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فراصوت، فنل

*مسئول مکاتبات: n.asefi@iaut.ac.ir

۱- مقدمه

بار می‌شود و پس از آن سرد شدن سریع اتفاق می‌افتد. رسیدن به دماهای بالا در طول کاویتاسیون باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد در اثر سونالایز آب و نیروهای مکانیکی (نیروهای برشی) با جریان‌های ریز و شوک‌های موجی می‌شود [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. استفاده از پیش تیمار فراصوت در تسریع خشک کردن قارچ‌های دکمه‌ای، کلم بروکسل و گل‌کلم نشان داد که زمان خشک شدن و کاهش آسیب به محصول در مقایسه با نمونه‌های شاهد کمتر بوده و باعث بهبود خصوصیات جذب مجدد آب آن‌ها شد [۱۴]. با قرار دادن اسلایس‌های گوجه فرنگی در دستگاه فراصوت با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز در زمان‌های موج دهی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه و سپس خشک کردن در خشک‌کن با جریان جابجایی هوای گرم مشخص گردید که در زمان ۶۰ دقیقه‌ای موج دهی فراصوت، ضریب انتقال رطوبت، ۶/۳۳ درصد افزایش یافت و زمان خشک کردن نیز نسبت به نمونه پیش تیمار نشده به ۵۲/۶۴ درصد کاهش پیدا کرد [۱۵] و نیز اعمال پیش تیمار فراصوت با زمان‌های موج دهی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه‌ای بر روی سبب قطعه شده باعث کاهش زمان کلی خشک کردن به میزان ۳۱ درصد در مقایسه با نمونه‌های پیش تیمار نشده شده است [۱۶]. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر پیش تیمار فراصوت بر روی برخی خواص فیزیکی و شیمیایی برگ گیاه پولک خشک شده شامل سرعت خشک شدن، جذب مجدد آب، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد؛ همچنین مدل‌سازی ریاضی برای پیش‌بینی سرعت خشک کردن برگ گیاه پولک با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام شد. مطالعات اندکی در مورد اثر امواج فراصوت به عنوان یک پیش تیمار قبل از خشک کردن بر روی برگ گیاه پولک انجام شده است؛ بنابراین این مطالعه می‌تواند یک تحقیق مفید در زمینه تکنولوژی نوین فراصوت و تأثیر آن بر روی گیاهان دارویی از جمله گیاه پولک باشد؛ علاوه بر این، اثر دماهای مختلف خشک کردن بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی ذکر شده بر روی برگ گیاه پولک نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه تجزیه مواد غذایی دانشکده کشاورزی- علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام گرفت. شناسایی گونه گیاه پولک مورد بررسی با استفاده از نظر اساتید مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی بخش هرباریوم انجام شد.

گیاه پولک (*Stachys schtschegleevii* Sosn.) از خانواده *Labiatae* یک گیاه علفی تا نیمه بوته‌ای است که حاوی ترکیباتی از جمله ورباسکوزید، استاکیزوئید، مشتقات کافئیک اسید، فلاوونوئیدها و ترکیبات فنلی می‌باشد [۱]. این گیاه به عنوان تب‌بر، ضد عفونی کننده، ضد تشنج، داروی قابض، نیرو بخش، ضد کرم، اشته‌آور، ضد نفخ و ضد انعقاد خون و نیز به عنوان یک جوشانده طبی در درمان گلودرد و خونریزی معده، ریه و قلب و عروق مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. ترکیبات فنلی دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند که در پیشگیری از برخی بیماری‌ها از جمله سرطان نقش دارند. با اثبات اثرات مفید برخی از منابع غذایی گیاهی بر سلامت انسان و از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد رادیکالی و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاهی به ویژه ترکیبات فنلی در پیشگیری از برخی بیماری‌ها مانند سرطان و بیماری‌های قلبی و عروقی، استفاده از منابع گیاهی افزایش یافته است [۳]. خشک کردن محصولات کشاورزی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی [۴] از جمله گیاهان دارویی و آروماتیک [۵] می‌باشد که باعث کاهش فعالیت آبی و در نتیجه کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش ماندگاری مواد غذایی می‌گردد [۶]. خشک کردن با هوای گرم به طور معمول در دماهای بین ۴۰ الی ۷۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد تا مانع از بین رفتن میوه‌ها و سبزی‌ها و افزایش ماندگاری آن‌ها شود [۷]؛ اما به دلیل زمان‌بر و هزینه‌بر بودن این نوع از روش خشک کردن و احتمال آسیب به ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی [۸]، استفاده از انواع پیش تیمارها در خشک کردن مواد غذایی چندین سال است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌کارگیری امواج فراصوت^۱ به عنوان یک پیش تیمار نوین برای خشک کردن مواد غذایی حساس به حرارت به دلیل کاهش زمان کلی خشک کردن حائز اهمیت است [۹]. در این روش امواج صوتی با دامنه زیاد در درون ماده مورد آزمایش انتشار یافته و انرژی الکتریکی به امواج صوتی اولتراسونیک تبدیل می‌شود. مکانیزمی که امواج فراصوت از آن طریق روی خواص فیزیکوشیمیایی ماده غذایی تأثیر می‌گذارد مربوط به پدیده کاویتاسیون است. کاویتاسیون باعث تشکیل، رشد و گاهی انفجار درونی حباب‌های ریز در مایعات می‌باشد. هر حباب به منزله میکروراکتوری عمل می‌کند که انهدام آن سبب تولید حرارتی در حدود ۵۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار حدود ۵۰۰

1. Ultrasound

۲-۱- مواد

در این تحقیق، برگ‌های یک گونه گیاه پولک (*Stachys schtschegleevii Sosn.*) از رویشگاه طبیعی در دامنه‌های استان آذربایجان شرقی - ایران برداشت گردید. برداشت نمونه‌ها در یک مکان و زمان ثابت و به صورت تصادفی انجام شد؛ سپس به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از تمیز کردن و حذف ناخالصی‌ها، شستشو و آب سطحی گیاه گرفته شد. رطوبت اولیه و نهایی گیاه مزبور با توجه به استاندارد [۱۷] تا خشک کردن آن‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و رسیدن به وزن ثابت محاسبه شد. رطوبت اولیه نمونه گیاه پولک ۵/۶۳ درصد بر پایه وزن تر (w.b) به دست آمد.

۲-۲- اعمال پیش تیمار فراصوت

نمونه‌های انتخاب شده جهت پیش تیمار فراصوت به حمام فراصوت انتقال داده شدند. تمام نمونه‌ها در حمام فراصوت (FALC، ساخت کشور ایتالیا، ابعاد داخلی مخزن: ۱۵۰ × ۸۶ × ۶۵ میلی‌متر) قرار داده شدند که با آب مقطر با درجه حرارت محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به نسبت ۱ به ۴ پر شده بود؛ سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه فراصوت شدند. فرکانس و توان در این آزمون به ترتیب ۵۹ کیلوهرتز و ۱۰۰ وات بود. بعد از گذشت ۱۰ دقیقه اعمال فراصوت، نمونه‌ها از آب مقطر گرفته شدند و توسط کاغذ صافی آب سطحی آن‌ها خارج و وزن نمونه‌ها و دمای آب داخل حمام قبل و بعد از اعمال پیش تیمار فراصوت اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه سیستم فراصوت دهی در دمای ثابت قابل تنظیم بود؛ در طول آزمایش دمای سیستم حمام در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. این آزمایش در سه تکرار برای هر فرآیند خشک کردن انجام شد.

۲-۳- فرایند خشک کردن

به منظور حصول اطمینان از سیستم خشک‌کن، آون (ممرت، UF110، ساخت کشور آلمان) قبل از شروع فرایند خشک کردن به مدت ۳۰ دقیقه روشن شد تا به دمای مورد نظر برای خشک کردن برسد؛ سپس سینی‌های حاوی نمونه‌ها در آون در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت جابجایی هوای ۱ متر بر ثانیه قرار داده شدند. در هر فرآیند خشک کردن حدود ۱۵۰ گرم نمونه استفاده شد. فرآیند خشک کردن تا زمانی ادامه داشت که وزن نمونه‌ها به ۱۰ درصد بر پایه وزن مرطوب [۱۸] برسد و پس از آن نسبت رطوبت و سرعت

خشک شدن در طول خشک کردن به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

$$\text{drying rate} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{M_t}$$

M : محتوای رطوبت در زمان خشک کردن (گرم آب / گرم مواد جامد خشک)، M_0 : محتوای اولیه رطوبت (گرم آب / گرم مواد جامد خشک)، M_e : محتوای رطوبت تعادلی (گرم آب / گرم مواد جامد خشک)، M_t : رطوبت در زمان t : M_t : رطوبت در زمان $t + dt$ (گرم آب / گرم مواد جامد خشک)، t : زمان خشک شدن (دقیقه).

۹ مدل خشک کردن محصولات کشاورزی برای توصیف سرعت خشک شدن برگ گیاه پولک در جدول ۱ آورده شده است. تجزیه و تحلیل رگرسیون سینتیک خشک کردن با استفاده از نرم‌افزار MATLAB, Version 7.12.0.635, (R2010a) انجام شد. به منظور انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های موجود براساس پارامترهای آماری، ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و مربع کای اسکور (χ^2) با استفاده از معادلات ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n}$$

که در آن $MR_{exp,i}$: بیانگر i امین نسبت رطوبتی مشاهده شده
 $MR_{pre,i}$: بیانگر i امین نسبت رطوبتی پیش‌بینی شده: N : تعداد داده‌ها و n : تعداد ضرایب ثابت‌ها در مدل.

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (D_{eff}) را می‌توان از قانون دوم فیک (معادله ۵) به دست آورد. در هر دمایی، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت با رسم $\ln(MR)$ به عنوان تابعی از زمان (معادله ۶) تعیین می‌شود. ضریب نفوذ مؤثر رطوبت همان شیب زاویه‌ی بخش خطی (معادله ۷) است.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L}\right)$$

$$\text{Slope} = \frac{P^2 D_{eff}}{4L^2}$$

که در آن X : رطوبت موضعی (گرم آب / گرم مواد جامد خشک)؛ x : مشخصه فضایی D_{eff} : ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

کل معادل میلی گرم اسید گالیک (GAE) در هر گرم از عصاره برگ گیاه پولک گزارش شد.

۲-۷- به دام اندازی رادیکال‌های آزاد (DPPH)

به منظور اندازه‌گیری توانایی عصاره در به دام اندازی رادیکال‌های آزاد (DPPH) از روش [۲۲] استفاده شد. ۱ میلی لیتر از محلول متانولی DPPH (با غلظت ۰/۱ میلی مولار) با ۳ میلی لیتر از محلول عصاره (حاوی ۵۰-۴۰۰ میکروگرم از عصاره خشک شده است) مخلوط شد. در مرحله بعد، مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در جای تاریک قرار داده شد؛ پس از آن، اندازه‌گیری جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر انجام شد. لازم به ذکر است در نمونه کنترل، عصاره با ۳ میلی لیتر متانول جایگزین شد. درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH نمونه‌ها نسبت به کنترل توسط معادله ۹ نشان داده شد و در نهایت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر مبنای EC₅₀ گزارش گردید.

$$\text{درصد بازدارندگی} = \frac{(A_c - A_s)}{A_c} \times 100$$

که در این رابطه A_c و A_s به ترتیب مربوط به جذب کنترل و جذب نمونه می‌باشد.

۲-۸- تحلیل آماری

در این پژوهش، بررسی و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها، به صورت طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ < p استفاده شد و کلیه نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- منحنی‌های سرعت خشک کردن

فرآیند خشک کردن نمونه‌های برگ پولک تا دستیابی به محتوای رطوبتی آن‌ها به ۱۰ درصد بر پایه وزن تر مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱، منحنی‌های خشک کردن با هوای گرم (دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) با و بدون استفاده از پیش تیمار فراصوت (۵۹ کیلوهرتز، ۱۰ دقیقه) را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که منحنی کاهش رطوبت نشان می‌دهد در طول فرآیند خشک کردن، دوره خشک کردن با سرعت

L و (m^2/s) نصف ضخامت نمونه برگ گیاه پولک خشک شده در زمان t بر حسب متر است.

۲-۴- نسبت جذب مجدد آب (RR)^۲

به منظور اندازه‌گیری نسبت جذب مجدد آب نمونه‌های خشک شده، نمونه‌های برگ گیاه پولک خشک شده (۱۰ گرم) در آب مقطر (دمای تقریبی ۵۰ درجه سانتی‌گراد) در بازه‌های زمانی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه قرار گرفتند و سپس آب سطحی آن‌ها با استفاده از کاغذ صافی گرفته شد [۱۹]؛ در نهایت پس از ثابت ماندن وزن نمونه‌ها با گذشت زمان، نسبت جذب مجدد آب با استفاده از معادله ۸ محاسبه گردید [۲۰].

$$RR = \frac{m_{rh}}{m_{dh}}$$

RR: نسبت جذب مجدد آب m_{rh} : وزن نمونه آبیگری شده بر حسب گرم و m_{dh} : وزن نمونه اولیه خشک شده بر حسب گرم

۲-۵- آماده‌سازی عصاره برگ گیاه پولک

جهت آنالیزهای ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی-اکسیدانی

عصاره‌گیری از برگ گیاه پولک با روش خیساندن در متانول ۸۰ درصد (حجمی: حجمی) انجام گرفت. ۱۰۰ میلی لیتر حلال به ۱۰ گرم پودر برگ گیاه پولک خشک شده افزوده و مخلوط حاصله به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط با همزن مغناطیسی هم زده شد. عصاره‌های حاصل پس از صاف شدن با کاغذ صافی، توسط دستگاه تبخیر کننده چرخان در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغلیظ گردیدند و تا زمان استفاده در ظروف غیر قابل نفوذ به هوا در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۲-۶- تعیین محتوای فنل کل

به منظور اندازه‌گیری ترکیبات فنلی عصاره، روش فولین-سیوکالتیه [۲۱] استفاده شد. ۲۰ میلی لیتر از محلول عصاره با ۱/۱۶ میلی لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میلی لیتر از معرف فولین-سیوکالتیه مخلوط شد و پس از آن ۳۰۰ میلی لیتر از محلول کربنات سدیم (۲۰ درصد) پس از ۸ دقیقه به مخلوط اضافه شد. در نهایت، مخلوط در محل تاریک به مدت ۳۰ دقیقه در انکوباتور قرار داده شد و جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فنل

² Rehydration Ratio

ثابت وجود نداشته و کاهش رطوبت در مرحله سرعت نزولی خشک کردن اتفاق افتاده است. با افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد، زمان لازم برای رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد، حدود یک، دو و سه برابر کاهش یافته است؛ همچنین سرعت کاهش رطوبت در دماهای مختلف خشک کردن برای نمونه‌های فراصوت شده نشان می‌دهد که علاوه بر افزایش سرعت خشک کردن، زمان کلی خشک کردن در مقایسه با آنهایی که فراصوت نشده‌اند به حدود ۵۰ درصد کاهش پیدا کرده است. مدت زمان کلی خشک شدن نمونه‌ها (فراصوت شده و نشده) در جدول ۳ آورده شده است. فراصوت به عنوان مکمل روش کلاسیک خشک کردن با هوای داغ به دلیل پدیده کاویتاسیون باعث ایجاد برخی انقباض‌های

سریع و افزایش جرم که شبیه فشردن و رها یک اسفنج است می‌شود که این اثر اسفنجی به ایجاد کانال‌های میکروسکوپی توسط فراصوت کمک می‌کند و باعث تسهیل خروج آب از ماتریکس جامد می‌شود [۲۳]. اثرات مشابه فراصوت در کاهش زمان کلی خشک کردن برای محصولات کشاورزی برای خربزه [۲۳]، برای کلم بروکسل و گل کلم [۱۴]، برای پوست لیمو [۲۴] و برای نمونه سبب [۲۵] گزارش شده است؛ همچنین شکل ۲ سرعت خشک شدن نمونه‌های فراصوت شده و فراصوت نشده در برابر نسبت رطوبت را نشان می‌دهد که سرعت خشک شدن نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های فراصوت نشده بیشتر بوده است.

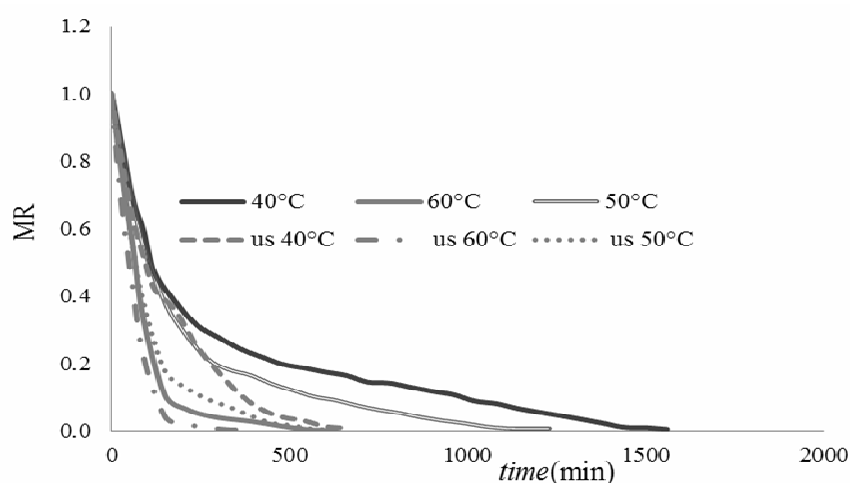


Fig 1 Experimental drying kinetics of the Poulk (*Stachy Sctachegleevii Sosn.*) without and with ultrasound application (us) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C.

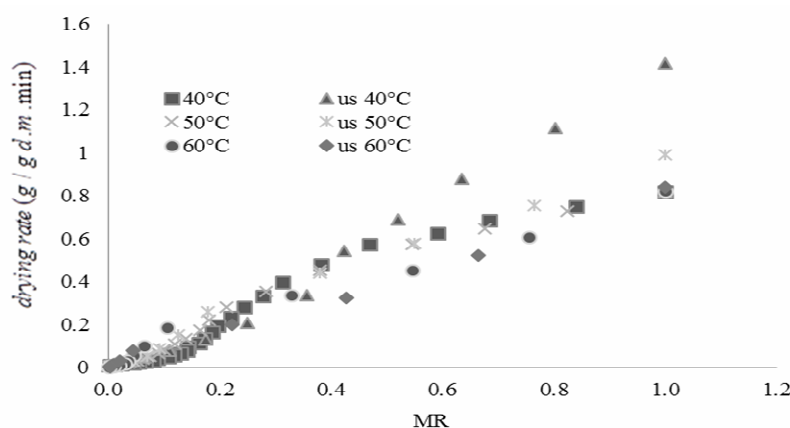


Fig 2. Drying rate curves of hot drying of untreated and ultrasound treated Poulk (*Stachy Sctachegleevii Sosn.*) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C.

همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل پیچ با بیشترین R^2 و حداقل RMSE و کای اسکور به طور مؤثری می‌تواند رفتار خشک شدن برگ گیاه پولک در آون هوای گرم در دماهای (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) را توصیف کند. از میان دیگر مدل‌های ریاضی مورد بررسی، مدل نمایی دو ترم، هندرسون و

۲-۳- مدل‌سازی ریاضی سرعت خشک کردن

جدول ۲، پارامترهای آماری ۹ مدل سرعت خشک کردن در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای نمونه برگ گیاه پولک (فراصوت نشده و فراصوت شده) را نشان می‌دهد؛

مدل مناسبی برای توصیف فرایند خشک کردن برگ بو باشد [۲۶]؛ همچنین با مدل‌سازی داده‌های تجربی سرعت خشک کردن و مقایسه آن با داده‌های پیش‌بینی شده گزارش کردند که مدل ورما بهتر می‌تواند فرآیند خشک کردن برگ گیاه drumstick را توصیف کند [۲۷].

مدل لگاریتمی به نظر می‌رسد که رفتار خشک کردن برگ گیاه پولک را به میزان کمتری توصیف کنند. محققان با استفاده از مدل پیچ، مدل پیچ اصلاح شده، مدل لگاریتمی و مدل هندرسون و پابیس، فرآیند سرعت خشک کردن برگ بو را مدل‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل پیچ می‌تواند

Table 1 Mathematical models applied to drying curves.

Model Name	Model
Newton	$MR = \exp(- kt)$
Henderson and Pabis	$MR = a' \exp(- kt)$
Logarithmic	$MR = a' \exp(- kt) + c$
Page	$MR = \exp(- kt^n)$
Two-term exponential	$MR = a' \exp(- kt) + (1 - a') \exp(- kat)$
Wang and Sing	$MR = 1 + a' t + b' t^2$
Approximation of diffusion	$MR = a' \exp(- kt) + (1 - a') \exp(- kbt)$
Modified Henderson and pabisdified	$MR = a' \exp(- kt) + b' \exp(- gt) + c' \exp(- ht)$
Verma	$MR = a' \exp(- kt) + (1 - a') \exp(- gt)$

a, b, c, n is coefficients in models and k, g, h is constants in models (s^{-1})

Table 2 Statistical results of 9 mathematical models at different drying conditions.

Model	un-ultrasound				ultrasound		
	T(°C)	RMSE	χ^2	R ²	RMSE	χ^2	R ²
Newton	40	0.0707377	0.00518253	0.98282278	0.065	0.0066667	0.97711530
	50	0.5923282	0.36680058	0.60687734	0.58818499	0.3747917	0.68800
	60	0.5460714	0.32304352	0.69765335	0.27409351	0.085	0.76392133
Henderson and Pabis	40	0.0591502	0.00375791	0.97599139	0.08272778	0.0035903	0.98705620
	50	0.5923282	0.38426727	0.60687734	0.58818499	0.4088636	0.68824720
	60	0.5460714	0.35241112	0.69765335	0.27409352	0.0965921	0.76392132
Logarithmic	40	0.2046997	0.04673685	0.57716581	0.24413438	0.0733558	0.60750815
	50	0.0438513	0.00722064	0.60687734	0.2601	0.12679	0.473900
	60	0.0763388	0.00223498	0.69765335	0.21910189	0.0720084	0.7639213
Page	40	0.0323611	0.00116807	0.993590	0.04183747	0.0022277	0.9965500
	50	0.0299671	0.00103277	0.997441	0.02108837	0.0005781	0.9979180
	60	0.0243198	0.00076889	0.997285	0.02616305	0.0010267	0.9981240
Two-term exponential	40	0.0501088	0.00269688	0.98922087	0.32955385	0.1241208	0.60750815
	50	0.1172373	0.0150536	0.98746392	0.58818499	0.4088636	0.68824721
	60	0.5460714	0.35241112	0.69765335	0.27409352	0.0965921	0.76392132
Wang and Sing	40	0.1484256	0.02366204	0.92556534	0.08956757	0.0091684	0.97907084
	50	0.1564256	0.06362043	0.92906534	0.09567579	0.0091684	0.97907084
	60	0.1467	0.1347	0.8222	0.10099532	0.0131143	0.96912634
Approximation of diffusion	40	0.0707349	0.00558075	0.98282522	0.05499741	0.0076907	0.798000
	50	0.5923282	0.40348064	0.60687734	0.59832822	0.4334806	0.63687734
	60	0.5360714	0.38765223	0.69765335	0.02909929	0.0089449	0.98772798
Modified Henderson and pabisdified	40	0.0480008	0.00290514	0.98288116	0.08700085	0.0067051	0.98952880
	50	0.5785710	0.66671883	0.68824902	0.57157114	0.6067166	0.68824721
	60	0.1159	0.278904	0.9295	0.046792	0.0088459	0.98880794
Verma	40	0.0480008	0.00256993	0.98288125	0.32955385	0.1336686	0.60750816
	50	0.5923282	0.4034806	0.6068773	0.58818499	0.4497500	0.68824721
	60	0.5460714	0.38765223	0.69765335	0.0437914	0.0064229	0.98880734

۳-۳- ارزیابی ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

(Deff)

داده‌های ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برای نمونه‌های فراصوت شده و فراصوت نشده در جدول ۳ آورده شده است. مقادیر داده‌های ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از محدوده $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $4/52 \times 10^{-10}$ به دست آمد؛ همان‌طور که در نمونه‌های فراصوت شده و فراصوت نشده مشاهده می‌شود، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت با افزایش دما از ۴۰ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است؛ همچنین در جدول ۳ ملاحظه می‌شود در نمونه‌های فراصوت شده برای دماهای مختلف خشک کردن، مقادیر ضریب نفوذ رطوبت ($4/52 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ تا 10^{-10}) در مقایسه با نمونه‌های فراصوت نشده بیشتر بوده است (شکل ۳ و جدول ۳). با بررسی ضریب نفوذ مؤثر رطوبت یک گونه موز خشک شده در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، محققان گزارش دادند که ضریب انتشار مؤثر رطوبت برای دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک کردن ($D_{eff} = 8/9 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) در مقایسه با دیگر دماها بیشتر بوده است [۲۸]؛ همچنین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برای برگ گیاه drumstick³ خشک شده با هوای گرم برای دماهایی ۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد از $3/89 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $2/40 \times 10^{-9}$ گزارش شده است [۲۷]. با توجه به تأثیر فراصوت بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت، براساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر، می‌توان گفت که فراصوت باعث افزایش انتشار مؤثر رطوبت شده است که این به دلیل تشکیل کانال‌های میکروسکوپی در طول اعمال امواج فراصوت قبل از فرایند خشک کردن بوده است که این به نوبه خود، باعث تسهیل انتقال جرم، افزایش خروج رطوبت و در نهایت باعث تسریع خشک کردن شده است. اثرات مشابه فراصوت بر افزایش انتشار مؤثر رطوبت، برای خشک کردن میوه‌ها [۷] و برای اسلایس‌های گوجه‌فرنگی

گزارش شده است [۱۵]. جدول ۳ مقدار متوسط انرژی فعال‌سازی (E_a) برای نمونه‌های فراصوت نشده و فراصوت شده در دماهای مختلف خشک کردن را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمونه‌های فراصوت نشده در مقایسه با نمونه‌های فراصوت شده انرژی فعال‌سازی کمتر بوده است ($E_a = 20/49 \text{ kJ/mol}$).

۳-۴- نسبت جذب مجدد آب

خشک کردن باعث تغییر ساختار و بافت مواد گیاهی شده و از این رو باعث عدم برگشت پذیری به ویژگی‌های اولیه آن می‌شود؛ بنابراین جذب مجدد آب به عنوان شاخص شدت فرایند خشک کردن و آسیب به بافت مواد غذایی شناخته شده است [۲۰، ۳۰، ۲۹]. جذب مجدد آب شامل سه فرآیند به طور همزمان: انتشار آب به درون ماده خشک، انبساط محصول و خروج آب از محصول جامد است [۳۱]. شکل ۴ فرایند افزایش قابلیت جذب مجدد آب در نمونه‌های خشک شده برگ گیاه پولک در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد (فراصوت شده و فراصوت نشده) به عنوان تابعی از زمان را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، با افزایش زمان بازآبدی، جذب مجدد آب افزایش یافته اما پس از یک زمان مشخصی این مقدار ثابت مانده است و همچنین نمونه‌های فراصوت شده مقدار جذب مجدد آب بالاتری را در مقایسه با نمونه‌هایی که فراصوت نشده‌اند را نشان می‌دهد. براساس مشاهدات، بالاترین سرعت باز جذب آب مربوط به نمونه‌های فراصوت شده و خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد هوای گرم ($RR = 2/21033$) بوده است که در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0/05$) هیچ اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های فراصوت نشده و خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد ($RR = 2/18167$) نداشته است (شکل ۵).

ارتباط بین افزایش بازآبدی با افزایش دما می‌تواند ناشی از افزایش سرعت خشک شدن و در نتیجه کاهش میزان

توسط امواج فراصوت باشد که به انتقال جرم در طول فرآیند خشک کردن توسط هوای گرم کمک می‌کند؛ بنابراین در طول فرایند جذب مجدد آب، نمونه‌ها در زمان کوتاه‌تری آب بیشتری جذب می‌کنند.

چروکیدگی نمونه‌ها باشد که به حفظ بافت نمونه کمک می‌کند؛ همچنین فراصوت به عنوان یک پیش تیمار، بیشترین تأثیر را بر جذب مجدد آب نمونه‌های خشک شده دارد که این می‌تواند به علت تشکیل کانال‌های میکروسکوپی ایجاد شده

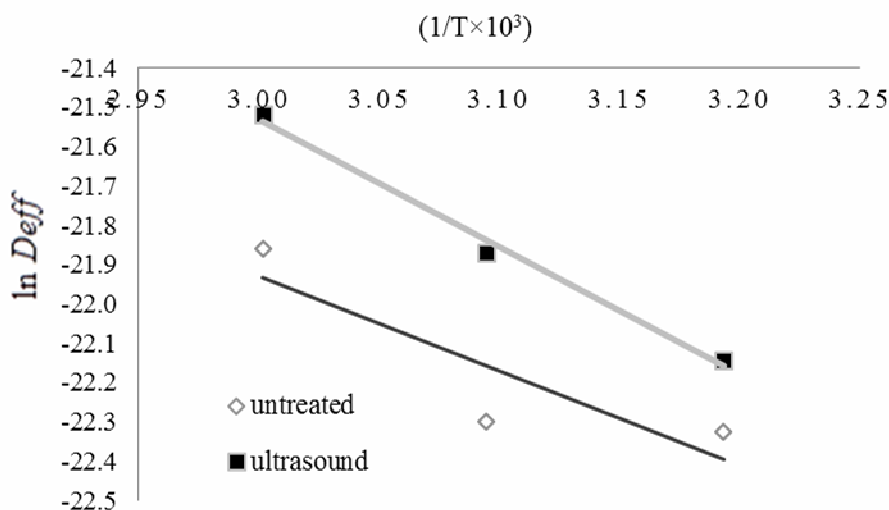


Fig 3 Relationship between the effective diffusivity the drying temperature of Poulk (*Stachys Sctachegleevii* Sosn.) dried without and with ultrasound application.

Table 3 The effective moisture diffusion coefficient during drying of Poulk (*Stachys Sctachegleevii*

Treatment	Drying time (min)	$D_{eff} \times 10^{-10}$ (m ² /s)	E_a (kJ/mol)	D_0 (m ² /s)
40 °C	1560	2.016		
50 °C	1230	2.07	20.049	2.687
60 °C	630	3.21		
us 40°C	780	2.42		
us 50°C	630	3.18	27.068	2.465
us 60°C	360	4.52		

Sosn.) untreated and submitted to ultrasonic treatment (us) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C.

با هوای گرم در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، جذب مجدد آب با افزایش دما تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته در حالی که این شاخص در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل بالا رفتن بیش از حد دما و آسیب به بافت گیاه کاهش یافته است [۳۲].

اثرات مشابه پیش تیمار فراصوت بر جذب مجدد آب برای سیب [۱۶] و برای قارچ، کلم بروکسل و گل کلم [۱۴] گزارش شده است که باعث تغییر در خصوصیات جذب مجدد آب در مقایسه با نمونه‌های فراصوت نشده، شده است. با بررسی ظرفیت جذب مجدد آب مارچوبه (*Asparagus maritimus L.*) خشک شده

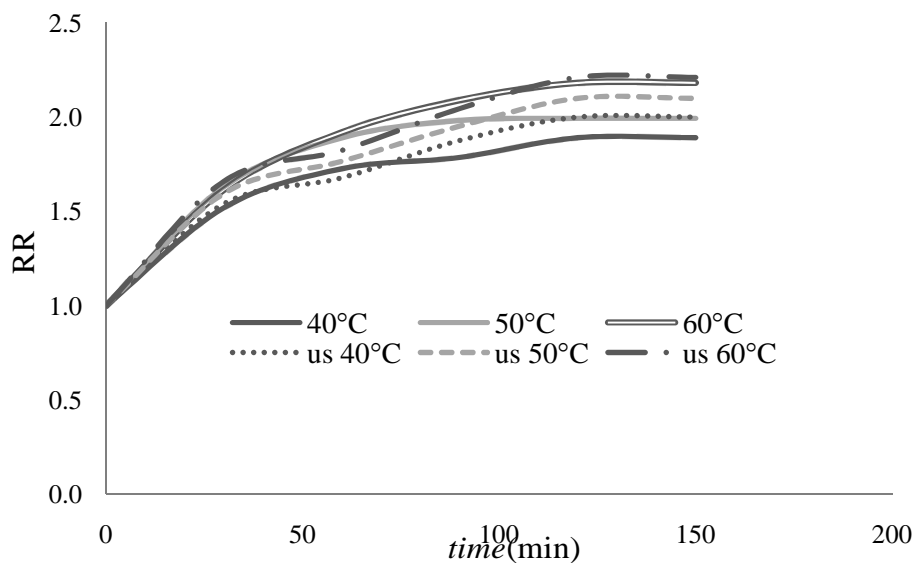


Fig 4 Rehydration rate curves of dried Poulk (*Stachys Sctachegleevii Sosn.*) untreated and submitted to ultrasonic treatment (us) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C.

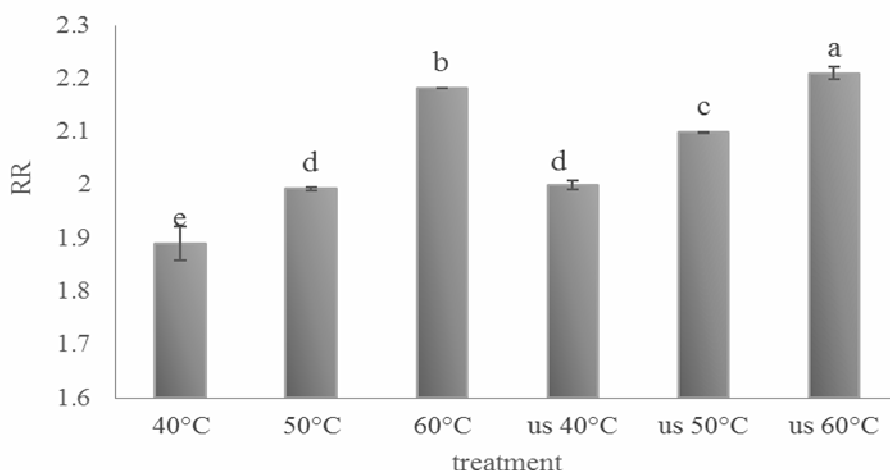


Fig 5 Rehydration ratio (RR) of dried Poulk (*Stachys Sctachegleevii Sosn.*) untreated and Submitted to ultrasonic treatment (us) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C. a, b, c, d- groups which differed statistically significantly ($p < 0.05$) from one another according to drying procedure.

۵۰ درجه سانتی‌گراد پایداری بالایی دارد؛ در صورتی که با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان دهنده غالب بودن اثر دما بر کاهش ترکیبات فنلی در هر دو نمونه‌های فراصوت نشده و فراصوت شده می‌باشد؛ بنابراین بیشتر بودن ترکیبات فنلی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد را می‌توان به غیرفعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده ترکیبات فنلی در این دما دانست [۳۳]؛ در حالی که با افزایش دما به ۶۰ درجه سانتی-گراد، تخریب ساختار فنلی و همچنین دیواره سلولی و رها شدن و نابودی ترکیبات فنل‌دار در گیاه پولک را در پی داشته

۳-۵- مقدار ترکیبات فنلی کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

شکل ۶ اثر دما و امواج فراصوت بر مقدار ترکیبات فنلی گیاه پولک خشک شده در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد هوای گرم را نشان می‌دهد. در هر دو نمونه‌های فراصوت نشده و فراصوت شده، مقدار ترکیبات فنلی از دمای ۴۰ به ۵۰ درجه سانتی‌گراد هوای گرم بیشتر بوده است که این نشان دهنده این است که در این گیاه محتوای ترکیبات فنلی در دمای

موجود در محیط واکنش مهار شوند، با توجه به این که EC_{50} ، کمتر نشان دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر است؛ بنابراین با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های فراصوت نشده کمتر بوده است. این گیاه پایداری بالای ترکیبات فنلی کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد. محققان با اعمال پیش تیمار فراصوت با فرکانس ۳۷ کیلوهرتز در زمان‌های مختلف موج دهی بر روی سیب و سپس خشک کردن توسط هوای گرم در دمای تقریبی ۵/۷۱ درجه سانتی‌گراد، کاهش ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در سیب فراصوت شده گزارش داده‌اند [۳۵]. تأثیر پیش تیمار فراصوت با فرکانس بالا بر روی یک گونه از زغال اخته مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که فرکانس بالای فراصوت تأثیر منفی روی ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی-اکسیدانی داشته است [۳۶]. محققان با اعمال پیش تیمار فراصوت بر روی تکه‌های سیب و سپس خشک کردن در دمای پایین به این نتیجه رسیدند که فراصوت باعث تخریب ترکیبات فنلی و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شده است و اینطور بیان کردند که این اختلال می‌تواند ناشی از استرس مکانیکی امواج صوتی در تخریب سلول‌های بافت سیب باشد [۳۷].

است؛ در واقع علت بیشتر بودن ترکیبات فنلی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد را می‌توان به تأثیر نوع بافت گیاه پولک در آزادسازی بیشتر ترکیبات فنلی در این دما دانست که در یک تحقیق مشابه با بررسی اثر دماهای ۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد هوای گرم بر میزان ترکیبات فنلی عصاره پالپ سیب، بیشترین میزان پایداری ترکیبات فنلی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد هوای گرم گزارش شده است [۳۳]؛ همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، محتوای ترکیبات فنلی در نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های فراصوت نشده برای دماهای خشک کردن ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد کمتر بوده است و مقدار بالای ترکیبات فنلی، در نمونه فراصوت نشده و خشک شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد ($63/761 = \text{گرم/میلی‌گرم}$) اسید گالیک) گزارش شده است که در سطح احتمال ۵ درصد با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت ($p < 0/05$). شکل ۷، فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ گیاه پولک فراصوت نشده و فراصوت شده را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت ترکیبات فنلی به دلیل افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود در محیط واکنش، احتمال دادن هیدروژن به رادیکال‌های آزاد و به دنبال آن قدرت مهارکنندگی عصاره افزایش می‌یابد [۳۴]. معمولاً برای مقایسه فعالیت ضد رادیکالی نمونه‌ها از فاکتوری تحت عنوان EC_{50} استفاده می‌شود که به غلظتی از عصاره مربوط می‌شود که در آن ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد (DPPH)

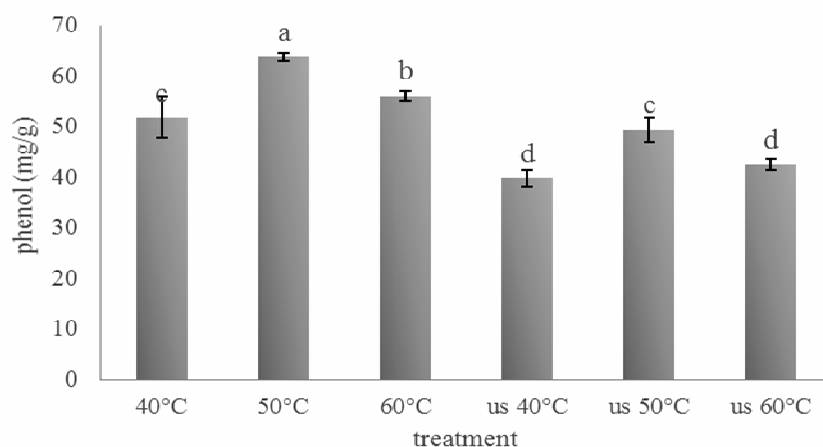


Fig 6 The ultrasound phenolic compounds of dried Poulk (*Stachys Sctachegleevii* Sosn.) untreated and submitted to ultrasonic treatment (us) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C. a, b, c, d- groups which differed statistically significantly ($p < 0.05$) from one another according to drying procedure

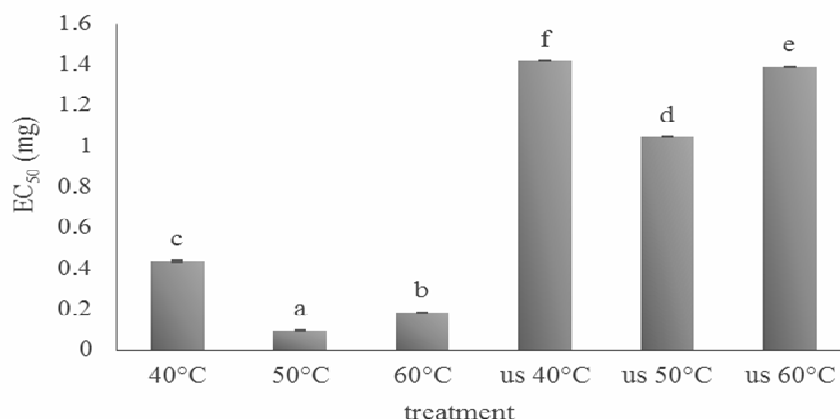


Fig 7 The antioxidant capacity of dried Poulk (*Stachys Sctachegleevii Sosn.*) untreated and Submitted to ultrasonic treatment (us) at 1m/s and temperature of 40, 50 and 60°C. a, b, c, d- groups which differed statistically significantly ($p < 0.05$) from one another according to drying procedure

Azerbaijan about medicinal plants, <http://azaran. areo.ir>

- [2] Mikaili, P., Jazani, N.H., Shayegh, J., Haghghi, N., Aghamohammadi, N., Zartoshti, M., Urmia, I. 2011. The aerial parts of *Stachys schtschegleevii* Sosn. as hydroalcoholic extract has antibacterial Activity on Multi-Drug Resistant Bacterial Isolates in Comparison to Ciprofloxacin. *Journal of American Science*, 7(8).
- [3] Shi, J., Nawaz, H., Pohorly, J., Mittal, G. 2005. Extraction of Polyphenolics from Plant Material for Functional Foods-Engineering and Technology. *Food Reviews International*, 21, 1-12.
- [4] Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H.I. 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26(5), 457-465.
- [5] Rocha, R.P., Melo, E.C., Radunz, L.L. 2011. Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7076-7084.
- [6] Fellows, P. 1990. *Food processing technology, principles and practice*. Ellis Horwood, New York.
- [7] Fernandes, F.A.N. Rodrigues, S. 2011. Ultrasound application as pre-treatment for drying of fruits. In *Proceedings of the International Congress on Engineering and Food* (Vol. 3, pp. 1987-1989).
- [8] Aghae, M., Alizadeh, M., Saadation, M., Riahi, S., Jangjou, Kh. 2013. Effect of growing stages and drying methods on quality of shahsparam (*Tanacetum balsamital*

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعه تأثیر پیش تیمار فراصوت بر روی برخی خواص فیزیکی و شیمیایی گیاه پولک خشک شده با هوای گرم به این شرح است: زمان مورد نیاز برای خشک کردن نمونه‌های فراصوت شده در مقایسه با نمونه‌های فراصوت نشده تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰ درصد بر پایه وزن تر به حدود ۵۰ درصد کاهش پیدا کرد؛ همچنین کوتاه‌ترین زمان خشک کردن مربوط به نمونه‌های فراصوت شده و خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. مقدار ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های فراصوت شده در تمامی دماهای خشک کردن در این پژوهش نسبت به نمونه‌های فراصوت نشده کمتر بود. نمونه‌های فراصوت شده جذب مجدد آب و ضریب انتشار مؤثر رطوبت بالاتری داشتند. بالاترین سرعت باز جذب آب و انتشار مؤثر رطوبت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد هوای گرم به دست آمد. با مدل‌سازی سینتیک داده‌های خشک کردن با داده‌های برازش شده براساس مدل تجربی، مدل پیچ به عنوان بهترین مدل برای خشک کردن با هوای گرم انتخاب شد و بالاترین ضریب همبستگی (R^2) و حداقل RMSE و کای اسکور (χ^2) برای نمونه‌های فراصوت شده و خشک شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد.

۵- منابع

- [1] The report of Agriculture and Natural Resources Research Center of East

- [19] Cunningham, S.E., Mcminn, W.A.M., Magee, T.R.A., Richardson, P.S. 2008. Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders. *Food and Bioproducts Processing*, 86(1), 15-24.
- [20] Lewicki, P. P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 36(1), 81-87.
- [21] Slinkard, K., Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
- [22] Blois M. S, (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 26, 1199-1200.
- [23] Fernandes, F. A.N., Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 261-267.
- [24] García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A., Riera, E., Mulet, A. 2009. Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel. *Drying Technology*, 27(2), 281-287.
- [25] Rodríguez, Ó., Santacatalina, J. V., Simal, S., Garcia-Perez, J. V., Femenia, A., Rosselló, C. (2014). Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. *Journal of Food Engineering*, 129, 21-29.
- [26] Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K., Degirmencioglu, A. 2004. Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, 88(3), 325-335.
- [27] Premi, M., Sharma, H.K., Sarkar, B.C., Singh, C. 2010. Kinetics of drumstick leaves (*Moringa oleifera*) during convective drying. *African Journal of Plant Science*, 4(10), 391-400.
- [28] John, S.G., Sangamithra, A., Veerapandian, C., Sasikala, S., Sanju, V. 2014. Mathematical Modelling of the Thin Layer Drying of Banana Blossoms. *J Nutritional Health Food Engg*, 1(2), 8.
- [29] Doymaz, I. 2004. Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 341-346.
- [30] Falade, K. O., Abbo, E. S. 2007. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 724-730.
- [31] Lee, K.T., Farid, M., Nguang, S.K. 2006. The mathematical modelling of the L.). *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5(2), 168-172.
- [9] De la Fuente-Blanco, S., De Sarabia, E. R. F., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., Gallego-Juárez, J. A. 2006. Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523-e527.
- [10] Mehmandoost, N., Kadkhodae, R., Hamed, M. 2011. Combined effect of ultrasound and heat on orange pectin methylesterase. *Food Science and Technology*, 8(29), 101-110.
- [11] Wu, J., Gamage, T.V., Vilku, K.S., Simons, L.K., Mawson. 2008. Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technology*, Tech9, 186-195.
- [12] Vercet, A., Sánchez, C., Burgos, J., Montañés, L., Buesa, P.L. 2002. The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 53(3), 273-278.
- [13] Adekunte, A.O., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., Scannell, A.G.M., O'Donnell, C.P. 2010. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3), 500-507.
- [14] Jambrak, A.R., Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lelas, V. 2007. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 88-97.
- [15] Poursaeedi, Sh., Zokidizaji, H., Bahrami, H. 2012. Effect of ultrasonic waves as a pre-treatment on tomato drying. The 1st Middle-East Drying Conference (MEDC 2012).
- [16] Nowacka, M., Wiktor, A., Ślędz, M., Jurek, N., Witrowa-Rajchert, D. 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113(3), 427-433.
- [17] AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical Chemists, Washington. DC.
- [18] Caceres, A. 2000. Calidad de la material prima para la elaboracion de productos fitofarma ceuticas. Primer Congreso Internacional FITO Por la investigacion. Conservacion diffusion del conocimiento de las plantas medicinals. Lima, Peru.

- polyphenolic constituents. *Food Research International*, 32, 407–412.
- [35] Opalić, M., Domitran, Z., Komes, D., Belščak, A., Horžić, D., Karlović, D. 2009. The effect of ultrasound pre-treatment and air-drying on the quality of dried apples. *Czech Journal of Food Sciences* 27(Special Issue), S297-S300.
- [36] Stojanovic, J., Silva, J. L. 2007. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101(3), 898-906.
- [37] Santacatalina, J., Rodríguez, O., Simal, S., Cárcel, J. A., Mulet, A., García-Pérez, J. V. 2014. Ultrasonically enhanced low-temperature drying of apple: Influence on drying kinetics and antioxidant potential. *Journal of Food Engineering*, 138, 35-44.
- rehydration characteristics of fruits. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 16-23.
- [32] Jokic, S., Mujic, I., Martinov, M., Velic, D., Bilic, M., Lukinac, J. 2009. Influence of drying procedure on colour and rehydration characteristic of Wild Asparagus. *Czech J. Food Sci*, 27(3), 171-177.
- [33] María Elena, H.R., Armando Quintero, R., Alejandro, A.D., John, B., Ricardo Talamás, A., José Vinicio Torres, M., Erica Salas, M. 2012. Effect of blanching and drying Temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple Pomace. *Food Bioprocess Technol*, 5, 2201–2210.
- [34] Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., Saura-Calixto, F. 1999. Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidation of wines, grape juices and related

Drying of ultrasound pre-treatment Poulk leaves (*Stachys schtschegleevii Sosn.*) and survey of its physical and chemical properties

Khodaei, H. ¹, Asefi, N. ^{2*}

1. M.Sc Graduate in Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

(Received: 2016/02/27 Accepted: 2016/05/03)

Using the ultrasound waves has been studied as a new pre-treatment for food drying in recent years. The aim of the present research is survey of the ultrasound pre-treatment effects (59 kHz, 10 min) on some physical and chemical properties of dried Poulk leaves (*Stachys schtschegleevii Sosn.*) using by hot dry at 40, 50 and 60°C with air velocity of 1 m/s. The results of this research showed that the lowest drying time, total phenol, antioxidant capacity and the maximum drying kinetics, reabsorption of water, and diffusion coefficient (2.42×10^{-10} to $4.52 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) was observed in the ultrasound pre-treatment samples, additionally the activation energy in untreated samples was less compared to ultrasound samples. The fitted mathematical models of rate drying with the experimental data showed the model Page can satisfactory describe the rate drying curve of Poulk leaves by hot air with high correlation coefficient ($R^2=0.998$), the minimum root mean square error (RMSE=0.02109), and chi-square ($\chi^2=0.00058$).

Keywords: Poulk, Drying, Antioxidant capacity, Ultrasound, Phenol

* Corresponding Author E-Mail Address: n.asefi@iaut.ac.ir