



بهینه سازی تغییرات افت وزن، ترکیبات فنولی و ویژگی های آنتی اکسیدانی برگ نعنای طری فرآیند

خشک کردن فرو سرخ 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: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۸

کلمات کلیدی:

خشک کردن فرو سرخ،

برگ نعنای،

ترکیبات فنولی،

ویژگی های آنتی اکسیدانی، ر

وش سطح پاسخ.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.141

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.12.7

* مسئول مکاتبات:

naghajani@basu.ac.ir

در این تحقیق تأثیر دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بر میزان افت وزن، ترکیبات فنولی کل و ویژگی های آنتی اکسیدانی برگ نعنای بررسی و با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن میزان افت وزن نمونه های نعنای کاهش یافت اما با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷۶ دقیقه میزان افت وزن نمونه ها افزایش و سپس کاهش یافت. زمان خشک کردن تأثیر بیشتری بر تغییرات افت وزن نمونه ها 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 میزان ترکیبات فنولی کل نمونه ها افزایش یافت. قابلیت مهار رادیکال فعال DPPH نمونه ها با افزایش زمان خشک کردن (تا ۲۳۸ دقیقه) کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت. نتایج نشان داد که اعمال دماهای خشک کردن تا ۵۵ درجه سانتی گراد باعث افزایش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه ها شد ولی اعمال دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار رادیکال DPPH نمونه ها شد. افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و کاهش فعالیت احیاء کنندگی آهن نمونه ها شد. همچنین افزایش زمان خشک کردن فرو سرخ منجر به کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی کل نمونه ها شد. بهترین شرایط برای خشک کردن فرو سرخ برگ های نعنای شامل استفاده از دمای ۵۶/۵۸ 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 درصد مهار DPPH نعنای خشک تولیدی به ترتیب برابر ۷۶/۶۲٪، ۸/۷۲۲ میلی گرم بر گرم وزن خشک، ۹۱/۹۷٪ می باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه ۷۲۷/۰ بود.

۱- مقدمه

میوه‌ها و سبزیجات به علت رطوبت و فعالیت آنزیمی بالا محصولات بسیار فساد پذیری هستند و برای نگهداری طولانی مدت آن‌ها از روش‌های مختلفی نظیر حرارت دهی، استفاده از سرما، به کار گیری مواد نگهدارنده و کاهش رطوبت استفاده می‌شود [۱]. خشک کردن به عنوان یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی فرآیند بسیار پیچیده‌ای است که در آن انتقال جرم و انرژی به طور هم‌زمان رخ می‌دهد. در طول فرآیند خشک شدن، محصولات غذایی دچار یک سری تغییرات فیزیکوشیمیایی شده و ویژگی‌های کیفی محصول نظیر شکل، رنگ، بافت، طعم و ... تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۲] که علاوه بر افزایش طول عمر نگهداری، موجب کاهش حجم و وزن، هزینه حمل و نقل و بسته بندی و انبارداری محصول می‌شود [۳]. به دلیل طولانی بودن، فرآیندهای خشک کردن ممکن است اثرات سوء شدیدی را بر ترکیبات مواد مغذی، ویژگی‌های کیفی و شیمیایی محصول بگذارد [۴]. عمده تغییرات نامطلوب مواد غذایی در حین 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 رنگدانه‌های 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]. همچنین ترکیبات زیست فعال موجود در ماده غذایی نظیر ترکیبات فنولی، آنتی اکسیدانی و ویتامین‌های موجود در آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. فاکتورهای زیادی نظیر زمان و دمای خشک کردن، اندازه و ضخامت ماده غذایی، فاصله از منبع حرارتی، میزان رطوبت، سطح ماده غذایی و پیش تیمارهای قبل از خشک کردن و بر سرعت خشک کردن ماده غذایی موثر هستند [۸]. امروزه تولید کنندگان به دنبال افزایش تولید با صرف هزینه کمتر و زمان فرآیند کوتاه‌تر و در عین حال حفظ و ارتقاء کیفیت محصول می‌باشند بنابراین در زمینه روش‌های خشک کردن سریع مواد غذایی نظیر خشک کردن ماکروویو، خشک کردن فرو سرخ و خشک کن‌های ترکیبی تحقیقات زیادی صورت گرفته است تا بتوانند ضمن افزایش سرعت خشک کردن، اثرات سوء طولانی شدن زمان خشک کردن بر

ماده غذایی را نیز کاهش دهند. پرتوهای فرو سرخ با ایجاد حرارت سریع و مستقیم بر روی محصول سرعت خشک کردن را افزایش داده و راندمان بالاتری دارند. پرتوهای فرو سرخ توسط مولکول‌های سطحی ماده غذایی جذب می‌شود که این پدیده سبب گرم شدن سریع محصول و کاهش تنش‌های حرارتی در محصول و در نتیجه حفظ بهتر کیفیت آن می‌شود [۹].

تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر خشک کردن فرو سرخ بر کیفیت و راندمان خشک کردن بادمجان [۱۰]، ورقه‌های گوجه فرنگی [۹]، دانه‌های انار [۱۱]، برنج نیم جوش [۱۲]، قارچ خوراکی [۱۳] و زردآلو [۱۴] صورت گرفته است. نتایج این تحقیقات همگی موید تأثیر معنی دار خشک کردن فرو سرخ در افزایش سرعت خشک کردن و خروج رطوبت از بافت مواد غذایی و کاهش زمان خشک کردن بود. کاهش زمان فرآیند طی خشک کردن منجر به تولید محصولی با حداقل افت مواد مغذی و تغییرات نامطلوب رنگ می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش توان لامپ پرتودهی و کاهش فاصله نمونه از لامپ ضریب نفوذ موثر رطوبت افزایش می‌یابد و میزان افت وزن (خشک شدن) محصول تشدید می‌شود. در زمینه تأثیر خشک کردن روی ترکیبات زیست‌فعال و خواص آنتی اکسیدانی میوه‌ها و سبزیجات تحقیق چندانی در کشور صورت نگرفته است بنابراین در این تحقیق تأثیر پارامترهای دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بر افت وزن، مقدار ترکیبات فنولی و تغییرات خواص آنتی اکسیدانی نعنای بررسی و امکان تولید نعنای خشک شده مطلوب با استفاده از روش خشک کردن فرو سرخ بررسی و با روش سطح پاسخ بهینه سازی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خشک کردن فرو سرخ

در این مطالعه نعنای از بازار محلی همدان خریداری و پس از شست شو در دماها (۶۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های (۳۰۰-۵۰ دقیقه) در خشک کن فرو سرخ (Kern/Sartorius) مجهز به ترازو با دقت ۰/۰۰۰۰۱ 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

۲-۴- اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش به دام اندازی رادیکال دی پی پی اچ (DPPH)

۲ و ۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) رادیکالی چربی دوست است که حداکثر جذب را در طول موج ۵۱۷ نانومتر دارد. برای اندازه گیری درصد جذب DPPH عصاره های استخراجی به صورت زیر عمل شد. ابتدا ۱ میلی لیتر از محلول متانولی یک میلی مولار DPPH با ۳ میلی لیتر از محلول عصاره های تولیدی مخلوط 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 خوانده شد. فعالیت بر حسب درصد نسبی DPPH طبق معادله ۲ محاسبه شد [۲۱-۲۲].

= درصد مهار رادیکال فعال DPPH

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

درصد جذب نمونه شاهد

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

این روش بر اساس احیای مولیبدنوم (VI) به مولیبدنوم (V) توسط نمونه و تشکیل کمپلکس سبز رنگ فسفات مولیبدنوم در محیط اسیدی است. در این روش ۰/۱ میلی لیتر از هر یک عصاره های تولیدی را در یک لوله اپندورف ریخته و ۱ میلی لیتر از محلول معرف (مخلوطی از اسید سولفوریک ۰/۶ مولار، فسفات سدیم ۲۸ میلی مولار و مولیبدات آمونیوم ۴ میلی مولار) به آن اضافه کرده و پس از دریندی به مدت ۹۰ دقیقه در بن ماری (درجه سانتی گراد) نگهداری شد و بعد از سرد شدن تا دمای اتاق میزان جذب در طول موج ۶۹۵ نانومتر در برابر یک شاهد قرائت گردید. محلول شاهد حاوی ۱ میلی لیتر از محلول معرف و ۰/۱ میلی لیتر حلال مورد استفاده بود که در شرایط مشابه بقیه نمونه ها انکوباسیون شد [۲۳-۲۴].

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری و بهینه سازی

بهینه سازی شرایط خشک کردن فرو سرخ برگ نعنای تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن با استفاده از روش سطح پاسخ (نرم افزار Design Expert 11.1.2.0^۱) و طرح مرکب

برگ های نعنای 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 نعنای، M_0 جرم اولیه برگ های نعنای (gr)، M_t جرم برگ های نعنای پس از خشک در زمان t (gr) می باشد [۱۵-۱۶].

۲-۲- اندازه گیری مقدار ترکیبات فنولی کل

میزان ترکیبات فنولی کل با استفاده از روش رنگ سنجی فولین سیوکالو مورد بررسی قرار گرفت [۱۷]. در این روش مقدار کل ترکیبات فنولی بر حسب میلی گرم گالیک اسید در گرم نمونه خشک محاسبه گردید. روش کار به این صورت بود که ۲۰ میکرو لیتر از عصاره تهیه شده با ۱/۱۶ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و ۱۰۰ میکرو لیتر معرف فولین به محلول فوق اضافه شد. پس از ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرو لیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد به محلول اضافه و نمونه ها بعد از هم زدن با همزن لوله ای به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۴۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. سپس جذب نمونه ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده شد و نتایج بر حسب میلی گرم اسید گالیک در گرم وزن خشک نمونه محاسبه شد [۱۷].

۲-۳- اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی به روش قدرت احیاء کنندگی

توانایی عصاره ها برای احیا آهن سه ظرفیتی توسط روش بیلدریم و همکاران (۲۰۰۱) تعیین شد [۱۸]. در این روش ۱ میلی لیتر از عصاره های مختلف استفاده و با ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات (pH=6.6 و M=0.2) و ۲/۵ میلی لیتر فری سیانید پتاسیم (۱۰ گرم در لیتر) کاملاً مخلوط شد و به مدت نیم ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد نگهداری گردید. سپس ۲/۵ میلی لیتر تری کلرو استیک اسید (۱۰۰ گرم در لیتر) به مخلوط فوق اضافه و کاملاً مخلوط شد. سپس نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۷۰۰g) شدند. پس از آن ۲/۵ میلی لیتر از محلول رویی با ۲/۵ میلی لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی لیتر کلرید آهن (III) (۱ گرم در لیتر) مخلوط و جذب در طول موج ۷۰۰ نانومتر قرائت شد. میزان جذب نشان دهنده قدرت احیاء کنندگی عصاره ها می باشد [۱۹-۲۰].

1. Design Expert, 11.1.2.0 Trial, Stat-Ease Inc.

مرکزی (2^{CCD}) با ۳ سطح و ۵ تکرار در نقطه مرکزی انجام شد (۱، ۰، -۱) (جدول ۱). محدوده‌ی متغیرهای مستقل دما (X_1) و زمان خشک کردن (X_2) از آزمون‌های اولیه استخراج گردید. طرح آزمایشی با سطوح واقعی متغیرهای مستقل زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ و نتایج مربوط به تغییرات وزن، ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی برگ نعنای 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 infrea red 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 فرو

سرخ برگ نعنای

به منظور ارزیابی کارایی و صحت مدل‌ها و روابط حاصل از بهینه سازی و نیز اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ، نمونه‌های برگ نعنای در شرایط بهینه دما و زمان حاصل، خشک و ویژگی‌های کیفی نظیر افت وزن، میزان ترکیبات فنولی کل و خواص آنتی اکسیدانی نمونه‌های تولیدی بررسی و ارزیابی شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات رطوبت (افت وزن) برگ‌های

نعنای طی خشک کردن فرو سرخ

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷۶ دقیقه میزان اتلاف وزن روند صعودی دارد در حالیکه در زمان‌های طولانی‌تر خشک کردن (بالا تر از ۱۷۶ دقیقه) میزان اتلاف وزن نمونه‌ها روند نزولی پیدا می‌کند. همچنین با افزایش دمای خشک کردن میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) برگ‌های نعنای روند نزولی دارد که این روند در دماهای بالاتر خشک کردن با شیب آهسته‌ای افزایش می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان خشک کردن میزان افت وزن برگ‌های نعنای شیب تندتری نسبت به افزایش

دمای خشک کردن دارد که نشان دهنده تأثیر بیشتر زمان خشک کردن بر افت وزن برگ‌های نعنای در مقایسه با دمای خشک کردن می‌باشد. منحنی‌های سه بعدی و دو بعدی تغییرات افت وزن (اتلاف رطوبت) نشان می‌دهند که بالاترین میزان افت وزن (۸۷/۳۰٪) مربوط به محدوده دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۱۷۶ دقیقه می‌باشد در حالی که کم‌ترین مقدار افت وزن (۶۰/۳۳٪) 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 نعنای 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^۳ 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 [۴، ۱۱-۱۰]. آقاجانی و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) دانه‌های انار دان روند صعودی داشت که با افزایش دمای خشک کردن میزان افت وزن دانه‌های انار دان شیب تندتری نسبت به افزایش زمان خشک کردن داشت که نشان دهنده تأثیر بیشتر دمای خشک کردن بر افت وزن انار دان در مقایسه با زمان خشک کردن بود. نتایج این محققین نشان داد که بالاترین میزان افت وزن (۷۸/۸۵٪) مربوط به محدوده دمای ۷۵-۷۱ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۵۳۰-۳۷۰ دقیقه بود در حالی که کم‌ترین مقدار افت وزن (۴۸/۴۲٪) در محدوده دمای خشک کردن کمتر از ۵۸ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های خشک کردن کمتر از ۲۹۰ دقیقه مشاهده شد.

3. Case hardening

2. Central Composite Design

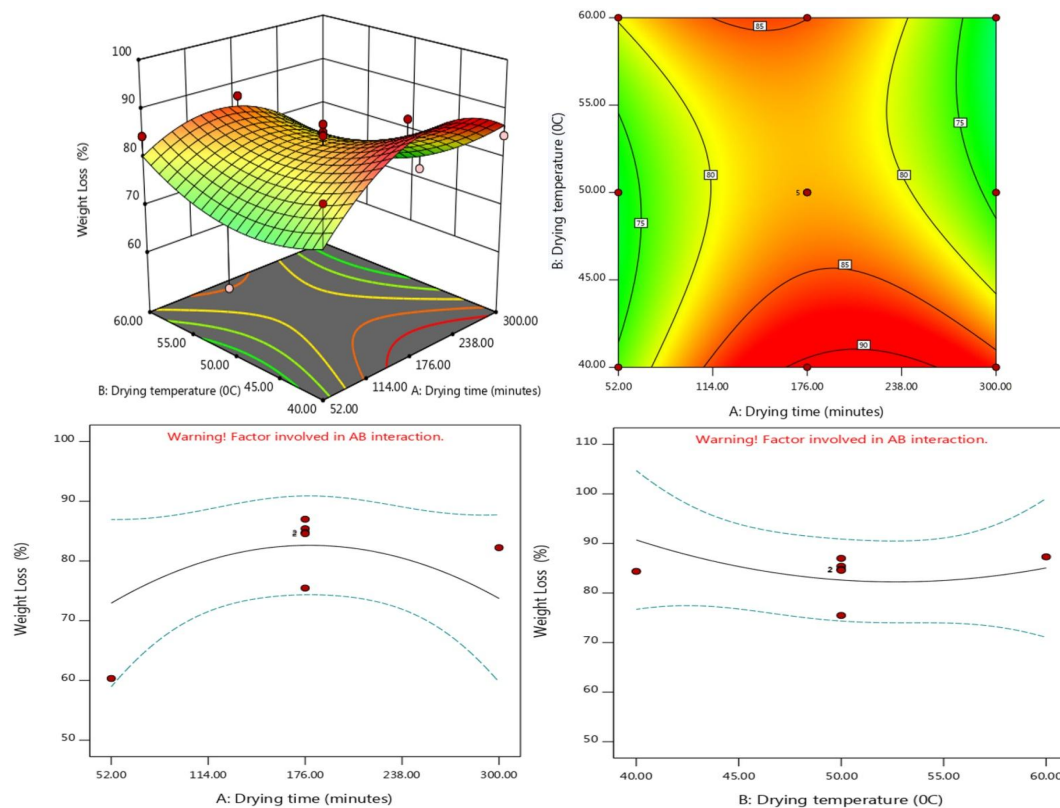


Fig 1 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on water loss (moisture content) of infrared dried mint leaves

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 لذا با استفاده از دماهای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های خشک کردن کمتر از ۱۷۶ دقیقه میزان اتلاف ترکیبات فنولی کل کمتر بوده و در عین حال میزان رطوبت نیز تا حد مطلوبی کاهش می‌یابد [۲۱].

۳-۲- تغییرات مقدار ترکیبات فنولی کل برگ

نعناع طی خشک کردن فرو سرخ

روند تغییرات میزان ویتامین ترکیبات فنولی کل برگ‌های نعناع تحت تأثیر زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان خشک کردن تا ۱۷۶ دقیقه میزان ترکیبات فنولی کل روند صعودی دارد در حالیکه در زمان‌های طولانی‌تر خشک کردن (بالاتر از ۱۷۶ دقیقه) میزان ترکیبات فنولی کل نمونه‌ها روند نزولی پیدا می‌کند. همچنین با افزایش دمای خشک کردن میزان ترکیبات فنولی کل برگ‌های نعناع روند صعودی توأم با شیب ثابت و آهسته‌ای دارد

همان‌طور که ملاحظه می‌شود زمان خشک کردن اثر تخریبی شدیدتری نسبت به دمای خشک کردن بر میزان ترکیبات فنولی

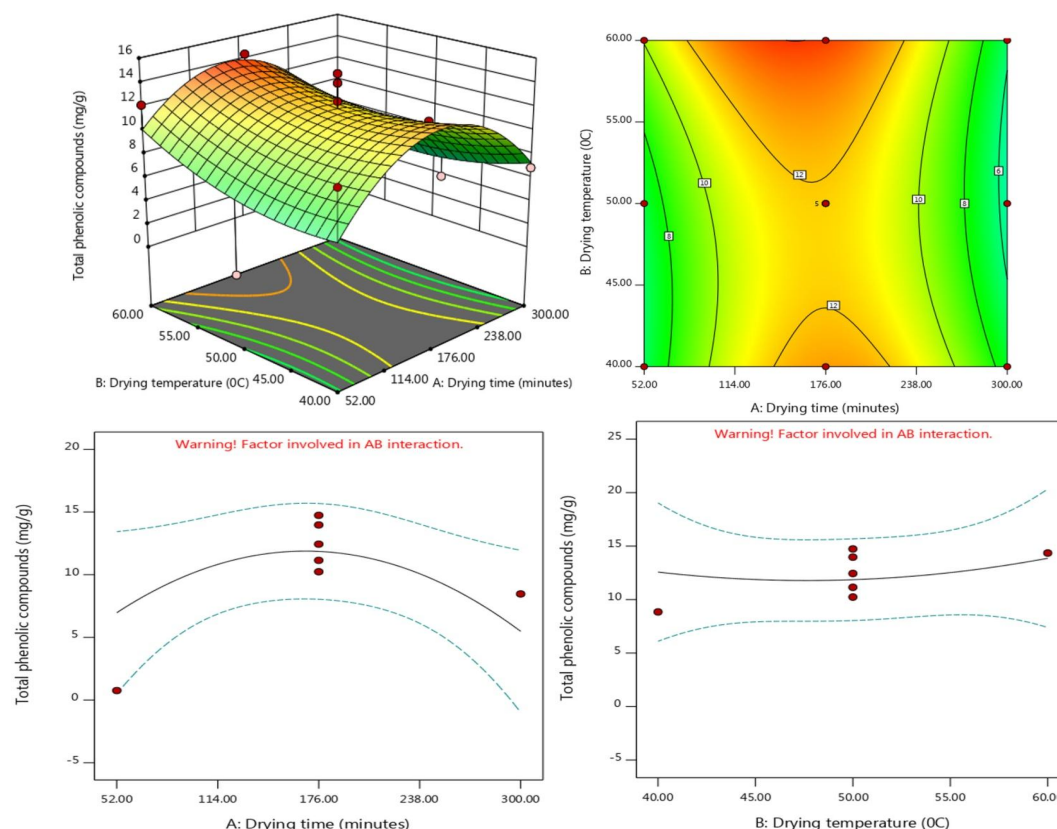


Fig 2 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on total phenolic compounds of infrared dried mint leaves

۳-۳- تغییرات ویژگی‌های آنتی اکسیدانی برگ

نعناع طی خشک کردن فرو سرخ

در شکل‌های ۳-۵ روند تغییرات ویژگی‌های آنتی اکسیدانی برگ‌های نعناع طی خشک کردن فرو سرخ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود میزان مهار رادیکال DPPH با افزایش زمان خشک کردن تا ۲۳۸ دقیقه کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن روند صعودی دارد و با افزایش دمای خشک کردن تا ۵۵ 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 ۱۱۴-۲۳۸ درجه سانتی‌گراد با افزایش دمای خشک کردن فرو سرخ کاهش می‌یابد در حالیکه در محدوده دمایی کمتر از ۵۰ و بالاتر از ۵۵ درجه سانتی‌گراد با افزایش زمان خشک کردن کاهش ملایمی دارد (شکل ۳).

همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود با افزایش دمای خشک کردن ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌های خشک شده روند افزایشی ملایمی دارد در حالی که با افزایش زمان خشک

کردن فرو سرخ روند نزولی دارند (به خصوص در دماهای بالای خشک کردن). نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که ویژگی قدرت احیاء کنندگی نمونه‌های خشک شده با افزایش دمای خشک کردن روند نزولی دارد در حالیکه با افزایش زمان خشک کردن ابتدا کاهش و سپس بعد از ۱۷۶ دقیقه افزایش می‌یابد.

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 [۲۵]. رنگ یک ویژگی کیفی مهم در محصولات خشک شده می‌باشد و در طی خشک کردن و نگهداری طولانی مدت به علت برخی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی تغییر می‌کند. رنگ دانه‌های مختلف شامل آنتوسیانین‌ها، کلروفیل و ترکیبات فنولی عامل اصلی تشکیل دهنده رنگ، شکل ظاهری و خصوصیات حسی محصول بوده و تأثیر بسزایی در بازار پستندی آن دارد این خصوصیات تحت تأثیر نوع فرآیند قرار می‌گیرد و در تعیین قیمت نهایی محصول نقش به سزایی دارد [۲۶].

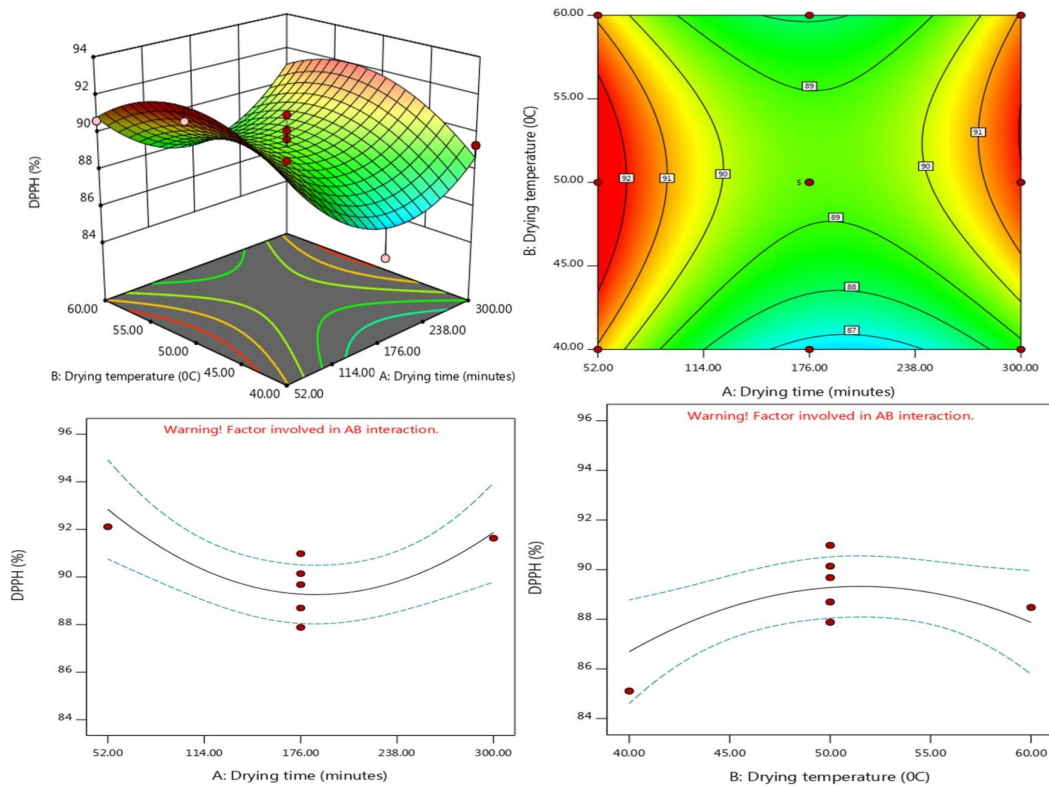


Fig 3 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on DPPH radical scavenging activity of infrared dried mint leaves

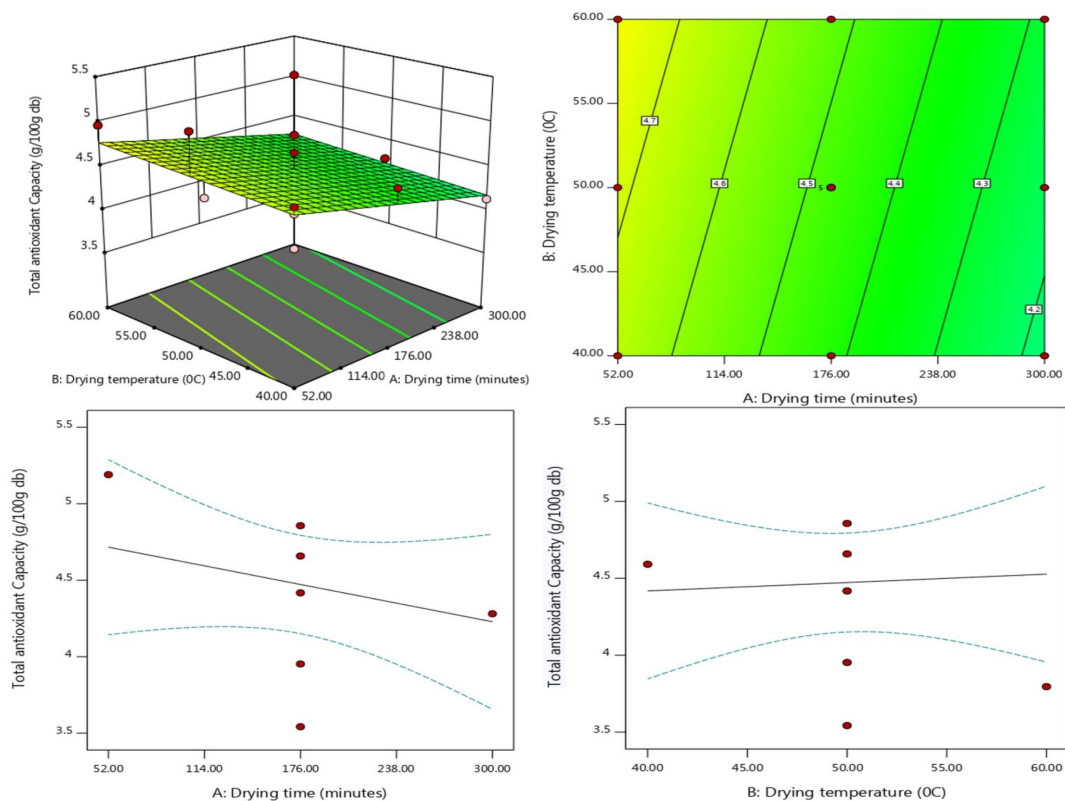


Fig 4 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on total antioxidant capacity of infrared dried mint leaves

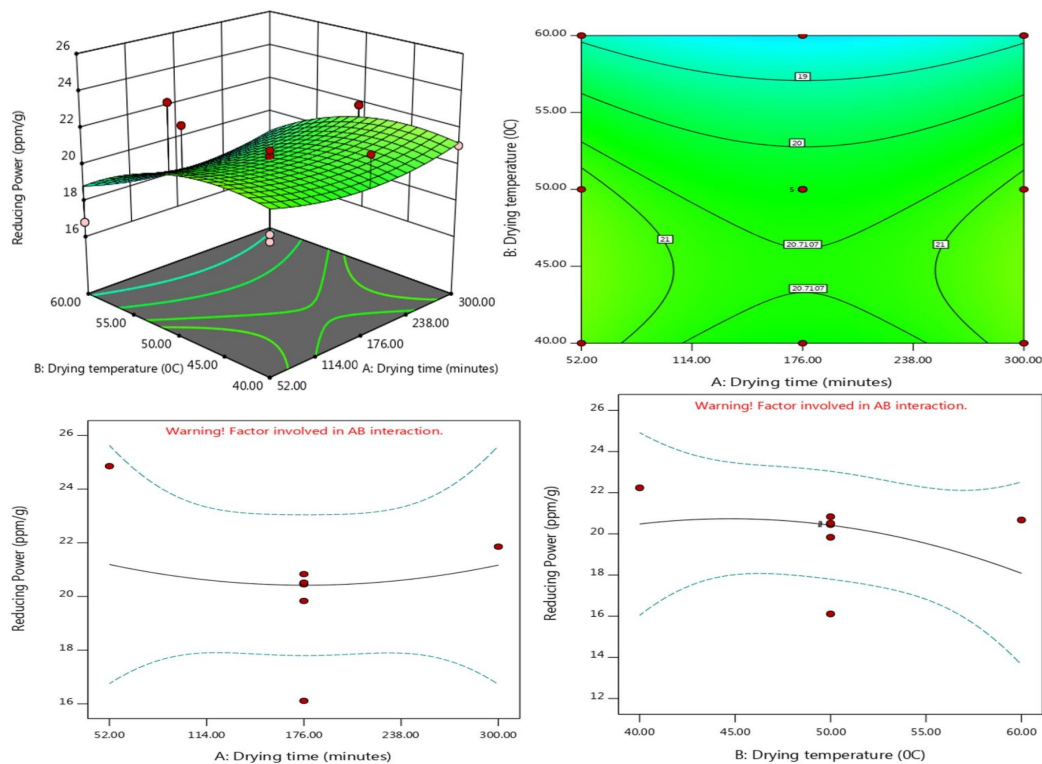


Fig 5 3D surface, contour plot and one factor effect of the simultaneous effect of different drying temperature and drying time on Ferric reducing ability of plasma (FRAP) of infrared dried mint leaves

واريته 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 [۳۲]. 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 [۳۳]. با استفاده از روش‌های سریع خشک کردن نظیر خشک کردن فرو سرخ به علت کوتاه بودن زمان فرآیند خشک کردن تأثیر تخریبی حرارت بر رنگ دانه‌های ماده غذایی کمتر بوده و رنگ و ویژگی‌های آنتی اکسیدانی محصول حفظ می‌شود که نتایج تحقیق حاضر موید تأثیر مثبت فرآیند خشک کردن فرو سرخ بر ویژگی‌های آنتی اکسیدانی محصول تولیدی بود.

۳-۴- بهینه‌سازی شرایط خشک کردن فرو

سرخ برگ نعناع

در جدول (۲) طرح آزمایشی با سطوح واقعی متغیرهای مستقل زمان و دمای خشک کردن فرو سرخ و نتایج مربوط به تغییرات ویژگی‌های کیفی برگ نعناع تحت تأثیر متغیرهای مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ نشان داده شده است. شکل (۶)

ویژگی‌های آنتی اکسیدانی میوه‌ها و سبزیجات به وجود اسیدهای فنولیک (اسید گالیک، اسید کافتریک، اسید کافیک، 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 همچنین پدیده‌های تخریب اکسیداتیو و پلیمریزاسیون-تراکمی برخی از ترکیبات مربوط می‌شود [۲۷-۲۸]. 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 [۲۹-۳۱].

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،

شرایط تعیین شده برای متغیرهای مستقل (جهت بهینه سازی تأثیر دما و زمان فرآیند خشک کردن فرو سرخ بر افت وزن و ویژگی های آنتی اکسیدانی برگ های نعنای) و شرایط بهینه شده را نشان می دهد. 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 فرو سرخ از ایده فرایند HTST استفاده شد برای این منظور دمای خشک کردن حداکثر و زمان فرآیند خشک کردن حداقل در نظر گرفته شد در حالی که میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) در محدوده آزمایشات انجام شده و خواص آنتی اکسیدانی ترکیبات فنولی کل به عنوان هدف فرآیند حداکثر در نظر گرفته شد [21]. در فرآیند 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 (6) ارائه شده است و هرچه مطلوبیت به 1 نزدیک تر باشد مناسب ترین و بهترین شرایط خواهد بود که راه حل اول به عنوان بهترین شرایط جهت دست یابی 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 ویژگی های آنتی اکسیدانی بدست خواهد آمد. همان طور که در شکل (6) مشاهده می شود بهترین شرایط برای خشک کردن فرو سرخ برگ های نعنای شامل استفاده از دمای 56/58 درجه سانتی گراد و زمان خشک کردن 52 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 نعنای خشک تولیدی به ترتیب برابر 8/722، 8/722 میلی گرم بر گرم وزن خشک، 4/91/97، 4/75 و 19/91 می باشد که مطلوبیت این شرایط بهینه 0/727 می باشد.

به منظور اعتبار سنجی شرایط بهینه حاصل از روش سطح پاسخ، نمونه های برگ نعنای در شرایط دما و زمان خشک کردن فرو سرخ بهینه یابی شده، خشک شدند و 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 8/545، 8/545 میلی گرم بر گرم وزن خشک، 4/92/10، 8/55 و 20/04 به دست آمد که بسیار به نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش بینی شده با روش سطح پاسخ شبیه می باشد.

Table 2 Central composite design, Actual levels of independent variables and different quality attributes (response) of infrared 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	82.23	8.46	91.63	4.28	21.86
2	50	52	60.33	0.76	92.11	5.19	24.86
3	50	176	84.58	14.74	90.98	3.95	20.83
4	60	176	87.30	14.35	88.48	3.80	20.67
5	60	300	64.84	3.82	90.65	5.02	18.28
6	50	176	85.40	12.44	89.68	4.42	20.45
7	40	176	84.36	8.85	85.11	4.59	22.24
8	60	52	84.49	12.15	90.65	4.97	16.81
9	50	176	84.76	11.14	87.88	4.66	19.83
10	40	52	84.54	10.71	91.78	4.74	19.63
11	40	300	84.66	6.88	89.35	4.13	21.09
12	50	176	86.99	13.97	88.70	3.54	20.51
13	50	176	75.47	10.24	90.14	4.86	16.11

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 میزان ترکیبات فنولی کل نمونه ها افزایش یافت. قابلیت مهار

۴- نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان و دمای خشک کردن میزان افت وزن (اتلاف رطوبت) و ترکیبات فنولی کل برگ نعنای به ترتیب افزایش و کاهش یافت و زمان خشک

رادیکال DPPH نمونه‌ها شد. افزایش دمای خشک کردن باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی و کاهش فعالیت احیاء کنندگی نمونه‌ها شد. همچنین افزایش زمان خشک کردن فرو سرخ منجر به کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌ها شد.

رادیکال فعال DPPH نمونه‌ها با افزایش زمان خشک کردن (تا ۲۳۸ دقیقه) کاهش و سپس با افزایش زمان خشک کردن افزایش یافت. نتایج نشان داد که اعمال دماهای خشک کردن تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش مهار DPPH شد و اعمال دماهای خشک کردن بالاتر منجر به کاهش قابلیت مهار

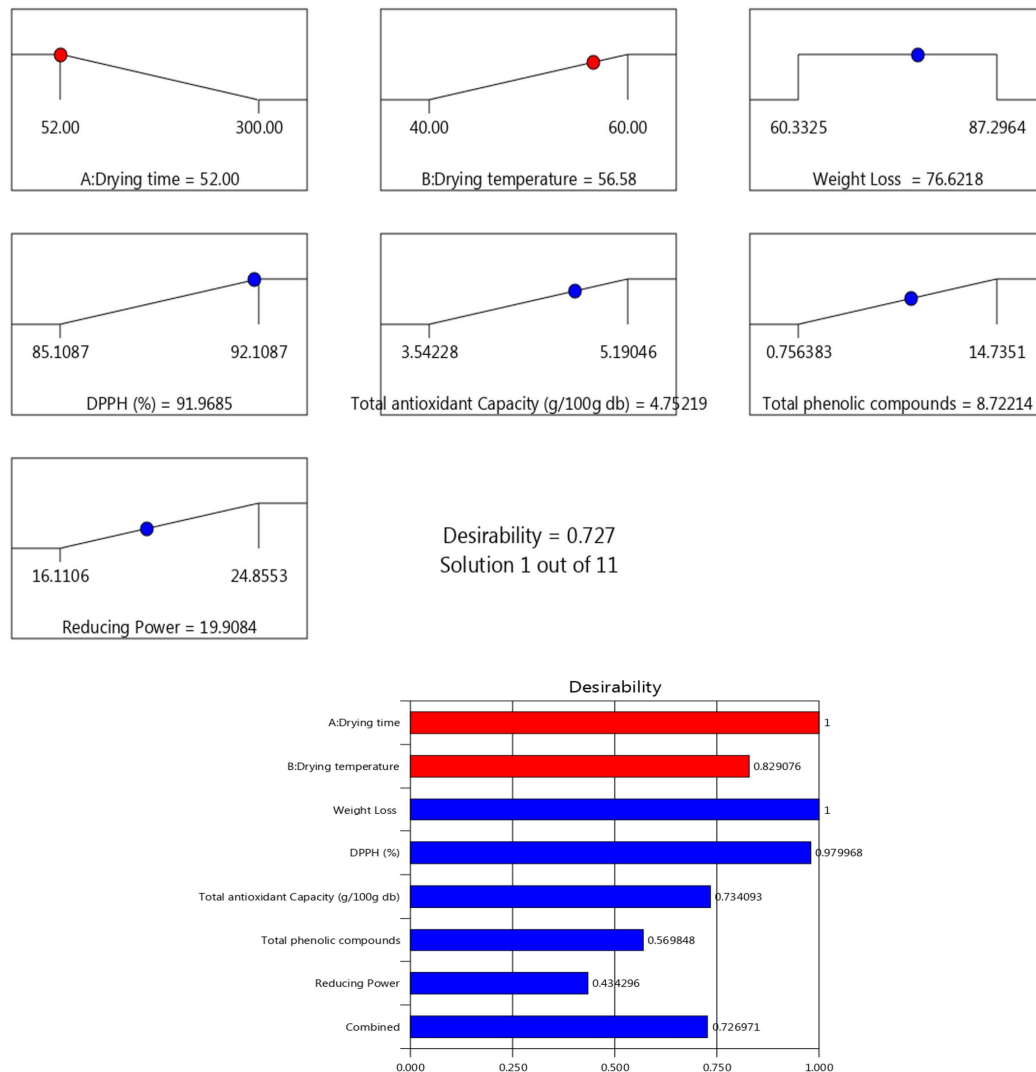


Fig 6 The optimum conditions and desirability graph for infrared drying process of mint leaves

بهینه ۰/۷۲۷ می‌باشد. 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 ۷۶/۱۸، ۸/۵۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک،

بهترین شرایط برای خشک کردن فرو سرخ برگ‌های نعناع شامل استفاده از دمای ۵۶/۵۸ درجه سانتی‌گراد و زمان خشک کردن ۵۲ دقیقه می‌باشد و با اعمال شرایط بهینه میزان افت وزن (اتلاف رطوبت)، ترکیبات فنولی کل، و درصد مهار DPPH نعناع خشک تولیدی به ترتیب برابر ۷۶/۶۲٪، ۸/۷۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، ۹۱/۹۷٪ می‌باشد که مطلوبیت این شرایط

Edition. *Drying Technology*, 25(6): 1133–1134.

- [9] Salehi, F., and Kashaninejad, M. 2018. Thin layer drying of tomato slices using a combined infrared-vacuum dryer. *Food Science and Technology(Iran)*, 15 (82): 119-127.
- [10] 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.
- [11] Aghajani, N., Daraei Garmakhany, A., 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
- [12] Ebrahim Taghinezhad, E., and Rasooli Sharabiani, V. 2017. The effect of combination dryer of hot air – infrared and microwave on some quality properties of parboiled rice. *Food Innovation Technology*, 5(1): 25-38.
- [13] Amir Nejat, H., Khoshtaghaza, M.H., and Pahlavanzadeh, H. 2011. A Determination of Thin Layer Drying Kinetics of Button Mushroom when Dried through an Infrared Applied Drying Method. *Iranian Journal of biosystem Engineering*, 42(1): 53-61.
- [14] Salehi, F. 2019. Modeling of apricot weight loss during drying with infrared dryer using genetic algorithm-artificial neural network optimization methods. *Journal of Food Research*, 29(1): 55-69.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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*

۹۲/۱۰، ۸/۵۵ و ۲۰/۰۴ به دست آمد که بسیار مشابه نتایج مربوط به شرایط بهینه پیش بینی شده با روش سطح پاسخ می باشد.

۵- منابع

- [1] Pirhayati A, Daraei garmakhany A, Gholami M, Mirzakhani A, and Khalilzadeh Ranjbar, G. 2019. Application of Aloe vera Gel Coating Enriched with Golpar Essential Oil on the Shelf Life of Peach Fruit (*Prunus persica* var, Zafarani). *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 13 (4) :75-88
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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 Wroldstad, 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

- problem formulation during celery root drying. *Journal of Food Engineering*, 74(3): 383–391.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Vodnar, D.C., Călinoiu, L.F., Dulf, F.V., Ștefănescu, B.E., Crișan, 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.
- [31] 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.
- [32] Devahastin, S., and Niamnuy, C. 2010. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(9): 1755–1767.
- [33] 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.
- Technology*, 52: 1814–1819. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1177-6>.
- [18] 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.
- [19] 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. *Journal of Food Science and Technology(Iran)*, 18 (115): 283-298.
- [20] 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>.
- [21] 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
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Białobrzewski, I. 2006. Determination of the heat transfer coefficient by inverse



Response surface Optimizing of the mint leaves weight loss, phenolic compounds and antioxidant properties variation during the infrared drying process

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/ 13

Accepted 2023/ 01/ 28

Keywords:

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

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.141

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.12.7

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

In this study, the effect of infrared drying process 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 temperature, the weight loss of mint samples decreased, but with increasing drying time up to 176 minutes, the weight loss of the samples increased and then decreased. Drying time had a greater effect on weight loss changes in samples compared to drying temperature. The trend of changes in total phenolic compounds of samples with drying time was similar to the weight loss of samples, but with increasing drying temperature, the amount of total phenolic compounds of samples increased. The DPPH radical scavenging ability of the samples decreased with increasing drying time (up to 238 minutes) and then increased with increasing drying time. The results showed that applying drying temperatures up to 55°C increased DPPH radical scavenging ability of samples but applying higher drying temperatures led to a decrease in DPPH radical inhibition ability of the samples. Increasing the drying temperature increased the total antioxidant capacity and reduced the ferric reducing activity of the samples. Also, increasing the infrared drying time led to a decrease in the total antioxidant capacity of the samples. The best conditions for infrared drying of mint leaves are using drying temperature of 56.58 °C for 52 minutes and by applying the optimal conditions, the amount of weight loss (moisture loss), total phenolic compounds, and DPPH inhibition percentage of produced dry mint were 76.62%, 8.722 mg/gram of dry weight, 91.97% respectively and the desirability of this optimal condition was 0.727.