



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^۴

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

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

ایران.

چکیده

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،

ویژگی های آنتی اکسیدانی،

روش سطح پاسخ.

در این تحقیق تأثیر دما و زمان خشک کردن هوای داغ بر میزان افت وزن، ترکیبات فنولی کل و ویژگی های 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 نمونه ها با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت اما با افزایش دمای خشک کردن در ابتدای فرآیند میزان ترکیبات فنولی کل نمونه ها افزایش یافت. قابلیت مهار رادیکال فعال DPPH نمونه ها با افزایش زمان خشک کردن (تا ۱۷۶ دقیقه) کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت. نتایج نشان داد که اعمال دماهای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی گراد باعث افزایش مهار DPPH شد و دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه ها شد. افزایش زمان و دمای خشک کردن باعث کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی و فعالیت احیاء کنندگی آهن (FRAP) نمونه ها شد که شیب تغییرات FRAP و ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه ها با تغییرات زمان خشک کردن شدیدتر از تغییرات دمای خشک کردن می باشد. بهترین شرایط برای خشک کردن هوای داغ برگ های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۹/۹۱ درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن، ترکیبات فنولی کل، درصد مهار رادیکال DPPH نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ۶۹/۹۸٪، ۶/۹۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک و ۸۹/۶۸٪ می باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷۴۶ می باشد. نتایج اعتبار سنجی شرایط بهینه در شرایط واقعی بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می باشد.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.127
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.11.6

* مسئول مکاتبات:

naghajani@basu.ac.ir

۱- مقدمه

نعناع با نام علمی (*Mentha sativa* L.) گیاهی است از راسته نعنایان و تیره نعنائیان 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 نعنای بخش عمده‌ای از آن دست نخورده باقی می‌ماند که به علت رطوبت بالای نعنای 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 نعنای به طور سنتی به عنوان دمنوش‌ها و ادویه‌های گیاهی در بسیاری از غذاها برای افزودن عطر و طعم استفاده می‌شوند. نعنای به صورت برگ‌های خشک یا تازه برای ایجاد عطر نعنایی در آشپزی استفاده می‌شود. برگ‌های نعنای 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. نعنای در اصل به عنوان گیاه دارویی برای درمان درد معده و دردهای قفسه سینه مورد استفاده قرار می‌گرفته است. از اسانس نعنای نیز در صنعت داروسازی با هدف خوشبو کنندگی دهان در تولید خمیر دندان و دهان‌شویه استفاده می‌شود. از آنجا که تولید نعنای بسیار بالاست توجه به روش‌های فرآوری و نگهداری آن ضروری است. برگ خشک شده نعنای 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 [۴]. 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 [۵-۷]. فاکتورهای زیادی نظیر زمان و دمای خشک کردن، اندازه و ضخامت ماده غذایی، فاصله از منبع حرارتی، میزان رطوبت و سطح ماده غذایی و ... بر سرعت خشک کردن ماده غذایی موثر هستند [۸]. در زمینه بهینه سازی و مدل سازی 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 (۲۰۰۶) در بررسی رفتار خشک کردن لایه نازک برگ‌های نعنای در محدوده دمای ۰۰۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد در خشک کن کابینتی نشان داد که افزایش دما به میزان قابل توجهی باعث کاهش زمان خشک شدن برگ‌های نعنای گردید و با افزایش دما، شدت خشک شدن افزایش یافت [۹]. بر اساس تحقیقات آپینار و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی رفتار خشک کردن برگ‌های جعفری در خشک کن همرفتی با دماهای مختلف با سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه و خشک کردن سستی 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 نعنای 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،

خشک کردن فرو سرخ و خشک کن های ترکیبی در مواد غذایی مختلف صورت گرفته است که همگی موید کارایی و تأثیر معنی دار خشک کردن با این روش ها در افزایش سرعت خشک کردن و خروج رطوبت از بافت مواد غذایی و کاهش زمان خشک کردن می باشد. کاهش زمان فرآیند طی خشک کردن منجر به تولید محصولی با حداقل افت مواد مغذی و تغییرات نامطلوب رنگ می شود. اما با توجه به اینکه عمده کارگاه ها و کارخانه های خشک کردن مواد غذایی از خشک کن های هوای داغ استفاده می کنند 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 روش ها

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 سانتی گراد) و زمان های (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 برگ های نعناع طی خشک کردن به عنوان اتلاف رطوبت بیان و از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

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

۲-۲- اندازه گیری مقدار ترکیبات فنولی کل

میزان ترکیبات فنولی کل با استفاده از روش فولین سیو کالتو ارزیابی شد [۱۴]. به این صورت که ابتدا ۰/۵ میلی لیتر از هر

عصاره با ۲/۲۵ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد و ۲۵۰ میکرو لیتر معرف فولین به آن اضافه گردید و پس از ۵ دقیقه قرار گرفتن در محیط تاریک، ۲ میلی لیتر محلول کربنات سدیم ۷/۵ درصد به محلول اضافه شد سپس لوله ها به مدت ۳۰ دقیقه درون بن ماری ۴۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. جذب نمونه ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. مقادیر ترکیبات فنولی کل عصاره ها با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی گرم اسید گالیک در وزن خشک نمونه محاسبه گردید [۱۴].

۲-۳- اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به

روش قدرت احیاء کنندگی

اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش قدرت احیاء کنندگی آهن سه ظرفیتی توسط روش ییلدریم و همکاران [۳۵]، انجام شد. در این روش، یک میلی لیتر از عصاره ها با ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات و ۲/۵ میلی لیتر فری سیانید پتاسیم مخلوط گردید. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس ۲/۵ میلی لیتر تری کلرو استیک اسید به مخلوط اضافه گردید. نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۷۰۰g) شدند. سپس، از محلول رویی با ۲/۵ میلی لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی لیتر کلرید آهن ۳ مخلوط شد و جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۰۰ نانومتر قرائت شد. برای رسم نمودار استاندارد از استاندارد اسید گالیک استفاده گردید. میزان جذب نشان دهنده قدرت احیاء کنندگی عصاره ها می باشد [۱۷-۱۶].

۲-۴- اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش

به دام اندازی رادیکال دی پی پی اچ (DPPH)

برای اندازه گیری درصد مهار DPPH عصاره های استخراجی، ابتدا ۱ میلی لیتر از محلول متانولی یک میلی مولار DPPH با ۳ میلی لیتر از محلول عصاره نمونه ها ترکیب و به شدت مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری و در نهایت جذب آن ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. فعالیت بر حسب درصد مهار DPPH طبق معادله ۲ محاسبه شد [۱۸-۱۹].

DPPH = درصد مهار

$100 \times \frac{\text{درصد جذب شاهد} - \text{درصد جذب نمونه}}$

درصد جذب شاهد

۲-۵- اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش ظرفیت آنتی اکسیدانی کل

جهت اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش ظرفیت آنتی اکسیدانی کل، ابتدا ۵۰۰ میلی لیتر محلول معرف (مخلوط اسیدسولفوریک، فسفات سدیم، مولیدات آمونیوم) آماده شد. نیم میلی لیتر عصاره با ۵ میلی لیتر محلول معرف مخلوط گردید، سپس به مدت ۹۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن تا دمای اتاق، جذب نمونه ها در طول موج ۶۹۵ نانومتر با اسپکتوفتومتر قرائت شد. برای تهیه نمودار استاندارد از گالیک اسید استفاده شد [۲۱ و ۲۰].

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری و بهینه سازی

در این مطالعه محدوده های متغیرهای مستقل دما (X_1) و زمان خشک کردن (X_2) از آزمون های 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 11.1.2.0¹) و طرح مرکب مرکزی (CCD²) 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، ویژگی های 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 ($^{\circ}\text{C}$)	40	50	60
Drying time (minute)	52	176	300

۲-۴-۱- اعتبار سنجی شرایط بهینه خشک کردن هوای داغ برگ نعناع

جهت ارزیابی صحت مدل ها و روابط حاصل از بهینه سازی با روش سطح پاسخ و نیز اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل، نمونه های برگ نعناع در شرایط واقعی (شرایط بهینه دما و زمان حاصل از مدل سازی)، خشک و ویژگی های کیفی نظیر

افت وزن، میزان ترکیبات فنولی کل و خواص آنتی اکسیدانی نمونه های تولیدی بررسی و جهت ارزیابی دقت مدل پیش بینی شده با نرم افزار مورد استفاده قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات افت وزن (رطوبت) برگ های

نعناع طی خشک کردن هوای داغ

همان طور که در شکل (۱) مشاهده می شود میزان اتلاف وزن نمونه ها با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷۶ دقیقه روند صعودی دارد اما در زمان های طولانی تر خشک کردن (بالا تر از ۱۷۶ دقیقه) میزان اتلاف وزن نمونه ها کاهش می یابد. همچنین با افزایش دمای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی گراد میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) برگ های نعناع روند نزولی دارد و سپس با افزایش دمای خشک کردن افزایش می یابد. همان طور که مشاهده می شود زمان خشک کردن تأثیر بیشتری بر افت وزن برگ های نعناع در مقایسه با دمای خشک کردن دارد. بالاترین میزان افت وزن ($0.81/0.70$) مربوط به محدوده دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن ۱۷۶ دقیقه می باشد در حالی که کمترین مقدار افت وزن ($0.23/0.48$) در دمای خشک کردن ۵۰ درجه سانتی گراد و زمان های خشک کردن کمتر از ۵۲ دقیقه مشاهده شد. همان طور که ملاحظه می شود زمان و دمای خشک کردن تأثیر تشدید کننده روی افت وزن برگ های نعناع دارند اما در اواخر زمان خشک کردن منحنی افت وزن روند نزولی پیدا می کند که می تواند به علت رسیدن به دوره نزول در طی خشک کردن باشد. در طی خشک کردن به علت بسته شدن خلل و فرج و لوله های موئین داخل بافت ماده غذایی، به علت پدیده سخت شدن سطحی^۳ میزان خروج رطوبت از ماده غذایی کاهش یافته و سرعت خشک شدن ثابت و کاهش می یابد. 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 دانه های انار و ورقه های بادمجان داشت و با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن این محصولات افزایش می یابد [۴، ۲۳-۲۲].

3 . Case hardening

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

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 می یابد، ولی در مراحل بعدی کاهش محتوای رطوبت به آهستگی صورت می گیرد. همچنین زمان مورد نیاز برای کاهش یک مقدار معین از محتوای رطوبت، وابسته به شرایط عملیاتی است به طوریکه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد ۲۴۰ دقیقه و در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد ۴۲۰ دقیقه به طول انجامید تا رطوبت به طور کامل از نمونه ها خارج شود. آن ها 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 می شود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۴].

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 می گیرند. کیو و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که افزایش دمای خشک کردن بر میزان ترکیبات فنولی تأثیر دارد. بنا بر نظر آن ها تشکیل ترکیبات فنولی در دمای بالا (۹۰ درجه سانتی گراد) می تواند به دلیل در دسترس بودن ترکیبات فنولی همراه با تبادلات غیر آنزیمی بین این مولکول ها 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 می شود. از طرف دیگر کاهش در خواص آنتی اکسیدانی و میزان ترکیبات فنولی نمونه های گیاهی تحت تیمارهای حرارتی در مورد برخی گیاهان نیز گزارش شده است که مربوط به کاهش آنزیم ها می باشد [۲۵]. در تحقیق حاضر روند تغییرات میزان ترکیبات فنولی کل برگ های نعناع تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن هوای داغ در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷۶ دقیقه

میزان ترکیبات فنولی کل روند صعودی دارد در حالیکه در زمان های طولانی تر خشک کردن (بالا تر از ۱۷۶ دقیقه) میزان ترکیبات فنولی کل نمونه ها روند نزولی پیدا می کند. همچنین با افزایش دمای خشک کردن میزان ترکیبات فنولی کل برگ های نعناع روند نزولی توأم با شیب ثابت و آهسته ای دارد که در ابتدای فرآیند خشک کردن با افزایش دمای خشک کن سهم میزان ترکیبات فنولی به علت تبخیر رطوبت افزایش می یابد ولی در زمان های خشک کردن بالاتر از ۱۷۶ دقیقه به علت اثر تخریبی حرارت میزان ترکیبات فنولی با افزایش دما کاهش می یابد. همان طور که ملاحظه می شود 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 می دهد. ترکیبات فنولی کل از ترکیبات حساس به حرارت است که سریعاً اکسیده می شود به طوری که با افزایش زمان و دمای خشک کردن به سرعت شروع به تجزیه و کاهش می کند. به منظور حفظ ارزش تغذیه ای 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 می شود [۲۳] لذا با استفاده از دماهای بالاتر و زمان های خشک کردن کمتر از ۱۷۶ دقیقه میزان اتلاف ترکیبات فنولی کل کمتر بوده و در عین حال میزان رطوبت نیز تا حد مطلوبی کاهش می یابد.

۳-۳- تغییرات ویژگی های آنتی اکسیدانی برگ

نعناع طی خشک کردن هوای داغ

روند تغییرات ویژگی های آنتی اکسیدانی برگ های نعناع طی خشک کردن هوای داغ در شکل های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۳ ملاحظه می شود میزان مهار رادیکال DPPH با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷۶ دقیقه کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن روند صعودی دارد و با افزایش دمای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی گراد روند افزایشی از خود نشان می دهد و اعمال دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه ها می شود. میزان قابلیت مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه ها در محدوده زمان خشک کردن بین ۲۳۸-۱۱۴ درجه سانتی گراد با افزایش دمای خشک کردن فرو سرخ تا ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد در حالیکه در محدوده دمایی بالاتر از ۵۰ درجه سانتی گراد کاهش ملایمی دارد (شکل ۳).

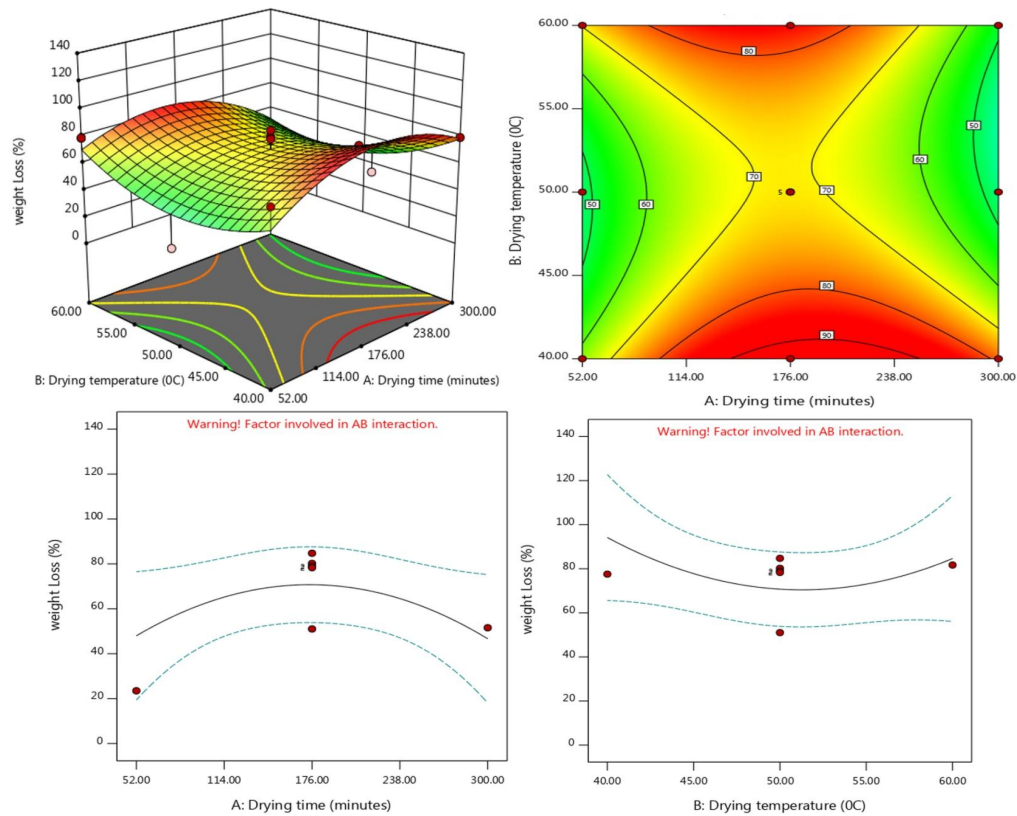


Fig 1 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on water loss (moisture content) of hot oven dried mint leaves

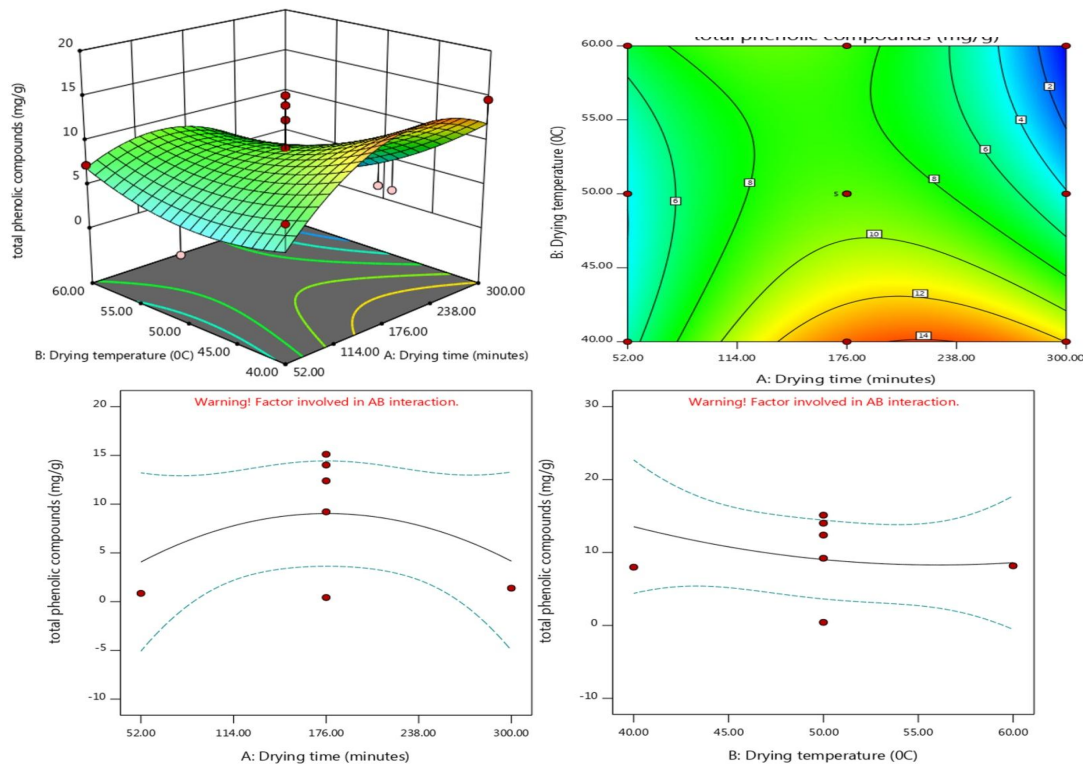


Fig 2 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on total phenolic compounds of hot oven dried mint leaves

همچنین پدیده‌های تخریب اکسیداتیو و پلیمریزاسیون-تراکمی برخی از ترکیبات مربوط می‌شود [۲۷-۲۹]. علاوه بر این، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات سایر محققین هم‌خوانی دارد که نشان می‌دهد که مقدار ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی توسط فرآورده‌هایی نظیر پخت و پز با بخار، جوشاندن و یا خشک کردن تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۳۰-۳۲]. 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 اسیدیت، وارپته 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 [۳۳]. 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 [۳۴].

همان‌طور که در شکل ۴ 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 ۵ 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 [۲۶]. 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 (اپی کاتچین، 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

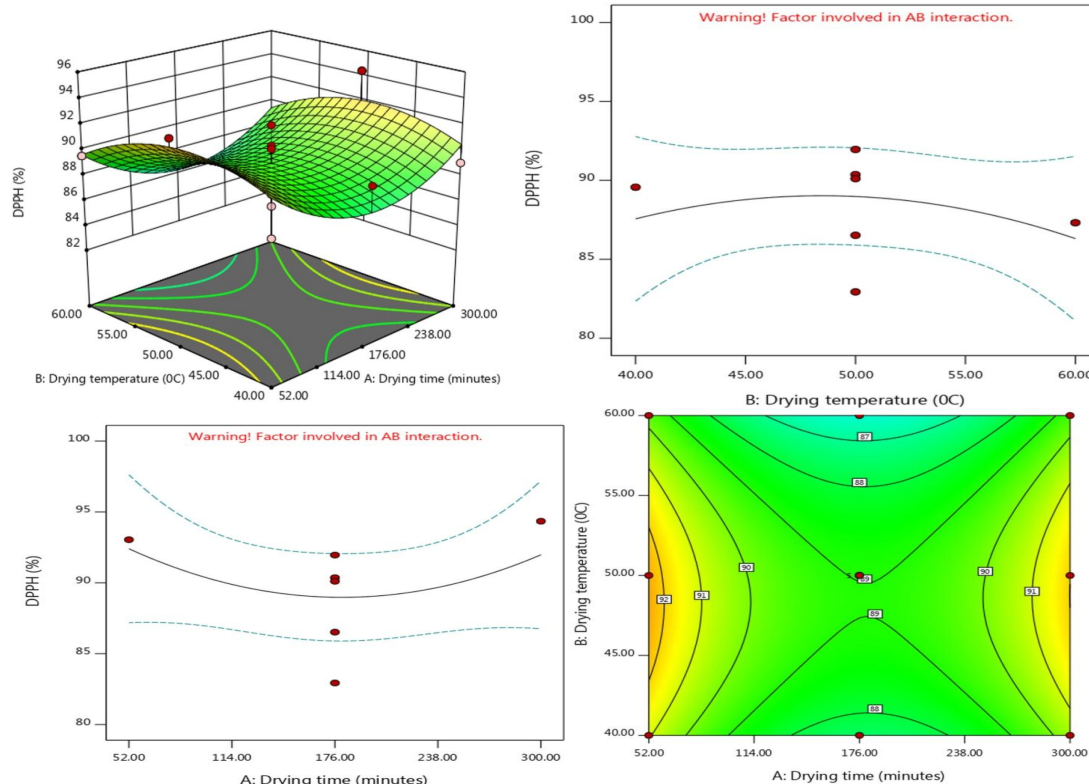


Fig 3 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on DPPH radical scavenging activity of hot oven dried mint leaves

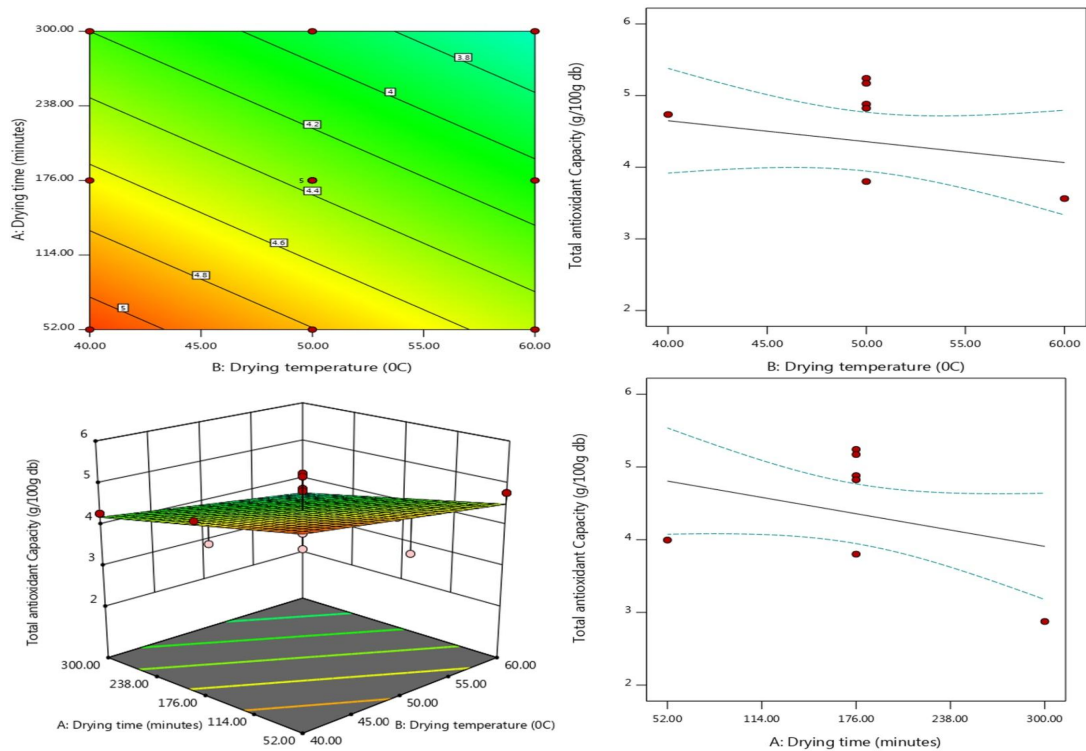


Fig 4 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on total antioxidant capacity of hot oven dried mint leaves

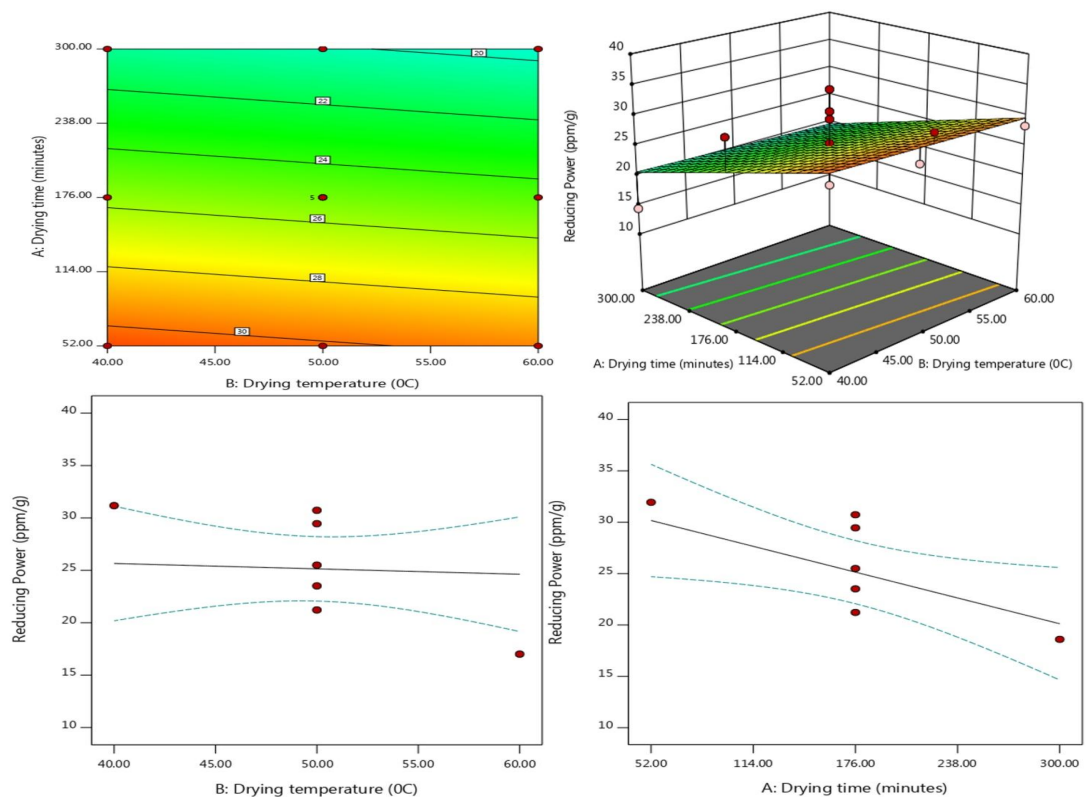


Fig 5 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on Ferric reducing ability of plasma (FRAP) of hot oven dried mint leaves

ترکمن و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که افزایش دما در روش های مختلف خشک کردن منجر به افزایش ویژگی های آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی میوه گیلاس در مقایسه با نمونه تازه شد که می تواند به علت افزایش سهم ترکیبات فنولی در ماده خشک نمونه ها باشد [۳۵]. حسین و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که خشک کردن در مقایسه با نمونه های 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].

۳-۴- بهینه سازی شرایط خشک کردن هوای

داغ برگ نعناع

طرح آزمایشی با سطوح واقعی پارامترهای مستقل خشک کردن هوای داغ و نتایج مربوط به تغییرات ویژگی های کیفی برگ نعناع با استفاده از روش سطح پاسخ و شرایط بهینه در جدول (۲) و شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به اثر مخرب زمان های 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 فرایند 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 فرایند، حداکثر در نظر گرفته شدند. در فرایند بهینه سازی به تمامی پارامترهای مستقل وزن و اهمیت یکسان داده شد. با توجه به شرایط مورد نظر راه حل های پیش بینی شده بر اساس بالاترین مطلوبیت در شکل (۶) ارائه شده است و هرچه مطلوبیت به ۱ نزدیک تر باشد مناسب ترین 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 فرایند بدست آمده در بهینه سازی، محصولی با مقدار رطوبت مناسب و حداکثر مقدار ترکیبات فنولی و ویژگی های آنتی اکسیدانی بدست خواهد آمد. همان طور که در شکل (۶) مشاهده می شود بهترین شرایط برای خشک کردن هوای داغ برگ های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۹/۹۱ درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ترکیبات فنولی کل، و ویژگی های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ۶۹/۹۸٪، ۶/۹۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک، ۴/۵۲ و ۲۹/۶۶ می باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷۴۶ می باشد.

۶/۹۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک، ۴/۵۲ و ۲۹/۶۶ می باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷۴۶ می باشد. اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ، با خشک کردن نمونه های برگ نعناع در شرایط دما و زمان خشک کردن هوای داغ بهینه یابی شده صورت گرفت. نتایج حاصل از اعتبار سنجی نشان داد که ویژگی های کیفی محصول تولیدی نظیر افت وزن، میزان ترکیبات فنولی کل و ویژگی های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نمونه های تولیدی به ترتیب برابر ۷/۲۷، ۶۹/۱۸، ۷/۲۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک، ۴/۵۷، ۴/۷۸ و ۲۸/۳۳ بود که بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می باشد.

۴- 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 نمونه ها با زمان خشک کردن مشابه افت وزن نمونه ها بود اما با افزایش دمای خشک کردن در ابتدای فرایند میزان ترکیبات فنولی کل نمونه ها افزایش یافت. قابلیت مهار رادیکال فعال DPPH نمونه ها با افزایش زمان خشک کردن (تا ۱۷۶ دقیقه) کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت. نتایج نشان داد که اعمال دماهای خشک کردن تا ۵۰ درجه سانتی گراد باعث افزایش مهار DPPH شد و دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه ها شد. افزایش زمان و دمای خشک کردن باعث کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی و فعالیت احیاء کنندگی نمونه ها شد که شیب تغییرات قدرت احیاء کنندگی و ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه ها با تغییرات زمان خشک کردن شدیدتر از تغییرات دمای خشک کردن می باشد. بهترین شرایط برای خشک کردن هوای داغ برگ های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۹/۹۱ درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ترکیبات فنولی کل، و ویژگی های آنتی اکسیدانی شامل درصد مهار DPPH، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و FRAP نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ۶۹/۹۸٪، ۶/۹۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک، ۴/۵۲ و ۲۹/۶۶ می باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۰/۷۴۶ می باشد.

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) (°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

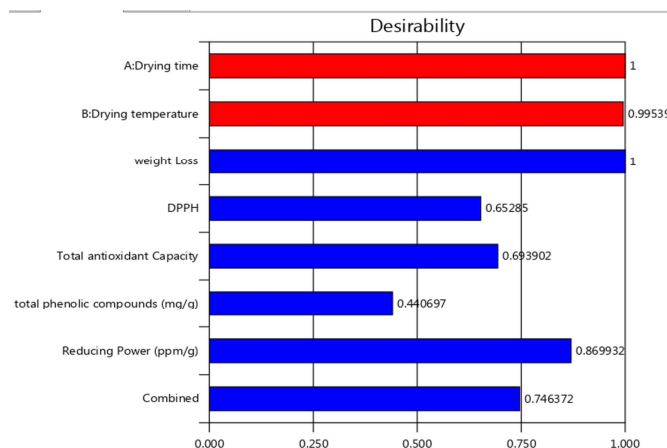
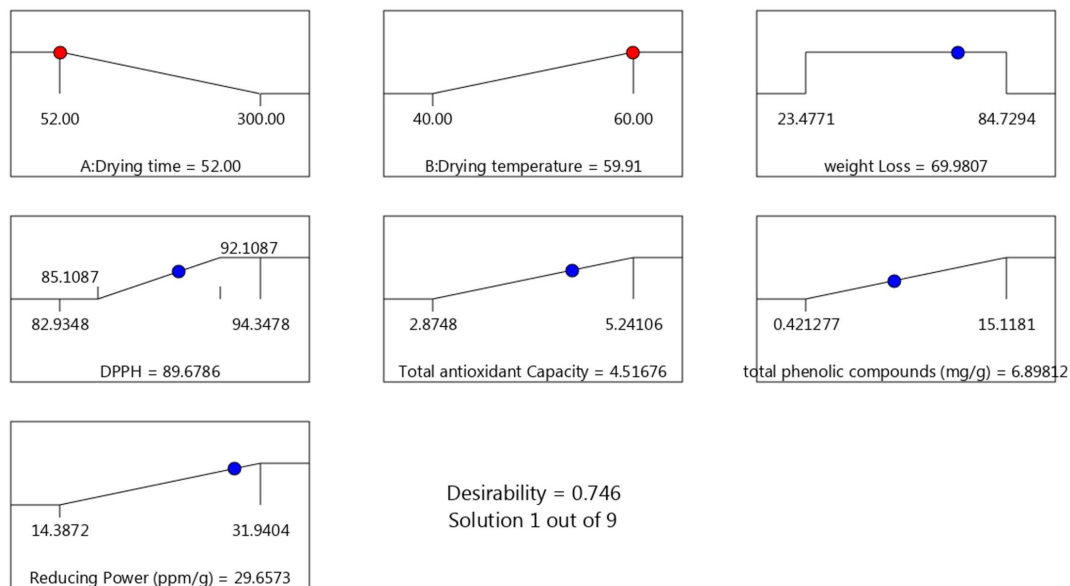


Fig 6 The optimum conditions and desirability graph for hot oven drying process of mint leaves

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] Akpınar, 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.

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 FRAP و نمونه‌های تولیدی به ترتیب برابر ۷۹/۱۸، ۷/۲۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک، ۸۹/۵۷، ۴/۷۸ 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

- 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. Effect 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. Effect 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., Ștefănescu, B.E., Crișan, G., and Socaci, 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 Ghafari 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 (Shahsavari 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

- 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.
- 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



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

ABSTRACT

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

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 temperature 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.