مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

خشک کردن هوای داغ نعناع: مدلسازی تغییرات افت وزن، ترکیبات فنولی و خواص آنتی اکسیدانی با روش سطح پاسخ

نرجس آقاجانی [۱]*، امیر دارائی گرمه خانی [۲]، عباسعلی ساری [۳]، محمد امین نوروزی [٤]

۱- استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۳- استادیار، گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده پیرا دامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

٤- دانش آموخته کارشناسی، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱ /۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸

کلمات کلیدی:

خشک کردن هوای داغ،

برگ نعناع،

ترکیبات فنولی،

ویژگی‌های آنتی اکسیدانی،

روش سطح پاسخ.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6

* مسئول مکاتبات:

naghajani@basu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تأثیر دما و زمان خشک کردن هوای داغ بر میزان افت وزن، ترکیبات فنولی کل و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی برگ نعناع بررسی و با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن و ترکیبات فنولی کل برگ نعناع افزایش یافت و زمان خشک کردن تأثیر بیشتری بر تغییرات این دو پارامتر در مقایسه با دمای خشک کردن داشت. ترکیبات فنولی کل نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت اما با افزایش دمای خشک کردن در ابتدای فرآیند میزان ترکیبات فنولی کل نمونه‌ها افزایش یافت. قابلیت مهار رادیکال فعال DPPH نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن (تا ۱۷٦ دقیقه) کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت. نتایج نشان داد که اعمال دماهای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش مهار DPPH شد و دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه‌ها شد. افزایش زمان و دمای خشک کردن باعث کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی و فعالیت احیاء کنندگی آهن (FRAP) نمونه‌ها شد که شیب تغییرات FRAP و ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها با تغییرات زمان خشک کردن شدیدتر از تغییرات دمای خشک کردن می‌باشد. بهترین شرایط برای خشک کردن هوای داغ برگ‌های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۹/۹۱ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن، ترکیبات فنولی کل، درصد مهار رادیکال DPPH نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ٦۹/۹۸٪، ٦/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و ۸۹/٦۸٪ می‌باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷٤٦ می‌باشد. نتایج اعتبار سنجی شرایط بهینه در شرایط واقعی بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش‌بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می‌باشد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

۱- مقدمه

نعناع با نام علمی (*Mentha sativa* L.) گیاهی است از راسته نعناع سانان و تیره نعناعیان و از سبزی‌های خوراکی است که حاوی اسانس هستند و به طور گسترده به عنوان محصولات صنعتی برای تولید اسانس کشت می‌شوند اما با توجه به حجم بالای تولید نعناع بخش عمده‌ای از آن دست نخورده باقی می‌ماند که به علت رطوبت بالای نعناع در معرض فساد بوده و میزان ضایعات آن بسیار بالاست و در صورت عدم استفاده و یا نگهداری مناسب بخش عمده آن از بین می‌رود. برگ‌ها، گل‌ها و ساقه‌های نعناع به طور سنتی به عنوان دم‌نوش‌ها و ادویه‌های گیاهی در بسیاری از غذاها برای افزودن عطر و طعم استفاده می‌شوند. نعناع به صورت برگ‌های خشک یا تازه برای ایجاد عطر نعناعی در آشپزی استفاده می‌شود. برگ‌های نعناع دارای طعمی گرم، تازه، معطر، شیرین با طعم نهایی خنکی هستند و در چای، نوشیدنی، ژله، شربت، آب نبات و در صنعت لبنیات برای ماست، دوغ و بستنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نعناع در اصل به عنوان گیاه دارویی برای درمان درد معده و دردهای قفسه سینه مورد استفاده قرار می‌گرفته است. از اسانس نعناع نیز در صنعت داروسازی با هدف خوشبو کنندگی دهان در تولید خمیر دندان و دهان‌شویه استفاده می‌شود. از آنجا که تولید نعناع بسیار بالاست توجه به روش‌های فرآوری و نگهداری آن ضروری است. برگ خشک شده نعناع به عنوان چاشنی کاربرد فراوانی داشته و ارزش اقتصادی بالایی به همراه دارد اما بایستی به نحوی عملیات خشک کردن صورت بگیرد که محصولی با حداکثر مواد عطر و طعمی تولید گردد. خشک کردن به عنوان یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی شامل هم‌زمان پدیده‌های انتقال جرم و حرارت می‌باشد [۱]. خشک کردن دارای مزایایی نظیر افزایش عمر نگهداری، کاهش حجم و وزن و بسته بندی محصول، تقلیل هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری و امکان دست‌یابی به میوه‌جات و مواد غذایی فصلی در تمام طول سال و با کیفیت عالی می‌باشد [۲]. در عملیات خشک کردن، سه اصل کلی می‌بایست رعایت شود که عدم توجه به هر کدام از این اصول ممکن است محصول را دچار آسیب‌های جدی از لحاظ کیفیت و بافت کند. این اصول عبارتند از: انتخاب بهترین نوع خشک کن برای محصول، انتخاب بهترین تیمار در هر یک از مکانیسم‌های خشک کردن و حفظ خواص کمی و کیفی محصول حین خشک کردن [۳]. به دلیل طولانی بودن فرآیندهای خشک کردن، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی محصول نظیر شکل، رنگ، بافت، طعم و ... تحت تأثیر قرار گرفته و ممکن است اثرات نامطلوبی بر ترکیبات مواد مغذی، ویژگی‌های کیفی و شیمیایی محصول بگذارد [٤]. مهم‌ترین تغییرات نامطلوب مواد غذایی در حین فرآیند خشک کردن شامل تغییر رنگ و ارزش تغذیه‌ای در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن، بدبویی، تجزیه و کاهش ویتامین‌های محلول در چربی به علت اکسیداسیون چربی‌ها، افت رنگ ناشی از تجزیه رنگ دانه‌های کاروتنوئیدی، چروکیدگی و عدم باز جذب مناسب آب فرآورده و حلالیت آن، تغییرات نامطلوب بافت (سخت و لاستیکی شدن پوسته محصول) و نهایتاً اتلاف ترکیب‌های آلی فرار مسئول ایجاد عطر و طعم در ماده غذایی می‌باشند [۷-۵]. فاکتورهای زیادی نظیر زمان و دمای خشک کردن، اندازه و ضخامت ماده غذایی، فاصله از منبع حرارتی، میزان رطوبت و سطح ماده غذای و ... بر سرعت خشک کردن ماده غذایی موثر هستند [۸]. در زمینه بهینه سازی و مدل‌سازی فرآیند خشک کردن مطالعات زیادی صورت گرفته است تا ضمن افزایش سرعت و راندمان خشک کردن اثرات سوء طولانی شدن زمان خشک کردن بر ماده غذایی را کاهش دهند. نتایج آزمایشات دویماز و همکاران (۲۰۰٦) در بررسی رفتار خشک کردن لایه نازک برگ‌های نعناع در محدوده دمای ۰۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد در خشک کن کابینتی نشان داد که افزایش دما به میزان قابل توجهی باعث کاهش زمان خشک شدن برگ‌های نعناع گردید و با افزایش دما، شدت خشک شدن افزایش یافت [۹]. بر اساس تحقیقات آکپینار و همکاران (۲۰۰٦) در بررسی رفتار خشک کردن برگ‌های جعفری در خشک کن همرفتی با دماهای مختلف با سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه و خشک کردن سنتی با نور خورشید با همرفت طبیعی مشاهده شد که در منحنی‌های خشک کردن دوره سرعت ثابت وجود ندارد و فرآیند خشک کردن همواره با کاهش رطوبت در واحد زمان همراه است [۱۰]. در مطالعات ازبک و دادالی (۲۰۰۷) در مورد خشک کردن برگ‌های نازک نعناع توسط مایکروویو نتایج حاکی از آن بود که با افزایش قدرت خروجی مایکروویو از ۱۸۰ تا ۹۰۰ وات، زمان خشک شدن از ۱۲/۵ تا ۳۰ دقیقه کاهش می‌یابد [۱۱]. مطالعات زیادی در زمینه روش‌های سریع خشک کردن نظیر خشک کردن ماکروویو،

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

خشک کردن فرو سرخ و خشک کن‌های ترکیبی در مواد غذایی مختلف صورت گرفته است که همگی موید کارائی و تأثیر معنی‌دار خشک کردن با این روش‌ها در افزایش سرعت خشک کردن و خروج رطوبت از بافت مواد غذایی و کاهش زمان خشک کردن می‌باشد. کاهش زمان فرآیند طی خشک کردن منجر به تولید محصولی با حداقل افت مواد مغذی و تغییرات نامطلوب رنگ می‌شود. اما با توجه به اینکه عمده کارگاه‌ها و کارخانه‌های خشک کردن مواد غذایی از خشک کن‌های هوای داغ استفاده می‌کنند لذا تعیین شرایط بهینه خشک کردن به منظور دست‌یابی به محصولی با ماندگاری بالا و دارا بودن بیشترین ترکیبات زیست فعال و مؤثره بسیار اهمیت دارد. بنابراین در این تحقیق امکان تولید برگ نعناع خشک شده مطلوب با استفاده از روش خشک کردن هوای داغ بررسی و تأثیر پارامترهای دما و زمان خشک کردن هوای داغ بر افت وزن، ترکیبات فنولی و تغییرات خواص آنتی اکسیدانی (مهار رادیکال DPPH، FRAP و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل) برگ خشک شده نعناع بررسی و با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خشک کردن هوای داغ

در این مطالعه نعناع از بازار میوه و تره بار همدان خریداری و پس از شست شو و تمیز کردن در دماها (۶۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های (۳۰۰-۵۰ دقیقه) در آون فن دار ساخت ایران (فن آزما گستر) خشک گردید. محدوده دما و زمان مورد استفاده برای خشک کردن از طریق آزمون و خطا و رسیدن به رطوبت تعادلی انتخاب شد. میزان کاهش وزن برگ‌های نعناع طی خشک کردن به عنوان اتلاف رطوبت بیان و از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$WR= M_0-M_t / M_0 \times ۱۰۰$$

که در رابطه فوق WR درصد کاهش وزن برگ‌های نعناع، M_0 جرم اولیه برگ‌های نعناع (gr)، M_t جرم برگ‌های نعناع پس از خشک در زمان t (gr) می‌باشد [۱۳-۱۲].

۲-۲- اندازه گیری مقدار ترکیبات فنولی کل

میزان ترکیبات فنولی کل با استفاده از روش فولین سیوکالتو ارزیابی شد [۱۴]. به این صورت که ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره با ۲/۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین به آن اضافه گردید و پس از ۵ دقیقه قرارگرفتن در محیط تاریک، ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۷/۵ درصد به محلول اضافه شد سپس لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه درون بن ماری ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتری در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. مقادیر ترکیبات فنولی کل عصاره‌ها با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم اسید گالیک در وزن خشک نمونه محاسبه گردید [۱۴].

۲-۳- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش قدرت احیاء کنندگی

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش قدرت احیاکنندگی آهن سه‌ظرفیتی توسط روش ییلدریم و همکاران [۳۵]، انجام شد. در این روش، یک میلی‌لیتر از عصاره‌ها با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات و ۲/۵ میلی‌لیتر فری سیانید پتاسیم مخلوط گردید. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید به مخلوط اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۷۰۰g) شدند. سپس، از محلول رویی با ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر کلرید آهن۳ مخلوط شد و جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتری در طول موج ۷۰۰ نانومتر قرائت شد. برای رسم نمودار استاندارد از استاندارد اسید گالیک استفاده گردید. میزان جذب نشان دهنده قدرت احیاء کنندگی عصاره‌ها می‌باشد [۱۷-۱۶].

۲-۴- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش به دام اندازی رادیکال دی پی پی اچ (DPPH)

برای اندازه‌گیری درصد مهار DPPH عصاره‌های استخراجی، ابتدا ۱ میلی‌لیتر از محلول متانولی یک میلی مولار DPPH با ۳ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌نمونه‌ها ترکیب و به شدت مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگه‌داری و در نهایت جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. فعالیت بر حسب درصد مهار DPPH طبق معادله ۲ محاسبه شد [۱۹-۱۸].

درصد مهار DPPH =

$$\frac{\text{درصد جذب شاهد} - \text{درصد جذب نمونه}}{\text{درصد جذب شاهد}} \times ۱۰۰$$

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

۲-۵- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، ابتدا ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول معرف (مخلوط اسیدسولفوریک، فسفات سدیم، مولیبدات آمونیوم) آماده شد. نیم میلی‌لیتر عصاره با ۵ میلی‌لیتر محلول معرف مخلوط گردید، سپس به مدت ۹۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن تا دمای اتاق، جذب نمونه‌ها در طول موج ٦٩٥ نانومتر با اسپکتوفتومتر قرائت شد. برای تهیه نمودار استاندارد از گالیک اسید استفاده شد [۲۱و۲۰].

۲-٦- تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی

در این مطالعه محدوده‌ی متغیرهای مستقل دما (X_1) و زمان خشک کردن (X_2) از آزمون‌های اولیه تعیین گردید. بهینه-سازی شرایط خشک کردن هوای داغ برگ نعناع تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن با استفاده از روش سطح پاسخ (نرم افزار Design Expert 11.1.2.0 [1]) و طرح مرکب مرکزی (CCD[2]) با ۳ سطح و ۵ تکرار در نقطه مرکزی انجام شد (۱+، ۰، ۱-) (جدول ۱). طرح آزمایشی با سطوح واقعی متغیرهای مستقل زمان و دمای خشک کردن هوای داغ و نتایج مربوط به تغییرات وزن، ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی برگ نعناع تحت تأثیر متغیرهای مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ در جدول (۲) ارائه شده است.

Table 1 Independent variables and their applied levels for optimizing hot oven drying of mint leaves

Independent variables	Variables level		
	-1	0	+1
Drying temperature (^{0}C)	40	50	60
Drying time (minute)	52	176	300

۲-٤-۱- اعتبار سنجی شرایط بهینه خشک کردن هوای داغ برگ نعناع

جهت ارزیابی صحت مدل‌ها و روابط حاصل از بهینه سازی با روش سطح پاسخ و نیز اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل، نمونه‌های برگ نعناع در شرایط واقعی (شرایط بهینه دما و زمان حاصل از مدلسازی)، خشک و ویژگی‌های کیفی نظیر افت وزن، میزان ترکیبات فنولی کل و خواص آنتی اکسیدانی نمونه‌های تولیدی بررسی و جهت ارزیابی دقت مدل پیش بینی شده با نرم افزار مورد استفاده قرار گرفتند.

1. Design Expert, 11.1.2.0 Trial, Stat-Ease Inc.
2. Central Composite Design

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات افت وزن (رطوبت) برگ‌های نعناع طی خشک کردن هوای داغ

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود میزان اتلاف وزن نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷٦ دقیقه روند صعودی دارد اما در زمان‌های طولانی‌تر خشک کردن (بالاتر از ۱۷٦ دقیقه) میزان اتلاف وزن نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دمای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) برگ‌های نعناع روند نزولی دارد و سپس با افزایش دمای خشک کردن افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود زمان خشک کردن تأثیر بیشتری بر افت وزن برگ‌های نعناع در مقایسه با دمای خشک کردن دارد. بالاترین میزان افت وزن (۸۱/۷۰٪) مربوط به محدوده دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۱۷٦ دقیقه می‌باشد در حالی که کم‌ترین مقدار افت وزن (۲۳/٤۸٪) در دمای خشک کردن ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های خشک کردن کمتر از ۵۲ دقیقه مشاهده شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود زمان و دمای خشک کردن تأثیر تشدید کننده روی افت وزن برگ‌های نعناع دارند اما در اواخر زمان خشک کردن منحنی افت وزن روند نزولی پیدا می‌کند که می‌تواند به علت رسیدن به دوره نزول در طی خشک کردن باشد. در طی خشک کردن به علت بسته شدن خلل و فرج و لوله‌های موئین داخل بافت ماده غذایی، به علت پدیده سخت شدن سطحی[3] میزان خروج رطوبت از ماده غذایی کاهش یافته و سرعت خشک شدن ثابت و کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق با نتایج مازندرانی و همکاران (۲۰۱۷)، صالحی و همکاران (۲۰۱۷) و آقاجانی و همکاران، ۲۰۲۱ مطابقت داشت. این محققین بیان داشتند که زمان و دمای خشک کردن تأثیر معنی داری روی میزان افت وزن دانه‌های انار و ورقه‌های بادمجان داشت و با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن این محصولات افزایش می‌یابد [٤، ۲۳-۲۲].

3 . Case hardening

نوری و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که در ابتدای فرآیند خشک کردن جعفری با خشک کن هوای داغ و مایکروویو آهنگ خشک کردن بالاست ولی با گذشت زمان به دلیل چروکیدگی بافت محتوای رطوبت به سرعت کاهش می‌یابد، ولی در مراحل بعدی کاهش محتوای رطوبت به آهستگی صورت می‌گیرد. همچنین زمان مورد نیاز برای کاهش یک مقدار معین از محتوای رطوبت، وابسته به شرایط عملیاتی است به‌طوریکه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد ۲٤۰ دقیقه و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد ٤۲۰ دقیقه به طول انجامید تا رطوبت به طور کامل از نمونه‌ها خارج شود. آن‌ها مشاهده نمودند که شدت خشک کردن در ابتدای فرآیند بیشتر از مراحل انتهایی است که این امر به دلیل زیاد بودن مقدار رطوبت در ابتدای فرآیند خشک کردن و در نتیجه بالا بودن شدت تبخیر رطوبت از سطح قطعات جعفری است. همچنین چروکیدگی سطح محصول در مراحل انتهایی خشک کردن باعث ایجاد یک مقاومت در انتقال آب به سطح محصول شده که این امر باعث کاهش شدت خشک کردن در مراحل پایانی فرآیند خشک کردن می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد [۲٤].

۳-۲- تغییرات مقدار ترکیبات فنولی کل برگ نعناع طی خشک کردن فرو سرخ

ترکیبات فنولی به عنوان بخش مهمی از مواد مؤثره گیاهان دارویی است که تحت تأثیر فاکتورهای محیطی، شرایط رشد و عملیات پس از برداشت قرار می‌گیرند. کیو و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که افزایش دمای خشک کردن بر میزان ترکیبات فنولی تأثیر دارد. بنا بر نظر آن‌ها تشکیل ترکیبات فنولی در دمای بالا (۹۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند به دلیل در دسترس بودن ترکیبات فنولی همراه با تبادلات غیر آنزیمی بین این مولکول‌ها باشد. افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی به اعمال تیمار حرارتی به آزاد شدن پیوند ترکیبات فنولی ناشی از شکستن و تجزیه اجزاء سلولی و تشکیل ترکیبات جدید با خواص آنتی اکسیدانی بالا نسبت داده می‌شود. از طرف دیگر کاهش در خواص آنتی اکسیدانی و میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های گیاهی تحت تیمارهای حرارتی در مورد برخی گیاهان نیز گزارش شده است که مربوط به کاهش آنزیم‌ها می‌باشد [۲۵]. در تحقیق حاضر روند تغییرات میزان ترکیبات فنولی کل برگ‌های نعناع تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن هوای داغ در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷٦ دقیقه میزان ترکیبات فنولی کل روند صعودی دارد در حالیکه در زمان‌های طولانی‌تر خشک کردن (بالاتر از ۱۷٦ دقیقه) میزان ترکیبات فنولی کل نمونه‌ها روند نزولی پیدا می‌کند. همچنین با افزایش دمای خشک کردن میزان ترکیبات فنولی کل برگ-های نعناع روند نزولی توأم با شیب ثابت و آهسته‌ای دارد که در ابتدای فرآیند خشک کردن با افزایش دمای خشک کن سهم میزان ترکیبات فنولی به علت تبخیر رطوبت افزایش می‌یابد ولی در زمان‌های خشک کردن بالاتر از ۱۷٦ دقیقه به علت اثر تخریبی حرارت میزان ترکیبات فنولی با افزایش دما کاهش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود زمان خشک کردن اثر تخریبی شدیدتری نسبت به دمای خشک کردن بر میزان ترکیبات فنولی کل دارد. به طوری که با افزایش دمای خشک کردن، میزان ترکیبات فنولی کل، روند صعودی آهسته و اندکی دارد اما با افزایش زمان خشک کردن، میزان ترکیبات فنولی کل روند تغییرات شدیدتری را نشان می‌دهد. ترکیبات فنولی کل از ترکیبات حساس به حرارت است که سریعاً اکسیده می‌شود به طوری که با افزایش زمان و دمای خشک کردن به سرعت شروع به تجزیه و کاهش می‌کند. به منظور حفظ ارزش تغذیه‌ای و جلوگیری از تخریب ترکیبات فنولی و نیز دست یابی به بالاترین میزان راندمان خشک کردن، استفاده از فرآیندهای دما بالا- زمان کوتاه (HTST) توصیه می‌شود [۲۳] لذا با استفاده از دماهای بالاتر و زمان‌های خشک کردن کمتر از ۱۷٦ دقیقه میزان اتلاف ترکیبات فنولی کل کمتر بوده و در عین حال میزان رطوبت نیز تا حد مطلوبی کاهش می‌یابد.

۳-۳- تغییرات ویژگی‌های آنتی اکسیدانی برگ نعناع طی خشک کردن هوای داغ

روند تغییرات ویژگی‌های آنتی اکسیدانی برگ‌های نعناع طی خشک کردن هوای داغ در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود میزان مهار رادیکال DPPH با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷٦ دقیقه کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن روند صعودی دارد و با افزایش دمای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد روند افزایشی از خود نشان می‌دهد و اعمال دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه‌ها می‌شود. میزان قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها در محدوده زمان خشک کردن بین ۲۳۸-۱۱٤ درجه سانتی‌گراد با افزایش دمای خشک کردن فروسرخ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد در حالیکه در محدوده دمایی بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش ملایمی دارد (شکل ۳).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

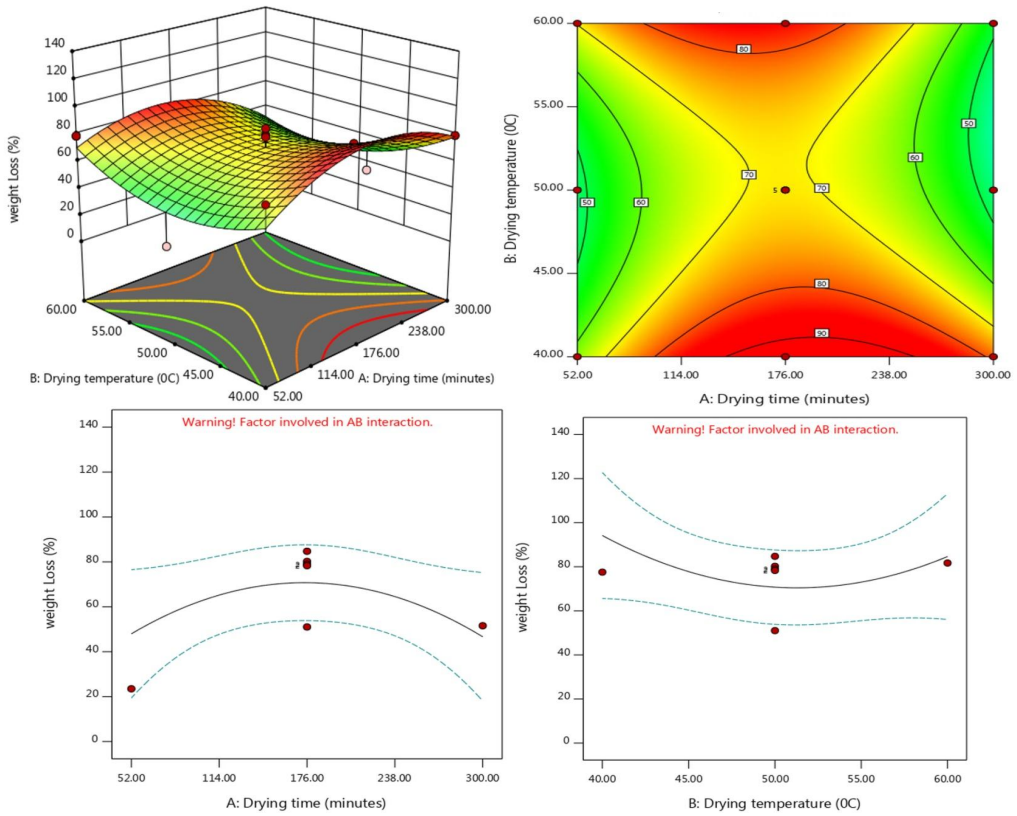

Fig 1 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on water loss (moisture content) of hot oven dried mint leaves

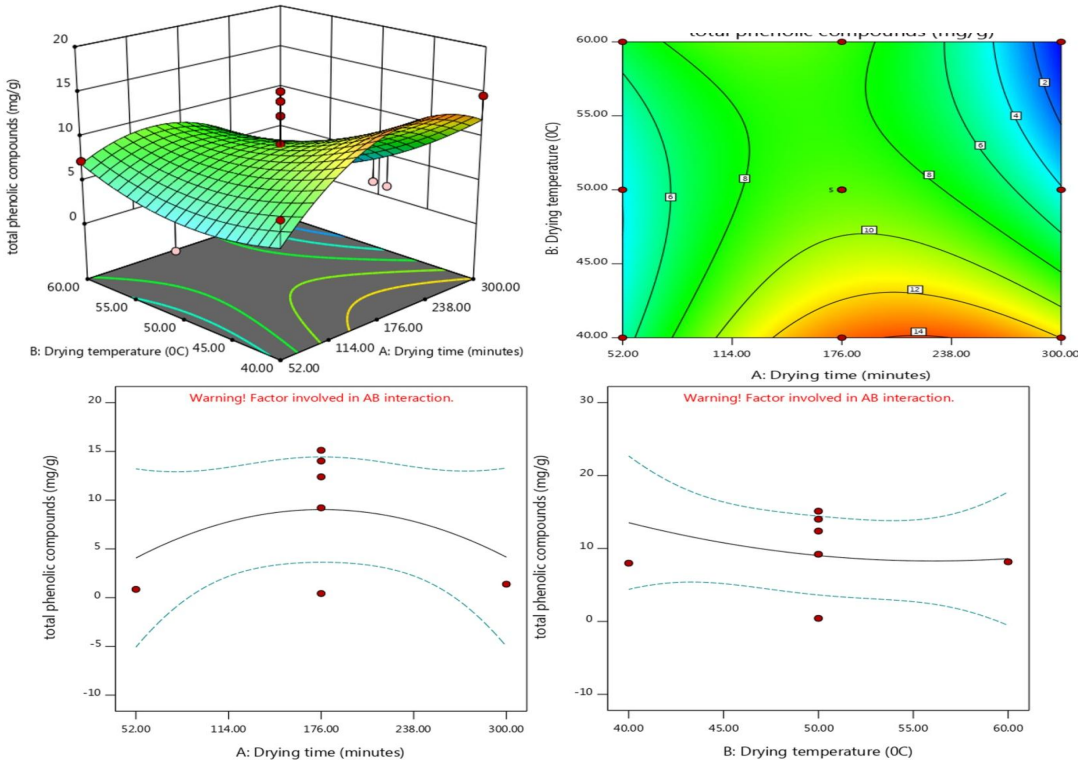

Fig 2 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on total phenoloic compounds of hot oven dried mint leaves

همان‌طور که در شکل ٤ ملاحظه می‌شود با افزایش زمان و دمای خشک کردن ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌های خشک شده روند نزولی دارد که زمان خشک کردن، تأثیر بیشتری بر میزان تغییرات ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها در مقایسه با دمای خشک کردن دارد. نتایج شکل ٥ نشان می‌دهد که ویژگی قدرت احیاء کنندگی نمونه‌های خشک شده با افزایش زمان و دمای خشک کردن روند نزولی دارد که شیب تغییرات قدرت احیاء کنندگی نمونه‌ها با تغییرات زمان خشک کردن شدیدتر از تغییرات دمای خشک کردن می‌باشد.

به هنگام خشک کردن، تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی در ماده غذایی اتفاق می‌افتد که موجب تغییر خصوصیات کیفی محصول نهایی خشک شده نسبت به محصول تازه اولیه می‌گردد [٢٦]. ویژگی‌های آنتی اکسیدانی میوه‌ها و سبزیجات به وجود اسیدهای فنولیک (اسید گالیک، اسید کافتریک، اسید کافئیک، اسید فرولیک، اسید کلروژنیک و اسید p–کوماریک) و فلاوانول‌ها (اپی‌کاتچین، اپی کاتچین گالات، اپی گالاتوکاتچین گالات و کاتچین) و ترکیباتی نظیر ویتامین ث در ترکیبات میوه‌ها و سبزیجات مرتبط می‌باشد. کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی تا حدی زیادی به کاهش غلظت پلی فنول‌ها و همچنین پدیده‌های تخریب اکسیداتیو و پلیمریزاسیون- تراکمی برخی از ترکیبات مربوط می‌شود [٢٩-٢٧]. علاوه بر این، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات سایر محققین هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهد که مقدار ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی توسط فرآیندهایی نظیر پخت و پز با بخار، جوشاندن و یا خشک کردن تحت تأثیر قرار می‌گیرند [٣٢-٣٠]. بسیاری از واکنش‌ها که به هنگام خشک کردن اتفاق می‌افتند، منجر به تغییر ترکیبات مسئول رنگ و تأثیر بر ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی محصول می‌شوند. از جمله این واکنش‌ها می‌توان به تخریب رنگ دانه‌ها، اکسیداسیون اسید آسکوربیک، قهوه‌ای شدن آنزیمی، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (میلارد) و پلیمریزاسیون فنول‌ها اشاره نمود. سایر عوامل مانند اسیدیته، واریته یا نوع محصول، دما و زمان فرآیند حرارتی نیز بر روی ترکیبات رنگی و فنولی موجود که مسئول ویژگی‌های آنتی اکسیدانی در محصول هستند مؤثر می‌باشند [٣٣]. در طول فرآیند خشک شدن معمولاً محصول تیره تر می‌شود که این تغییر رنگ به علت تخریب و تجزیه رنگدانه و واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی باشد [٣٤].

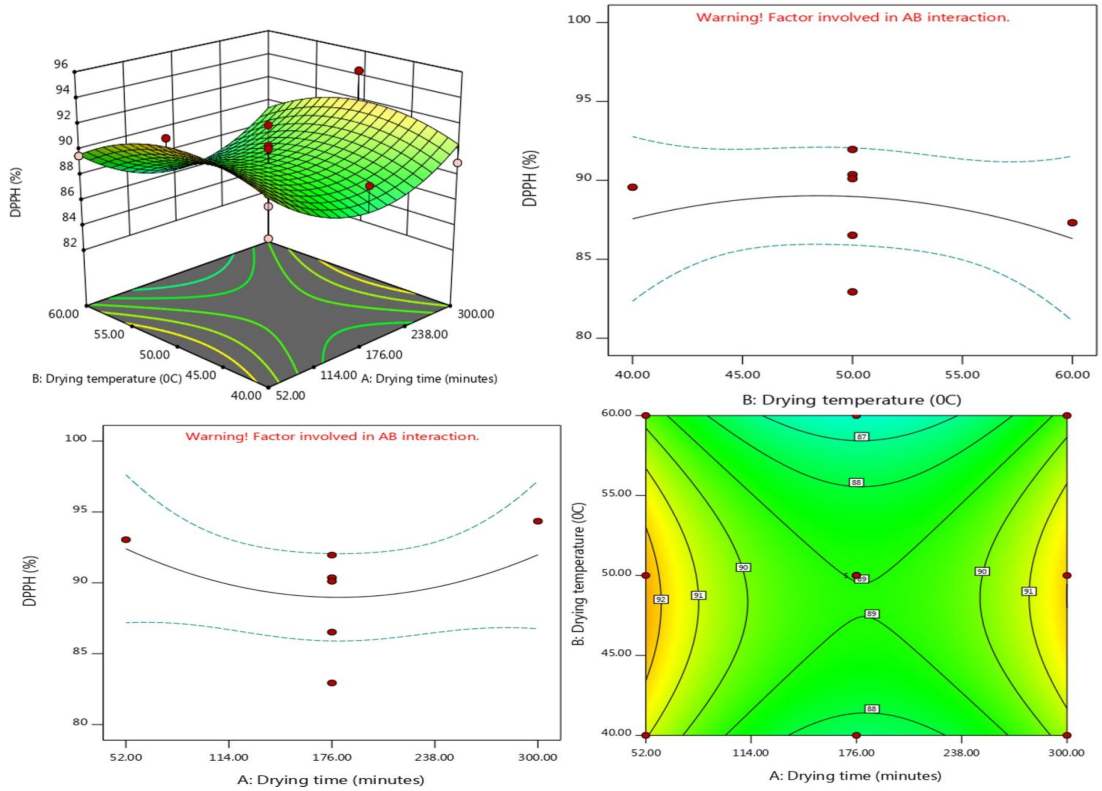

Fig 3 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on DPPH radical scavenging activity of hot oven dried mint leaves

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

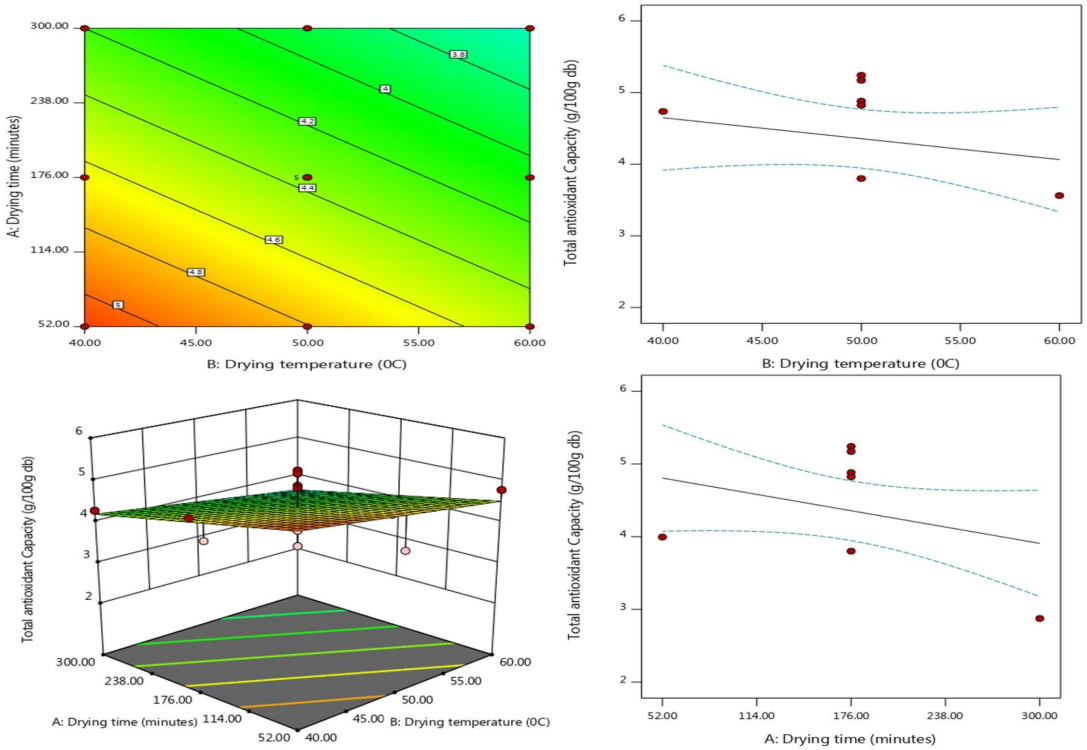

Fig 4 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on total antioxidant capacity of hot oven dried mint leaves

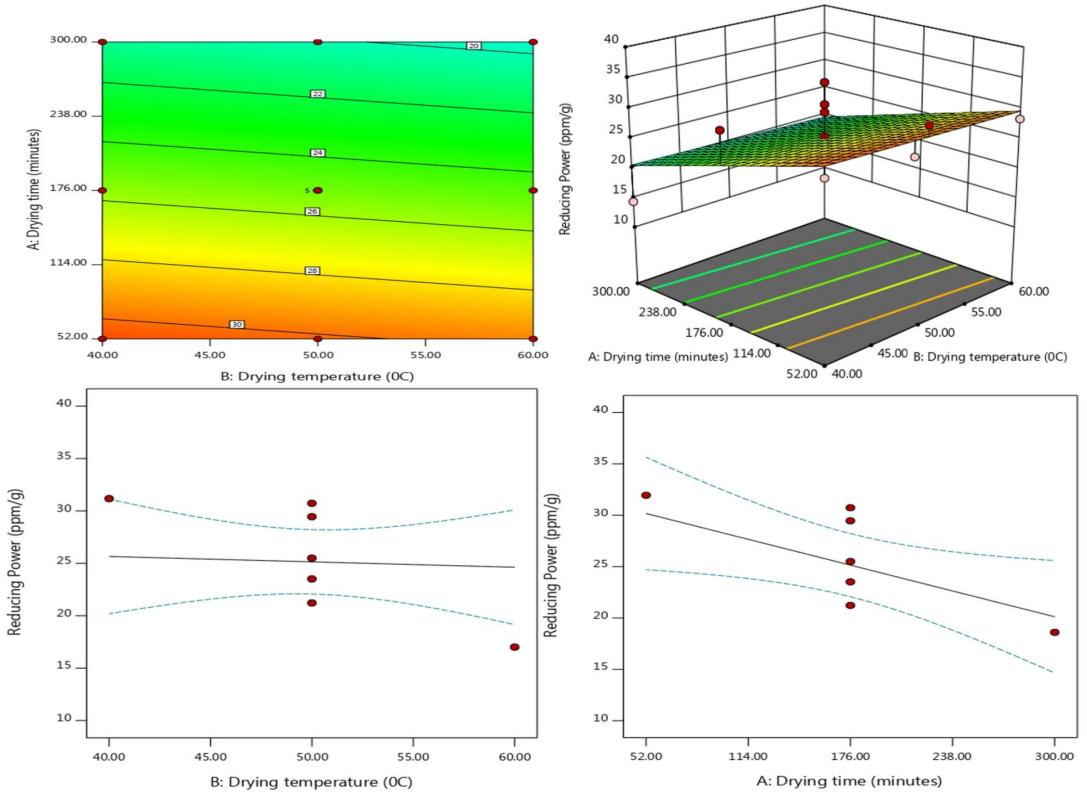

Fig 5 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on Ferric reducing ability of plasma (FRAP) of hot oven dried mint leaves

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

ترکمن و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که افزایش دما در روش‌های مختلف خشک کردن منجر به افزایش ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی میوه گیلاس در مقایسه با نمونه تازه شد که می‌تواند به علت افزایش سهم ترکیبات فنولی در ماده خشک نمونه‌ها باشد [۳۵]. حسین و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که خشک کردن در مقایسه با نمونه‌های تازه موجب افزایش ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی در گیاهان خانواده نعناع شده است [۳۶]. در مقابل چان و همکاران (۲۰۰۷) کاهش ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی گیاه زنجبیل در اثر اعمال خشک کردن را گزارش نمودند [۳۷].

۳-٤- بهینه‌سازی شرایط خشک کردن هوای داغ برگ نعناع

طرح آزمایشی با سطوح واقعی پارامترهای مستقل خشک کردن هوای داغ و نتایج مربوط به تغییرات ویژگی‌های کیفی برگ نعناع با استفاده از روش سطح پاسخ و شرایط بهینه در جدول (۲) و شکل ٦ ارائه شده است. با توجه به اثر مخرب زمان‌های طولانی بر تخریب ترکیبات مغذی و زیست فعال موجود در ماده غذایی برای تعیین محدوده متغیرهای مستقل دما و زمان خشک کردن هوای داغ از ایده فرایند HTST استفاده شد [۲۳]. برای این منظور دمای خشک کردن حداکثر و زمان فرآیند خشک کردن حداقل در نظر گرفته شد در حالی که میزان افت وزن در محدوده آزمایشات انجام شده و خواص آنتی اکسیدانی ترکیبات فنولی کل به عنوان هدف فرآیند، حداکثر در نظر گرفته شدند. در فرآیند بهینه‌سازی به تمامی پارامترهای مستقل وزن و اهمیت یکسان داده شد. با توجه به شرایط مورد نظر راه حل‌های پیش‌بینی شده بر اساس بالاترین مطلوبیت در شکل (٦) ارائه شده است و هرچه مطلوبیت به ۱ نزدیک‌تر باشد مناسب‌ترین و بهترین شرایط خواهد بود که راه حل اول به عنوان بهترین شرایط جهت دست‌یابی به شرایط بهینه در نظر گرفته شد و با اعمال شرایط فرآیند بدست آمده در بهینه سازی، محصولی با مقدار رطوبت مناسب و حداکثر مقدار ترکیبات فنولی و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی بدست خواهد آمد. همان‌طور که در شکل (٦) مشاهده می‌شود بهترین شرایط برای خشک کردن هوای داغ برگ‌های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۹/۹۱ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ترکیبات فنولی کل، و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ٦۹/۹۸٪، ٦/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، ۸۹/٦۸٪، ٤/۵۲ و ۲۹/٦٦ می‌باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷٤٦ می‌باشد.

اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ، با خشک کردن نمونه‌های برگ نعناع در شرایط دما و زمان خشک کردن هوای داغ بهینه یابی شده صورت گرفت. نتایج حاصل از اعتبار سنجی نشان داد که ویژگی‌های کیفی محصول تولیدی نظیر افت وزن، میزان ترکیبات فنولی کل و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نمونه‌های تولیدی به ترتیب برابر ۷۹/۱۸، ۷/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، ۸۹/۵۷٪، ٤/۷۸ و ۲۸/۳۳ بود که بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش‌بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می‌باشد.

٤- نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن و ترکیبات فنولی کل برگ نعناع افزایش یافت و زمان خشک کردن تأثیر بیشتری بر تغییرات این دو پارامتر در مقایسه با دمای خشک کردن داشت. روند تغییرات ترکیبات فنولی کل نمونه‌ها با زمان خشک کردن مشابه افت وزن نمونه‌ها بود اما با افزایش دمای خشک کردن در ابتدای فرآیند میزان ترکیبات فنولی کل نمونه‌ها افزایش یافت. قابلیت مهار رادیکال فعال DPPH نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن (تا ۱۷٦ دقیقه) کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت. نتایج نشان داد که اعمال دماهای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش مهار DPPH شد و دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه‌ها شد. افزایش زمان و دمای خشک کردن باعث کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی و فعالیت احیاء کنندگی نمونه‌ها شد که شیب تغییرات قدرت احیاء کنندگی و ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها با تغییرات زمان خشک کردن شدیدتر از تغییرات دمای خشک کردن می‌باشد. بهترین شرایط برای خشک کردن هوای داغ برگ‌های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۹/۹۱ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ترکیبات فنولی کل، و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ٦۹/۹۸٪، ٦/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، ۸۹/٦۸٪، ٤/۵۲ و ۲۹/٦٦ می‌باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷٤٦ می‌باشد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

Table 2 Central composite design, Actual levels of independent variables and different quality attributes (response) of hot oven dried mint leaves

Independent variables			Actual dependent variable (Response)				
Treatment number	Drying Temperature (X_1) (^{0}C)	Drying Time (X_2) (minute)	water loss (%)	Total phenolic compounds (mg/g)	DPPH (%)	Total antioxidant Capacity (g/100g)	FRAP (ppm/g)
1	50	300	51.56	1.38	94.35	2.87	18.6
2	50	52	23.48	0.85	93.04	3.99	31.94
3	50	176	78.32	14.02	90.11	5.17	29.45
4	60	176	81.70	8.18	87.32	3.56	17.00
5	60	300	46.18	0.52	88.48	3.71	26.07
6	50	176	80.21	12.39	91.96	4.88	25.49
7	40	176	77.55	7.99	89.57	4.74	31.17
8	60	52	79.18	7.27	89.57	4.78	28.33
9	50	176	78.98	9.21	90.36	4.82	30.73
10	40	52	78.57	8.16	90.52	4.78	28.93
11	40	300	79.57	14.64	89.02	4.28	14.39
12	50	176	84.73	15.12	86.52	5.24	23.51
13	50	176	51.03	0.42	82.93	3.80	21.22

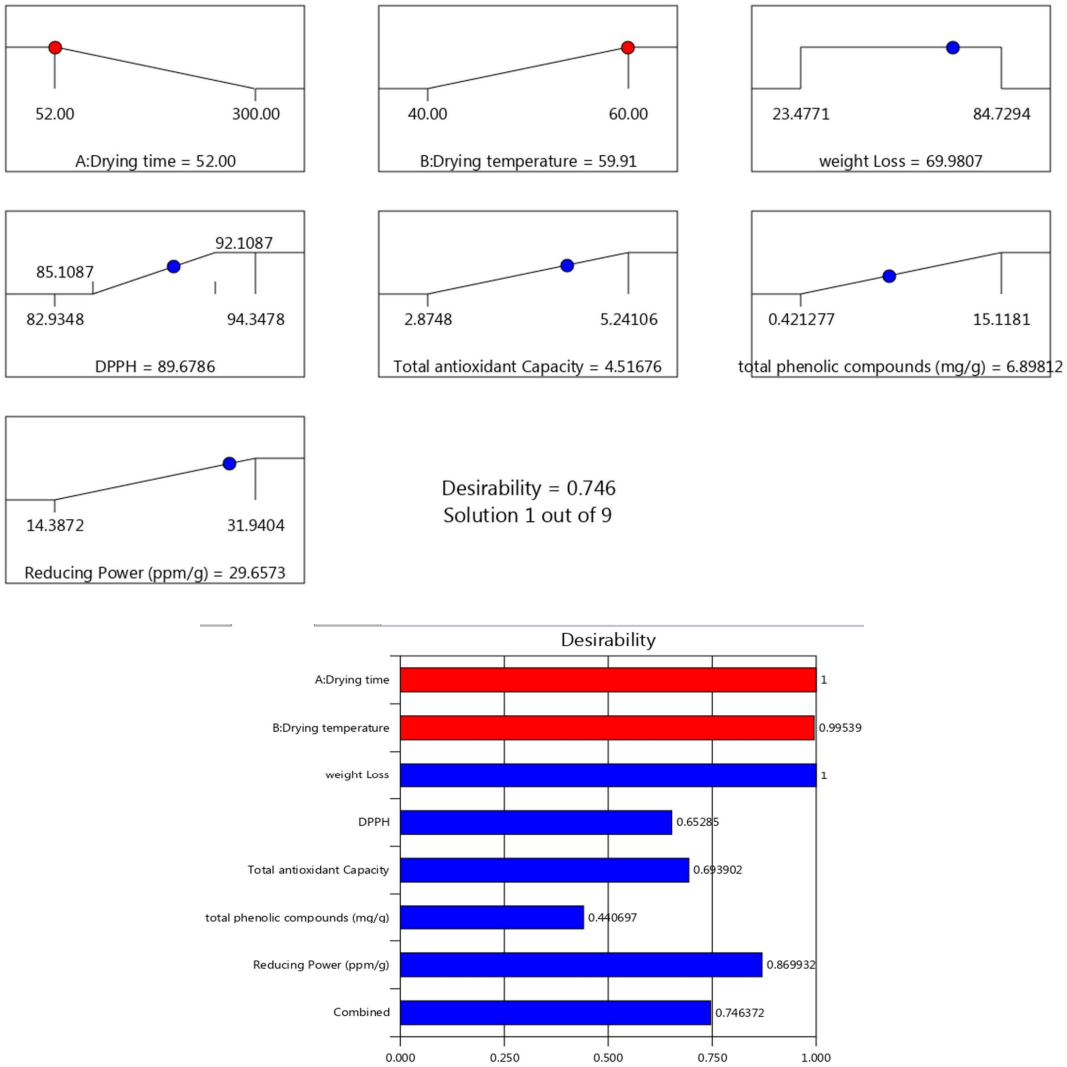

Fig 6 The optimum conditions and desirability graph for hot oven drying process of mint leaves

نتایج اعتبار سنجی شرایط بهینه نشان داد که با اعمال شرایط بدست آمده از بهینه سازی، ویژگی‌های کیفی محصول تولیدی نظیر افت وزن، میزان ترکیبات فنولی کل و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نمونه‌های تولیدی به ترتیب برابر ۷۹/۱۸، ۷/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، ۸۹/۵۷٪، ٤/۷۸ و ۲۸/۳۳ به دست آمد که بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می‌باشد.

۵- منابع

[1] Aghajani, N., Kashaninejad, M., Dehghani, A. A., and Daraei Garmakhany, A. 2012. Comparison between artificial neural networks and mathematical models for moisture ratio estimation in two varieties of green malt. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods,* 4(2): 93-101.

[2] Mwithiga, G., and Olwal, J. O. 2005. The drying kinetics of kale (Brassica oleracea) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering,* 71(4): 373-378.

[3] Vioque, J., Alaiz, M., and Girón-Calle, J. 2012. Nutritional and functional properties of Vicia faba protein isolates and related fractions. *Food Chemistry,* 132(1): 67–72.

[4] Mazandarani, Z., Aghajani, N., Garmakhany, A. D., Ardalan, M. J. B., and Nouri, M. 2017. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Pomegranate (Punica granatum L.) Arils: Various Drying Methods. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 19 (7): 1527-1537.

[5] Lee, J., Durst, R. W., and Wrolstad, R. E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International,* 88(5): 1269-1278.

[6] Erdogdu, F., and Balaban, M. O. 2003. Complex method for nonlinear constrained multi-criteria (multi-objective function) optimization of thermal processing. *Journal of Food Process Engineering,* 26(4): 357-375.

[7] Álvarez, J. M., Canessa, P., Mancilla, R. A., Polanco, R., Santibáñez, P. A., and Vicuña, R. 2009. Expression of genes encoding laccase and manganese-dependent peroxidase in the fungus Ceriporiopsis subvermispora is mediated by an ACE1-like copper-fist transcription factor. *Fungal Genetics and Biology,* 46(1): 104-111.

[8] Mujumdar, A. S. 2007. Book Review: Handbook of Industrial Drying, Third Edition. *Drying Technology,* 25(6): 1133-1134.

[9] Doymaz, I., Tugrul, N., and Pala, M. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering,* 3: 559-565.

[10] Akpinar, K., Bicer, Y., and Cetinkay, F. 2006. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. *Journal of Food Engineering,* 3: 308-315.

[11] Özbek, B., and Dadali, G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering,* 4: 541–549.

[12] Aghajani, N., Kashiri, M., Daraei Garmakhany, A., Moharami, M., and Dalvi, M. 2012. Treatments influencing quality attributes and separation time of pomegranate arils. *Minerva Biotecnologica,* 24(1):1-4.

[13] Shamloo, M. M., Sharifani, M., Daraei Garmakhany, A., and Seifi, E. 2015. Alternation of secondary metabolites and quality attributes in Valencia Orange fruit (Citrus sinensis) as influenced by storage period and edible covers. *Journal of Food Science and Technology,* 52(4): 1936-1947.

[14] Shahdadi, F., Mirzaei, H.O., and Daraei Garmakhany, A. 2015. Study of phenolic compound and antioxidant activity of date fruit as a function of ripening stages and drying process. *Journal of Food Science and Technology,* 52: 1814-1819. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1177-6.

[15] Yildirim, A., Mavi, A., Oktay, AA., Algur, OF., and Bilaloglu, V. 2000. Comparison of antioxidant and antimicrobial activity of tilia (Tilia argenta Desf. Ex. D.C.), sage (Salvia triloba L.) and black tea (Camellia sinensis L.) extracts. *Journal of Agricultural Food Chemistry,* 48: 5030–5034.

[16] Shabanian., M, Sari. A A., and Daraei Garmakhany, A. 2021. Optimization of ethanolic extracts of walnut green peel extracted by Microwave method and investigation of their antioxidant properties.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

using the combination of hot air and microwave methods. *Food Processing and Preservation Journal,* 4(2): 103-122.

[25] Que, F., Mao, L., Fang, X. and Wu, T. 2008. Comparison of hot air drying and freeze drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science & Technology,* 43(7): 1195-1201.

[26] Białobrzewski, I. 2006. Determination of the heat transfer coefficient by inverse problem formulation during celery root drying. *Journal of Food Engineering,* 74(3): 383-391.

[27] Nisha, P., Shinghal, R. S., and Panditt, A. B. 2004. A study on degradation kinetic of ascorbic acid in amla (Phyllanthus emblica L.) during cooking. *International Journal of Food Sciences and Nutrition,* 55(5): 415-422.

[28] Pedroza, M.A., Carmona, M., Pardo, F., Salinas, M.R., and Zalacain, A. 2012. Waste grape skins thermal dehydration: Potential release of colour, phenolic and aroma compounds into wine. *CYTA Journal of Food,* 10: 225-234.

[29] Teles, A.S.C., Chávez, D.W.H., Gomes, F.S., Cabral, L.M.C., and Tonon, R.V. 2018. Efect of temperature on the degradation of bioactive compounds of Pinot Noir grape pomace during drying. *Brazilian Journal of Food Technology,* 21.

[30] Ruttarattanamongkol, K., Chittrakorn, S., Weerawatanakorn, M., and Dangpium, N. 2016. Efect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. *Journal of Food Science and Technology*, 53: 1811-1822.

[31] Vodnar, D.C., Călinoiu, L.F., Dulf, F.V., Stefănescu, B.E., Cri¸san, G., and Socaciu, C. 2017. Identification of the bioactive compounds and antioxidant, antimutagenic and antimicrobial activities of thermally processed agro-industrial waste. *Food Chemistry,* 231: 131-140.

[32] Ramón-Gonçalves, M., Alcaraz, L., Pérez-Ferreras, S., León-González, M.E., Rosales-Conrado, N., and López, F.A. 2019. Extraction of polyphenols and synthesis of new activated carbon from spent coffee grounds. Scientific Reports, 9: 1-11.

[33] Devahastin, S., and Niamnuy, C. 2010. Modelling quality changes of fruits and *Journal of Food Science and Technology (Iran),* 18 (115): 283-298.

[17] Azari- Anpar, M., Payeinmahali, H., Daraei Garmakhany, A., and Sadeghi Mahounak, A. 2017. Physicochemical, microbial, antioxidant, and sensory properties of probiotic stirred yoghurt enriched with Aloe vera foliar gel. *Journal of Food Processing and Preservation,* 41(5): e13209. https://doi.org/10.1111/jfpp.13209.

[18] Hadidi, M., Nouri, M., Sabaghpour, S., and Daraei Garmakhany, A. 2014. Comparison of phenolic compounds and antioxidant properties of black grape extract, concentrate and residual. *Journal of Essential Oil Bearing Plants,* 17(6): 1181-1186, DOI: 10.1080/0972060X.2014.923346

[19] Madani, A., Choobkar, N., and Daraei Garmakhany, A. 2022. Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity of Iranian Allium sativum controversum extracts and their antimicrobial properties in fresh sausages. *Food Science and Nutrition,* doi.org/10.1002/fsn3.3059.

[20] Moshiri Roshan, A., Sari, A A., Aghajani, N., and Daraei Garmakhany, A. 2020. Ajowan seed ethanolic extract: extract optimization, phenolic compounds and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology(Iran),* 17 (104): 51-64.

[21] Shahdadi, F., Mirzaei, H. O., Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H., and Ghafori Khosroshahi, A. 2013. Effect of drying process on antioxidant properties of date palm fruits. *Minerva Biotechnologica,* 25(4): 235-243.

[22] Salehi, F., Asadi Amirabadi, A., and Kashaninejad, M. 2017. Modeling of Eggplant Drying Process by Infrared System using Genetic Algorithm–Artificial Neural Network Method, *Electronic Journal of Food Processing and Preservation,* 9 (1): 85-96.

[23] Aghajani, N., Daraei Garmakhany, A., and Hedayati Dezfouli, O. 2021. Response surface modeling of the pomegranate arils (Shahsavar Yazdi cultivar) weight loss, vitamin C and color characteristics variation during the infrared drying process. *Journal of Food Science and Technology (Iran),* 18 (114): 237-250.

[24] Nouri, M., Kashaninejad, M., Daraei Garmakhany, A., and Bolandi, M. 2012. Optimization of drying process of parsley

vegetables during drying: A review. *International Journal of Food Science and Technology,* 45(9): 1755-1767.

[34] Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., and Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering,* 88(1): 55-64.

[35] Turkmen, F., Karasu, S., and Karadag, A. 2020. Effects of different drying methods and temperature on the drying behavior and quality attributes of cherry laurel fruit. *Processes*, 8, 761; doi:10.3390/pr8070761

[36] Hossain, M.B., Barry-Ryan, C., Martin Diana, A.B. and Brunton, N.P. 2010. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry,* 123(1): 85-91.

[37] Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Wong, S.K., Lim, K.K, Tan, S.P., Lianto, F.S., Martinov, M., Oztekin, S. and Muller, J. 2007. Medicinal and Aromatic Crops. CRC Press, United States of America. 320 p.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Hot oven drying of mint leaves: modeling weight loss, phenolic compounds and antioxidant properties variation by using response surface method

Aghajani, N. [1*], Daraei Garmakhany, A. [2], Sari, A. A. [3], Nourozi, M. A. [4]

1. Assistant Prof. Department of Food Science and Technology, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
2. Associate Prof. Department of Food Science and Technology, Toyserkan Faculty of Engineering and natural resources, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of food hygiene and quality control, Faculty of veterinary science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
4. Graduated student, Department of Food Science and Technology, Toyserkan Faculty of Engineering and Natural Resources, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 12/ 30
Accepted 2023/ 01/ 28

Keywords:

Hot oven drying,
Mint leaves,
Phenolic compounds,
Antioxidant properties,
Response surface method.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6

*Corresponding Author E-Mail:
naghajani@basu.ac.ir.

ABSTRACT

In this study, the effect of hot oven drying condition (drying temperature and time) on weight loss, total phenolic compounds and antioxidant properties of mint leaf was investigated and optimized by response surface methodology. The results showed that with increasing drying time and temperature, weight loss and total phenolic compounds of mint leaves increased and drying time had more effect on changes of these two parameters compared to drying temperature. Total phenolic compounds of samples increased with increasing drying time, but with increasing drying temperature at the beginning of the process, the amount of total phenolic compounds of samples increased. The DPPH radical scavenging activity of the samples decreased by increasing the drying time (up to 176 min) and then increased with increasing the drying time. The results showed that applying drying temperatures up to 50 °C increased DPPH scavenging activity and higher drying temperatures resulted in a decrease in DPPH scavenging activity of the samples. Increasing the drying time and temperature reduced the antioxidant capacity and ferric reducing power (FRAP) of the samples, which the slope of the changes in the FRAP and antioxidant capacity of the samples with the changes in drying time is more severe than the drying temperature changes. The best conditions for hot oven drying of mint leaves are using drying temprature of 59.91 °C for 52 minutes and by applying the optimal conditions, the amount of weight loss, total phenolic compounds, and DPPH scavenging percentage of produced dry mint were 69.98%, 6.90 mg/gram of dry weight, 89.68% respectively and the desirability of this optimal condition was 0.746. The results of optimal conditions validation in real conditions are very similar to the results related to the predicted optimal conditions by response surface methodology.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-12-04]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127]