

# بهینه سازی فرایند برشته کردن دانه کنجد جهت تولید روغن با کیفیت بهتر

ملیکا برجیان بروجنی<sup>a\*</sup>، سید امیرحسین گلی<sup>b</sup>، مریم قراچورلو<sup>c</sup>، رضا عزیزی نژاد<sup>d</sup>

<sup>a</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>b</sup> استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>c</sup> دانشیار دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>d</sup> استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۴/۱

۱۰۱

## چکیده

**مقدمه:** روغن کنجد در مقایسه با دیگر روغن‌های خوراکی به دلیل دارا بودن ترکیبات لیگنانی مانند سزامین و سزامولین مقاومت بالاتری در برابر تخریب ناشی از اکسیداسیون دارد. فرایند برشته نمودن نیز می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش مقاومت اکسیداتیو روغن کنجد داشته باشد. هدف از این پژوهش بررسی شرایط برشته کردن کنجد از لحاظ دما و زمان با استفاده از روش سطح پاسخ به منظور دستیابی به بالاترین درجه مقاومت اکسیداتیو و بهترین رنگ روغن کنجد برشته شده بود.

**مواد و روش‌ها:** به منظور بررسی شرایط برشته کردن دو نمونه کنجد سفید و قهوه‌ای، دو فاکتور دما (۲۰۰، ۲۱۵ و ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان (۱۵، ۲۵ و ۳۵ دقیقه) فرایند در ۳ سطح استفاده شد. تعداد کل آزمایشات برای هر نمونه دانه کنجد برابر ۱۲ بود و متغیرهای وابسته (پاسخ)، مقاومت اکسیداتیو و رنگ (شاخص L و ΔE) روغن کنجد برشته شده در نظر گرفته شد. پس از آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار، آنالیز آماری مدل‌های مربوط به پایداری و رنگ (شاخص L و ΔE) نمونه‌های روغن کنجد برشته شده بررسی شد.

**یافته‌ها:** فاکتور دما بیش از فاکتور زمان در تغییرات مقاومت اکسیداتیو و رنگ روغن کنجد در طی برشته کردن موثر بود. به طور کلی با افزایش دما و زمان برشته کردن، مقاومت اکسیداتیو روغن افزایش، شاخص L (شدت روشنایی) روغن کاهش و ΔE (تغییرات رنگ) روغن افزایش می‌یابد.

**نتیجه‌گیری:** شرایط بهینه برشته کردن کنجد قهوه‌ای دمای تقریباً ۲۱۶/۸۶ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۹/۳۲ دقیقه بود در حالیکه در مورد کنجد سفید نقاط بهینه فرایند دمای ۲۲۰/۴۷ درجه به مدت ۱۵ دقیقه به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** برشته کردن، روغن کنجد، روش سطح پاسخ

## مقدمه

دانه کنجد شامل ۵۱/۵-۳۵٪ چربی، ۴-۸٪ رطوبت، ۱۲/۵-۶/۸٪ کربوهیدرات، ۵-۶٪ خاکستر، ۳-۷٪ فیبر و ۱۷-۲۲٪ پروتئین است که در این میان روغن آن اهمیت بیشتری دارد (Hui, 1996). روغن کنجد از نظر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی دارای خواص منحصر به فردی می‌باشد که برخی از این خصوصیات به وجود ترکیبات غیر قابل صابونی موجود در آن نظیر سزامول، سزامین و سزامولین مربوط می‌شود. این ترکیبات آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی بوده و می‌توانند سبب پایداری روغن کنجد در مقابل فساد اکسیداتیو شوند (مالک، ۱۳۸۴; Janat et al., 2010). سزامین و سزامولین جزء ترکیبات لیگنانی شناخته می‌شوند و میزان آنها در واریته‌های مختلف (سزامین ۱/۱۳-۰/۰۲٪ و سزامولین ۰/۵۹-۰/۰۲٪) کنجد متفاوت است. گزارشات حاکی از این است که این ترکیبات دارای خواص بیولوژیکی متعددی از قبیل کاهش چربی خون، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، خاصیت ضد التهابی و کاهش کلسترول سرم هستند (Atkinson & Donev, 1992; Sadeghi et al., 2009).

در کشورهای مشرق زمین نظیر چین، ژاپن و کره، در اکثر موارد، دانه‌های کنجد قبل از استخراج روغن، برشته می‌شوند. برشته کردن (بو دادن) برای ایجاد رنگ و عطر و طعم مطبوع روغن کنجد با اهمیت بوده و پایداری اکسیداتیو روغن کنجد را افزایش می‌دهد. شرایط برشته کردن می‌تواند خصوصیات ارگانولپتیک و ترکیب روغن کنجد برشته شده را تحت تاثیر قرار دهد (مالک، ۱۳۸۹). روغنی که از دانه‌های کنجد برشته شده به دست می‌آید دارای طعم و بوی مشخص و ماندگاری بالاتری نسبت به روغن خام کنجد است، هم چنین رنگ روغن کنجد برشته شده بر حسب شرایط برشته نمودن از قهوه‌ای روشن تا تیره متغیر می‌باشد. مقاومت اکسیداتیو بالای این روغن مستقیماً به دمای برشته کردن وابسته است، بنابراین فرایند برشته کردن یک مرحله بحرانی در تهیه روغن کنجد برشته شده می‌باشد چرا که تحقیقات نشان داده است که برشته کردن تاثیر مستقیمی بر روی رنگ، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، افزایش مقاومت اکسیداتیو و کیفیت

روغن کنجد برشته شده دارد (Abou-charbia et al., 2000).

لی و همکاران (۲۰۰۷)، تاثیر افزودن لیگنان‌های استخراج شده از روغن کنجد بو داده شده را بر روی اکسیداسیون حرارتی متیل لینولئات بررسی کردند. میزان اسیدهای چرب مزدوج و اندیس آنیزیدین در نمونه‌های حاوی لیگنان نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. بنابراین خاصیت آنتی‌اکسیدانی لیگنان در مقایسه با آلفا توکوفرول بالاتر بوده و همچنین لیگنان در طی فرایند حرارتی کاهش کمتری نسبت به آلفا توکوفرول داشت (Lee et al., 2007). تحقیقات نشان داده است که مقاومت بالای روغن کنجد برشته شده رابطه مستقیمی با حضور ترکیبات لیگنانی مانند سزامولین، سزامین، سزامول، توکوفرول‌ها و محصولات حاصل از واکنش میلارد دارد و در دمای بالای برشته کردن سزامولین می‌تواند به سزامول و یا دیمرها سزامول تجزیه گردد (Lee et al., 2009). فوکودا و همکاران نشان دادند که ترکیبی از آلفا-توکوفرول، لیگنان‌های کنجد (سزامول و سزامین) و محصولات حاصل از قهوه‌ای شدن عامل پایداری اکسیداتیو بالای روغن کنجد برشته شده می‌باشد (Fukuda et al., 1996). محمد و آواتیف (۱۹۹۷)، دو واریته سفید و قهوه‌ای دانه کنجد را در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه برشته نموده، ترکیبات غیر قابل صابونی را از روغن پرس جدا نمودند سپس این ترکیبات را در مقادیر ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۱٪ به روغن آفتابگردان اضافه نموده و تاثیر آنها را بر روی اکسیداسیون روغن در مقایسه با نمونه شاهد در دمای ۶۳°C بررسی نمودند. مطالعات نشان داد که اضافه نمودن ۰/۱٪ از ترکیبات غیرقابل صابونی روغن کنجد برشته شده می‌تواند به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل نماید (Mohamed and Awatif, 1997). جنت و همکاران (۲۰۱۰)، تاثیر شرایط برشته نمودن را بر خواص آنتی‌اکسیدانی و کل محتوای فنولیکی ۸ رقم کنجد ایرانی بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی و میزان کل ترکیبات فنولیک با افزایش دمای برشته نمودن به طور قابل

ملاحظه‌های تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (Janat et al., 2010).

در مطالعات مختلف شرایط دمایی و زمانی متفاوتی برای برشته کردن دانه کنجد گزارش شده است که به طور کل انتخاب بهترین دما و زمان را مشکل می‌سازد، بنابراین در این تحقیق سعی شده است با استفاده از روش سطح پاسخ شرایط برشته کردن دو رقم کنجد از لحاظ دما و زمان بررسی گردد و بهترین شرایط از جنبه بالاترین درجه مقاومت اکسیداتیو و رنگ روغن کنجد برشته شده انتخاب گردد.

## مواد و روش‌ها

### - آماده سازی نمونه و استخراج روغن

دو نمونه کنجد پاکستانی (سفید) و جیرفتی (قهوه ای) از بازار محلی تهیه شد. ابتدا نمونه‌های کنجد، شسته، خشک و بر طبق تیمارهای روش سطح پاسخ در سه دما (۲۰۰، ۲۱۵ و ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد) و سه زمان (۱۵، ۲۵ و ۳۵ دقیقه) برشته شدند. جهت برشته نمودن از آون الکتریکی دارای گردش هوا (مدل BINDER FD53) استفاده شد. دانه‌های کنجد خام و برشته شده توسط دستگاه پرس (مدل SE-6 ساخت کشور کره) روغن‌گیری و سپس جهت جداسازی ذرات جامد معلق از سانتریفوژ با دور ۵۰۰۰ rpm و زمان ۱۲ دقیقه استفاده گردید. نمونه روغن کاملاً شفاف جداسازی و در ظروف تیره و در یخچال تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شد (Lee et al., 2007).

### - پایداری اکسیداتیو روغن به روش رنسیمت

به منظور ارزیابی پایداری اکسیداتیو، نمونه‌های روغن کنجد خام و برشته شده مورد آزمون رنسیمت قرار گرفتند (دستگاه رنسیمت مدل Metrohm143). دمای مورد استفاده ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوا ۲۰ لیتر بر ساعت بود. این آزمون طبق روش استاندارد ملی شماره ۳۷۴۴ با ۲/۵ گرم نمونه و با دو تکرار انجام گرفت. مدت زمان پایداری روغن بر حسب ساعت محاسبه شد.

### - رنگ روغن

نمونه‌های روغن کنجد برشته شده در یک دستگاه

لاویباند مدل PFX995 و در سیستم سه بعدی  $a, L, b$  هانتر لب مورد آزمون رنگ قرار گرفتند. در این سیستم اندیس  $L$  شدت روشنایی (سفیدی یا سیاهی)، اندیس  $a$  تمایل به قرمز یا سبز بودن و اندیس  $b$  درجه زرد یا آبی بودن را مشخص می‌کند. ارزیابی رنگ قبل و بعد از برشته نمودن انجام پذیرفت. با توجه به اهمیت اندیس  $L$  و تغییر قابل توجه آن پس از برشته نمودن، جهت ارزیابی رنگ تغییرات این پارامتر و  $\Delta E$  مورد بررسی قرار گرفت که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta E = \sqrt{(l - l_0)^2 + (b - b_0)^2 + (a - a_0)^2}$$

که در آن  $L, b$  و  $a$  شاخص‌های رنگ نمونه روغنی و  $L_0, b_0$  و  $a_0$  شاخص‌های رنگ روغن خام کنجد می‌باشد. طول سل مورد استفاده ۱۰ میلی‌متر و هر آزمون ۲ بار تکرار شد.

### - تجزیه و تحلیل آماری

روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که در بهینه سازی فرایندهایی به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند (Atkinson & Donev, 1992).

این روش برای پیش بینی تاثیر متغیرهای فرایند (دما و زمان برشته کردن) بر میزان مقاومت اکسیداتیو و رنگ روغن کنجد برشته شده به کار برده شد. بدین منظور از نرم افزار Design Expert استفاده شد.

### یافته‌ها

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقادیر مقاومت اکسیداتیو و رنگ دو نمونه روغن کنجد سفید و قهوه‌ای خام اختلاف چشمگیری را نشان نمی‌دهد. میزان پایداری هر دو نمونه روغن خام کنجد حدوداً ۱۰ ساعت بود. از نظر پارامتر  $L$  نیز روغن کنجد قهوه‌ای (۸۷/۷۶) تفاوت قابل ملاحظه‌ای با روغن کنجد سفید (۸۶/۲۵) نشان نداد.

به منظور بررسی شرایط برشته کردن، دو فاکتور دما (۲۰۰، ۲۱۵ و ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان (۱۵،

اهمیت هر کدام از این ضرایب با توجه به شاخص P مشخص می شود. عدد P کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده اثر معنی دار فاکتورهای بررسی شده در سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد.

ضرایب فاکتورهایی که در پاسخ مقاومت اکسیداتیو روغن های حاصل از کنجد قهوه ای و سفید برشته شده معنی دار بوده اند بترتیب در معادلات ۱ و ۲ آورده شده است:

$$OSI = +17.17 + 9.59A + 4.28B + 2.32A^2 - 1.57B^2 + 2.62AB \quad (\text{معادله ۱})$$

$$OSI = +17.28 + 9.61A + 4.54B + 2.17A^2 + 2.10AB \quad (\text{معادله ۲})$$

مطابق با جدول ۳، اثر متغیرهای دما و زمان بر روی مقاومت اکسیداتیو روغن کنجد قهوه ای و سفید به صورت خطی و درجه دوم معنی دار می باشد، همچنین بین متغیرهای دما و زمان اثر متقابل معنی داری وجود دارد.

۲۵ و ۳۵ دقیقه) فرایند در ۳ سطح استفاده شد که در جدول ۲، متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها نشان داده شده است. تعداد تیمارها برای هر نمونه دانه کنجد برابر ۱۲ بود و متغیرهای وابسته (پاسخ)، مقاومت اکسیداتیو و رنگ (شاخص L و ΔE) روغن کنجد برشته شده در نظر گرفته شد (جدول ۲).

پس از آنالیز داده ها توسط نرم افزار، آنالیز آماری مدل های مربوط به پایداری و رنگ نمونه های روغن کنجد برشته شده بررسی شد. نرم افزار مدلی را پیشنهاد می کند که دارای انحراف استاندارد (S.D.) و مجموع مربعات باقیمانده برآورده شده (PRESS) کم و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) زیاد باشد که در مورد این تحقیق، نرم افزار در مورد هر دو خصوصیات رنگ و پایداری اکسیداتیو، مدل درجه دوم را پیشنهاد کرد.

#### - مقاومت اکسیداتیو

نتایج تجزیه واریانس ضرایب برآورد شده مدل پیشنهادی درجه دوم در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۱- مقاومت اکسیداتیو و رنگ دو نمونه روغن کنجد خام قهوه ای و سفید

| نوع روغن     | رنگ   |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|
|              | L     | a     | b     |
| کنجد سفید    | ۸۶/۲۵ | -۶/۲۹ | ۲۵/۳۷ |
| کنجد قهوه ای | ۸۷/۷۶ | -۶/۵۱ | ۲۰/۶۴ |

جدول ۲ - تیمارهای مربوط به برشته کردن کنجدهای قهوه ای و سفید و نتایج حاصل در رنگ (ΔE، شاخص L) و پایداری اکسیداتیو روغن کنجد برشته شده

| تیمارها | دما<br>(درجه سانتی گراد) | زمان<br>(دقیقه) | کنجد سفید |        | کنجد قهوه ای |        |
|---------|--------------------------|-----------------|-----------|--------|--------------|--------|
|         |                          |                 | ΔE        | L شاخص | ΔE           | L شاخص |
| ۱       | ۲۰۰                      | ۲۵              | ۳۱/۹۵     | ۶۲/۷۵  | ۹/۲۶         | ۳۵/۲۴  |
| ۲       | ۲۳۰                      | ۳۵              | ۶۹/۴۲     | ۱۹/۳۶  | ۳۵/۵۶        | ۷۵/۰۸  |
| ۳       | ۲۱۵                      | ۳۵              | ۴۵/۷۴     | ۵۲/۵۳  | ۲۱/۳۱        | ۶۶/۷۱  |
| ۴       | ۲۰۰                      | ۳۵              | ۳۶/۶۵     | ۵۷/۹۷  | ۱۱/۸۱        | ۳۶/۷۶  |
| ۵       | ۲۳۰                      | ۲۵              | ۶۴/۵۶     | ۳۳/۱۷  | ۲۸/۴۷        | ۶۸/۵۷  |
| ۶       | ۲۰۰                      | ۱۵              | ۲۴/۶۳     | ۷۱/۶۱  | ۸/۲۰         | ۲۳/۸۸  |
| ۷       | ۲۰۰                      | ۳۵              | ۳۲/۰۲     | ۶۱/۶۳  | ۱۰/۹۹        | ۴۰/۰۳  |
| ۸       | ۲۰۰                      | ۱۵              | ۲۳/۲۷     | ۷۲/۸۷  | ۸/۱۴         | ۲۳/۸۸  |
| ۹       | ۲۳۰                      | ۱۵              | ۵۱/۲۷     | ۴۷/۲۵  | ۲۳/۰۰        | ۵۳/۴۶  |
| ۱۰      | ۲۱۵                      | ۲۵              | ۴۰/۷۶     | ۵۷/۰۸  | ۱۸/۴۷        | ۴۳/۲۸  |
| ۱۱      | ۲۳۰                      | ۱۵              | ۵۰/۰۳     | ۴۸/۷۳  | ۲۴/۵۵        | ۵۳/۵۴  |
| ۱۲      | ۲۱۵                      | ۱۵              | ۳۳/۸۰     | ۶۳/۴۳  | ۱۲/۲۴        | ۳۵/۸۴  |

جدول ۳- آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ کنجد قهوه ای و سفید (مقاومت اکسیداتیو)

| ضرایب                 | منبع   | مجموع درجات | درجه آزادی | میانگین مربعات | ارزش F | ارزش P  |
|-----------------------|--------|-------------|------------|----------------|--------|---------|
| <b>- کنجد قهوه ای</b> |        |             |            |                |        |         |
| مدل                   | ۸۷۲/۵۰ | ۸۷۲/۵۰      | ۵          | ۱۷۴/۵۰         | ۲۰۰/۸۷ | <۰/۰۰۰۱ |
| دما (A)               | ۹/۵۹   | ۷۷۹/۱۲      | ۱          | ۷۷۹/۱۲         | ۸۹۶/۸۷ | <۰/۰۰۰۱ |
| زمان (B)              | ۴/۲۸   | ۱۵۵/۶۸      | ۱          | ۱۵۵/۶۸         | ۱۷۹/۲۱ | <۰/۰۰۰۱ |
| A <sup>2</sup>        | ۲/۳۲   | ۱۱/۸۵       | ۱          | ۱۱/۸۵          | ۱۳/۶۴  | ۰/۰۱۰۲  |
| B <sup>2</sup>        | -۱/۵۷  | ۵/۴۳        | ۱          | ۵/۴۳           | ۶/۲۶   | ۰/۰۴۶۵  |
| AB                    | ۲/۶۲   | ۴۴/۷۷       | ۱          | ۴۴/۷۷          | ۵۱/۵۴  | ۰/۰۰۰۴  |
| باقی مانده            | ۵/۲۱   |             | ۶          | ۰/۸۷           |        |         |
| خطای خالص             | ۳/۲۵   |             | ۳          | ۱/۰۸           |        |         |
| <b>- کنجد سفید</b>    |        |             |            |                |        |         |
| مدل                   | ۸۸۱/۴۳ | ۸۸۱/۴۳      | ۷          | ۱۲۵/۹۲         | ۱۱۰/۲۲ | ۰/۰۰۰۲  |
| دما (A)               | ۹/۶۱   | ۱۸۴/۵۱      | ۱          | ۱۸۴/۵۱         | ۱۶۱/۵۱ | ۰/۰۰۰۲  |
| زمان (B)              | ۴/۵۴   | ۴۱/۱۳       | ۱          | ۴۱/۱۳          | ۳۶/۰۰  | ۰/۰۰۳۹  |
| A <sup>2</sup>        | ۲/۱۷   | ۱۰/۳۵       | ۱          | ۱۰/۳۵          | ۹/۰۶   | ۰/۰۳۹۶  |
| B <sup>2</sup>        | -۰/۰۸۳ | -۰/۰۱۵      | ۱          | -۰/۰۱۵         | -۰/۰۱۳ | ۰/۹۱۳۸  |
| AB                    | ۲/۱    | ۳۵/۲۸       | ۱          | ۳۵/۲۸          | ۲۴/۸۲  | ۰/۰۰۷۶  |
| A <sup>2</sup> B      | ۰/۸۲   | ۱/۰۲        | ۱          | ۱/۰۲           | ۰/۸۹   | ۰/۳۹۸۰  |
| AB <sup>2</sup>       | ۰/۳۶   | ۰/۱۴        | ۱          | ۰/۱۴           | ۰/۱۲   | ۰/۷۴۷۰  |
| باقی مانده            | ۴/۵۷   |             | ۴          | ۱/۱۴           |        |         |
| خطای خالص             | ۱/۵۴   |             | ۳          | ۰/۵۱           |        |         |

### بحث

بررسی اثر پارامترهای بررسی شده و برهمکنش آنها بر میزان مقاومت اکسیداتیو روغن کنجد برشته شده

بر اساس معادلات ۲۰۱ و ضرایب هر فاکتور، مشاهده می‌شود که فاکتور دما بیش از فاکتور زمان در مقاومت اکسیداتیو موثر بوده و به صورت خطی، درجه دوم و هم چنین به صورت اثر متقابل با زمان تاثیر خود را نشان داده است. با افزایش دما، مقاومت اکسیداتیو روغن‌های کنجد برشته شده افزایش یافت. با در نظر گرفتن زمان ثابت ۲۵ دقیقه، مقاومت اکسیداتیو روغن کنجد برشته شده قهوه ای در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد برابر ۹/۱ و در دمای ۲۳۰ درجه برابر ۲۹/۶۴ ساعت می‌باشد. در واقع با افزایش دما به میزان ۳۰ درجه سانتی گراد، مقاومت اکسیداتیو روغن حدود ۳/۲ برابر افزایش یافته است. هم چنین مقاومت اکسیداتیو روغن کنجد برشته شده سفید در زمان ثابت ۲۵ دقیقه و دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد برابر ۹/۲۶ و در دمای

۲۳۰ درجه برابر ۲۸/۴۷ ساعت بوده یعنی با افزایش ۳۰ درجه سانتی گراد دما مقاومت اکسیداتیو حدود ۳ برابر شده است. این نتایج نشان می‌دهد که دما تاثیر بسزایی در دستیابی به بالاترین میزان مقاومت اکسیداتیو روغن دارد. Koizumi و همکاران (۱۹۹۶) ارتباط بین شرایط برشته نمودن دانه‌های کنجد و فعالیت آنتی اکسیدانی را بیان کردند. فعالیت آنتی اکسیدانی روغن به دست آمده از دانه‌های کنجد برشته شده در ۲۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه، بالاتر از روغن به دست آمده از دانه‌های کنجد برشته شده در ۱۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه بود. این نتایج نشان می‌دهد که تشکیل ترکیباتی که فعالیت آنتی اکسیدانی بالایی داشته و پایداری روغن کنجد برشته شده را افزایش می‌دهند در درجه اول به دمای فرآیند بستگی دارد (Koizumi et al., 1996).

بر اساس معادلات ۲۰۱ مشاهده شد که فاکتور زمان برای کنجد قهوه‌ای به صورت خطی و درجه دوم ولی برای کنجد سفید تنها به صورت خطی، بر

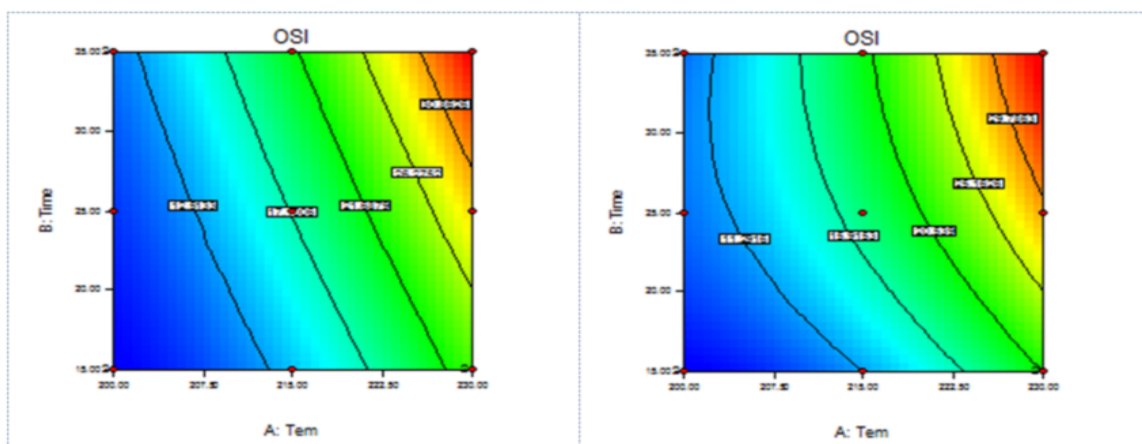
بهبود سازی فرایند برشته کردن دانه کنگد جهت تولید روغن با کیفیت بهتر

اکسیداتیو روغن کنگد برشته شده افزایش یافته است. در هر دو نمونه کنگد، بیشترین پایداری در دمایی بیش از ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمانی در حدود ۲۵ دقیقه به دست آمد. این نتیجه نشان داد که افزایش دما و زمان هر دو تاثیر مثبتی بر پایداری روغن خواهد داشت و به منظور تولید روغن کنگد برشته شده با پایداری بالا می‌توان هر دو عامل زمان و دما را در فرایند افزایش داد که هر دو فاکتور موجب می‌شود در طی برشته کردن ترکیباتی تولید گردند که به پایداری بیشتر روغن در برابر اکسیداسیون کمک می‌کنند.

لی و همکاران (۲۰۰۹)، تاثیر شرایط برشته نمودن دانه‌ی کنگد را بر مقاومت اکسیداتیو روغن استخراج شده از آن در طی اکسیداسیون حرارتی بررسی نمودند. آنها واریته مشخصی از دانه کنگد را در سه دما (۲۱۳، ۲۳۰ و ۲۴۷ درجه سانتی‌گراد) و سه زمان مختلف (۱۴، ۲۱ و ۲۸ دقیقه) برشته نمودند، سپس نه نمونه روغن استخراج شده را به منظور تسریع در فرایند اکسیداسیون در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار دادند. نتایج حاصل از آنالیز اسیدهای چرب مزدوج و میزان اکسیژن در فضای خالی ظرف نشان داد که نمونه‌ای که در بالاترین دما یعنی ۲۴۷ درجه سانتی‌گراد و بیشترین زمان ۲۸ دقیقه برشته شده است، دارای بالاترین مقاومت اکسیداتیو می‌باشد (lee et al., 2009).

روی مقاومت اکسیداتیو روغن موثر بوده است. هم چنین فاکتور زمان به صورت اثر متقابل با دما نیز بر روی مقاومت اکسیداتیو هر دو نمونه کنگد تاثیر داشته است. بر این اساس می‌توان گفت که با افزایش زمان برشته نمودن، مقاومت اکسیداتیو روغن کنگد برشته شده نیز افزایش یافته است. در دمای ثابت ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه، مقاومت اکسیداتیو روغن کنگد برشته شده قهوه ای برابر با ۱۰/۷۳ ساعت بوده در حالیکه در زمان ۳۵ دقیقه به ۲۰/۲۲ ساعت رسیده است. یعنی با تقریباً دو برابر شدن زمان فرایند، مقاومت اکسیداتیو روغن حدود ۱/۸ برابر افزایش یافته است. در مورد روغن کنگد برشته شده سفید نیز در دمای ثابت ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه مقاومت اکسیداتیو روغن کنگد برشته شده سفید برابر ۱۲/۲۴ ساعت بوده در حالیکه در زمان ۳۵ دقیقه به ۲۱/۳۱ ساعت رسیده است.

بر اساس مدل مربوط به مقاومت اکسیداتیو و معادلات ۱ و ۲، دما با زمان اثر متقابل معنی‌داری بر پایداری روغن داشتند. هنگامی که اثر متقابل دو متغیر بر روی پاسخ مدل بررسی می‌شود، نمودارهای کانتور دو بعدی و سطح پاسخ سه بعدی رسم می‌گردد. برای بررسی اثر متقابل دما و زمان برشته کردن بر پایداری روغن کنگد قهوه‌ای و سفید از نمودارهای کانتور دو بعدی استفاده شد (شکل ۱). همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دما و زمان مقاومت



ب- روغن کنگد سفید برشته شده

الف- روغن کنگد قهوه ای برشته شده

شکل ۱- اثر متقابل دما و زمان بر مقاومت اکسیداتیو روغن کنگد قهوه ای (الف) و سفید (ب) برشته

بر طبق این معادلات، در کنجد قهوه ای فاکتور دما به صورت درجه دوم و زمان به حالت خطی موثر بوده است در حالیکه در کنجد سفید هر دو عامل به صورت درجه دوم تاثیر خود را نشان داده اند.

بر اساس معادلات ۳ و ۴ مشاهده می شود که همانند پاسخ پایداری روغن، فاکتور دما بیش از فاکتور زمان بر کاهش L (افزایش تیرگی) روغن تاثیر داشته است. مشاهده شد که با افزایش دما، میزان L با یک شیب نزولی به صورت درجه دوم کاهش می یابد. به عبارت دیگر میزان L با افزایش دما نسبت عکس دارد، به صورتیکه شاخص L روغن کنجد قهوه ای در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ثابت ۲۵ دقیقه برابر ۶۰/۵ و با افزایش دما در ۲۳۰ درجه سانتی گراد تا میزان ۳۰/۵۹ کاهش یافته است. شاخص L روغن کنجد سفید نیز در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ثابت ۲۵ دقیقه برابر ۶۲/۶۷ و با افزایش دما در ۲۳۰ درجه سانتی گراد تا میزان ۳۳/۱۷ کاهش یافته است.

### بررسی اثر پارامترهای بررسی شده و برهمکنش آنها بر رنگ روغن کنجد برشته شده

نتایج تجزیه واریانس ضرایب برآورد شده مدل پیشنهادی برای شاخص L در جدول ۴ نشان داده شده است. اهمیت هر کدام از این ضرایب با توجه به شاخص P مشخص می شود. عدد P کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده اثر معنی دار فاکتورهای بررسی شده در سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد.

ضرایب فاکتورهایی که در میزان شاخص L تاثیر معنی داری داشته اند، به صورت معادلات ۳ و ۴ نشان داده شده است:

روغن کنجد قهوه ای (معادله ۳)

$$L = +53.74 - 16.65A - 10.72B - 6.65A^2$$

روغن کنجد سفید (معادله ۴)

$$L = +55.44 - 13.89A - 7.30B - 6.65A^2 + 3.37B^2$$

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ کنجد قهوه ای و سفید (رنگ، شاخص L)

| منبع           | ضرایب  | مجموع درجات | درجه آزادی | میانگین مربعات | ارزش F | ارزش P  |
|----------------|--------|-------------|------------|----------------|--------|---------|
| - کنجد قهوه ای |        |             |            |                |        |         |
| مدل            |        | ۳۱۷۷/۳۶     | ۵          | ۶۳۵/۴۷         | ۴۷/۸۵  | <۰/۰۰۰۱ |
| دما (A)        | -۱۶/۶۵ | ۲۳۵۰/۱۵     | ۱          | ۲۳۵۰/۱۵        | ۱۷۶/۹۶ | <۰/۰۰۰۱ |
| زمان (B)       | -۱۰/۷۲ | ۹۷۳/۷۷      | ۱          | ۹۷۳/۷۷         | ۷۳/۳۲  | <۰/۰۰۰۱ |
| A <sup>2</sup> | -۶/۶۵  | ۹۷/۲۵       | ۱          | ۹۷/۲۵          | ۷/۳۲   | <۰/۰۰۰۱ |
| B <sup>2</sup> | ۴/۲۲   | ۳۹/۰۷       | ۱          | ۳۹/۰۷          | ۲/۹۴   | <۰/۰۰۰۱ |
| AB             | -۰/۱۴  | ۱/۱۲        | ۱          | ۱/۱۲           | -۰/۸۵  | <۰/۰۰۰۱ |
| باقی مانده     |        | ۷۹/۶۸       | ۶          | ۱۳/۲۸          |        |         |
| خطای خالص      |        | ۱۲/۴۳       | ۳          | ۴/۱۴           |        |         |
| - کنجد سفید    |        |             |            |                |        |         |
| مدل            |        | ۱۹۹۷/۷۸     | ۵          | ۳۹۹/۵۶         | ۹۶/۲۸  | <۰/۰۰۰۱ |
| دما (A)        | -۱۳/۸۹ | ۱۶۳۵/۷۶     | ۱          | ۱۶۳۵/۷۶        | ۳۹۴/۱۷ | <۰/۰۰۰۱ |
| زمان (B)       | -۷/۳۰  | ۴۵۱/۵۵      | ۱          | ۴۵۱/۵۵         | ۱۰۸/۸۱ | <۰/۰۰۰۱ |
| A <sup>2</sup> | -۶/۶۵  | ۹۷/۲۴       | ۱          | ۹۷/۲۴          | ۲۳/۴۳  | <۰/۰۰۰۱ |
| B <sup>2</sup> | ۳/۳۷   | ۲۴/۹۱       | ۱          | ۲۴/۹۱          | ۶/۰۰   | <۰/۰۰۰۱ |
| AB             | ۱/۵۴   | ۱۵/۴۹       | ۱          | ۱۵/۴۹          | ۱/۰۱۶  | <۰/۰۰۰۱ |
| باقی مانده     |        | ۲۴/۹۰       | ۶          | ۴/۱۵           |        |         |
| خطای خالص      |        | ۸/۵۹        | ۳          | ۲/۸۶           |        |         |

بهبود سازی فرایند برشته کردن دانه کنجد جهت تولید روغن با کیفیت بهتر

می‌باشد.

ضرایب فاکتورهایی که در میزان تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) تاثیر معنی داری داشته اند، به صورت معادلات ۵ و ۶ نشان داده شده است.

روغن کنجد قهوه‌ای (معادله ۵)  
 $\Delta E = +48.44 + 16.95A + 10.66B$

روغن کنجد سفید (معادله ۶)  
 $\Delta E = +42.01 + 15.63A + 7.04B + 2.11AB + 5.62A^2$

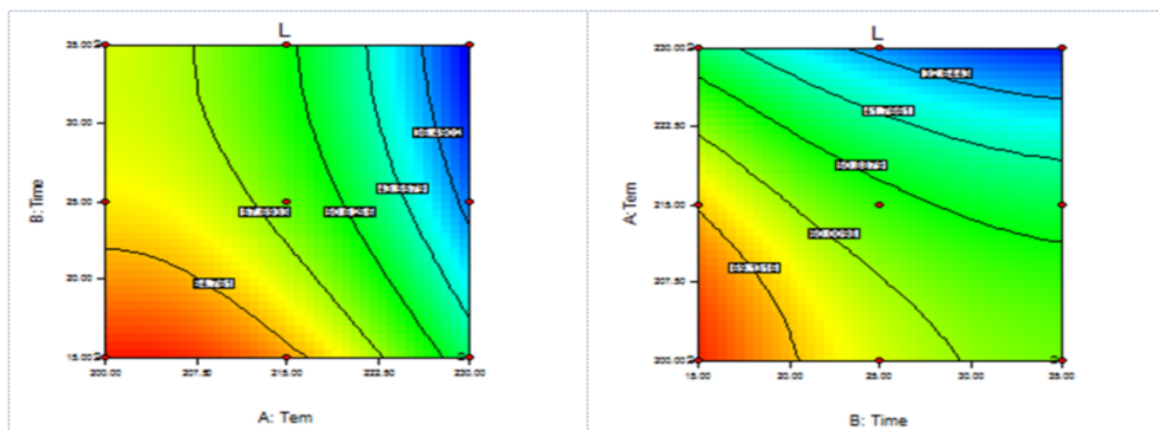
بر طبق این معادلات، در کنجد قهوه‌ای فاکتور دما و زمان به حالت خطی موثر بوده است در حالیکه در کنجد سفید هر دو عامل به صورت درجه دوم و هم چنین اثر متقابل تاثیر خود را نشان داده اند.

بر اساس معادلات ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که همانند شاخص  $L$  روغن، فاکتور دما بیش از فاکتور زمان بر  $\Delta E$  (تغییرات رنگ) روغن تاثیر داشته است و هم چنین فاکتور دما برای کنجد قهوه‌ای و سفید به ترتیب به صورت خطی و درجه دوم بر روی میزان  $\Delta E$  روغن موثر بوده است. مشاهده شد که با افزایش دما، میزان  $\Delta E$  افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر میزان  $\Delta E$  با افزایش دما نسبت مستقیم دارد، به صورتیکه  $\Delta E$  روغن کنجد قهوه‌ای در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۲۵ دقیقه برابر ۳۵/۲۴ و با افزایش دما در ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد تا میزان ۶۸/۵۷ افزایش یافته است.  $\Delta E$  روغن کنجد سفید نیز در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۲۵ دقیقه برابر ۳۱/۹۹ و با افزایش دما در ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد تا میزان ۶۴/۵۶ افزایش یافته است.

بر اساس معادلات ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که فاکتور زمان برای کنجد قهوه‌ای و سفید به ترتیب به صورت خطی و درجه دوم بر روی میزان رنگ روغن موثر بوده است. بر اساس این منحنی مشاهده شد که با افزایش زمان رنگ روغن با یک شیب نزولی به صورت درجه دوم کاهش می‌یابد، به عنوان مثال میزان رنگ ( $L$ ) روغن کنجد سفید در دمای ثابت ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه برابر ۶۳/۴۳ و با افزایش زمان در زمان ۳۵ دقیقه تا میزان ۵۲/۵۳ کاهش می‌یابد. در واقع با تقریباً دو برابر شدن زمان برشته نمودن، میزان  $L$  حدود ۱۷/۱ درصد کاهش یافته است.

نمودار کانتور دو بعدی مربوط به اثر متقابل دما و زمان در شکل ۲ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دما و زمان برشته نمودن، میزان  $L$  کاهش می‌یابد و در واقع دو پارامتر دما و زمان بر روی رنگ روغن تاثیر معکوسی داشتند. بیشترین میزان  $L$  برای کنجد قهوه‌ای در دمای تقریبی ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان حدود ۲۱ دقیقه ( $L = 69/13$ ) و برای کنجد سفید در دمای ۲۱۶ درجه سانتی‌گراد و زمان حدود ۲۲ دقیقه ( $L = 64/76$ ) به دست آمد.

نتایج تجزیه واریانس ضرایب برآورد شده مدل پیشنهادی برای رنگ ( $\Delta E$ ) در جدول ۵ نشان داده شده است. اهمیت هر کدام از این ضرایب با توجه به شاخص  $P$  مشخص می‌شود. عدد  $P$  کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده اثر معنی‌دار فاکتورهای بررسی شده در سطح اطمینان ۹۵٪



ب- روغن کنجد سفیدبرشته شده

الف- روغن کنجد قهوه‌ای برشته شده

شکل ۲- اثر متقابل دما و زمان بر شاخص  $L$  روغن کنجد قهوه‌ای (الف) و سفید (ب) برشته شده



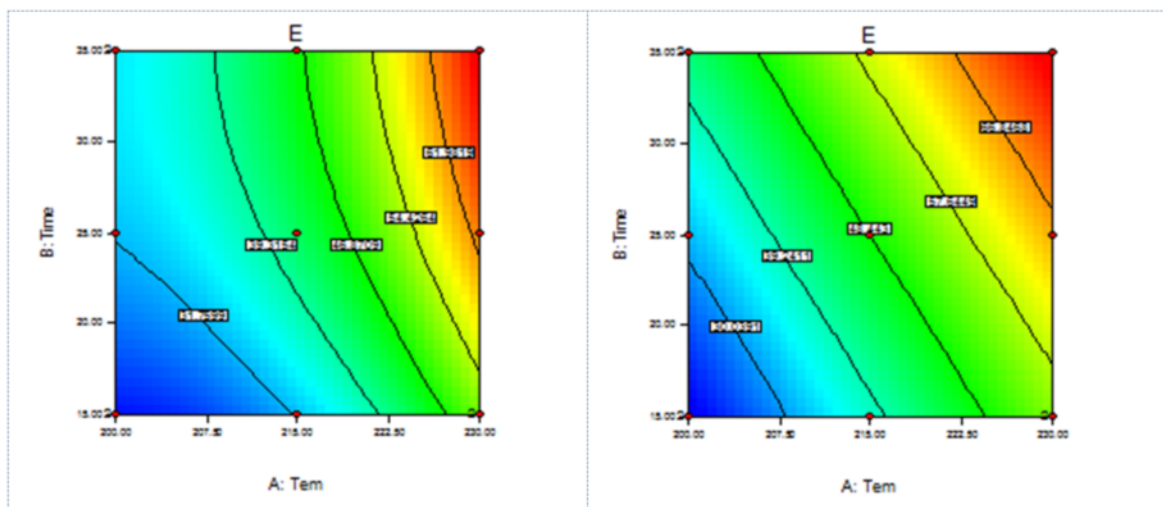
زمان در شکل ۳ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دما و زمان برشته نمودن، میزان  $\Delta E$  افزایش می‌یابد و در واقع دو پارامتر دما و زمان بر روی تغییرات رنگ روغن تاثیر مستقیمی داشتند. کمترین میزان  $\Delta E$  برای کنجد قهوه ای در دمای تقریبی ۲۰۸ درجه سانتی‌گراد و زمان حدود ۲۴ دقیقه و برای کنجد سفید در دمای تقریبی ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان حدود ۲۴ دقیقه به دست آمد.

بر اساس معادلات ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که فاکتور زمان برای کنجد قهوه‌ای و سفید به صورت خطی بر روی میزان  $\Delta E$  (تغییرات رنگ روغن) موثر بوده است. با افزایش زمان،  $\Delta E$  روغن افزایش می‌یابد، به عنوان مثال  $\Delta E$  روغن کنجد قهوه‌ای در دمای ثابت ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۵ دقیقه برابر ۳۷/۷۸ و با افزایش زمان در زمان ۳۵ دقیقه تا میزان ۵۹/۱۰ افزایش می‌یابد. نمودار کانتور دو بعدی مربوط به اثر متقابل دما و

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ کنجد قهوه ای و سفید ( $\Delta E$ )

| منبع                  | ضرایب | مجموع درجات | درجه آزادی | میانگین مربعات | ارزش F | ارزش P  |
|-----------------------|-------|-------------|------------|----------------|--------|---------|
| <b>- کنجد قهوه ای</b> |       |             |            |                |        |         |
| مدل                   |       | ۳۱۸۲/۵      | ۲          | ۱۵۹۱/۲۵        | ۸۹/۷۷  | <۰/۰۰۰۱ |
| دما (A)               | ۱۶/۵۹ | ۲۵۲۳/۰۳     | ۱          | ۲۵۲۳/۰۳        | ۱۴۲/۳۳ | <۰/۰۰۰۱ |
| زمان (B)              | ۱۰/۶۶ | ۹۹۸/۰۸      | ۱          | ۹۹۸/۰۸         | ۵۶/۳۱  | <۰/۰۰۰۱ |
| باقی مانده            |       | ۱۵۹/۵۳      | ۹          | ۱۷/۷۳          |        |         |
| خطای خالص             |       | ۸/۶۳        | ۳          | ۲/۸۸           |        |         |
| <b>- کنجد سفید</b>    |       |             |            |                |        |         |
| مدل                   |       | ۲۳۵۶/۰۱     | ۵          | ۴۷۱/۲۰         | ۱۴۳/۲۴ | <۰/۰۰۰۱ |
| دما (A)               | ۱۵/۶۳ | ۲۰۷۱/۲۶     | ۱          | ۲۰۷۱/۲۶        | ۶۲۹/۶۵ | <۰/۰۰۰۱ |
| زمان (B)              | ۷/۰۴  | ۴۱۹/۸۳      | ۱          | ۴۱۹/۸۳         | ۱۲۷/۷  | <۰/۰۰۰۱ |
| A <sup>2</sup>        | ۵/۶۲  | ۶۹/۳۰       | ۱          | ۶۹/۳۰          | ۲۱/۰۷  | <۰/۰۰۳۷ |
| B <sup>2</sup>        | ۲/۸۷  | ۱۸/۰۸       | ۱          | ۱۸/۰۸          | ۵/۵۰   | <۰/۰۵۷۵ |
| AB                    | ۱/۵۴  | ۲۹/۱۲       | ۱          | ۲۹/۱۲          | ۸/۸۵   | <۰/۰۲۴۸ |
| باقی مانده            |       | ۱۹/۷۴       | ۶          | ۳/۲۹           |        |         |
| خطای خالص             |       | ۱۲/۴۱       | ۳          | ۴/۱۴           |        |         |

۱۰۹



الف- روغن کنجد قهوه ای برشته شده

ب- روغن کنجد سفید برشته شده

شکل ۳- اثر متقابل دما و زمان بر  $\Delta E$  روغن کنجد قهوه‌ای (الف) و سفید (ب) برشته شده

بهینه سازی فرایند برشته کردن دانه کنجد جهت تولید روغن با کیفیت بهتر

## بهینه سازی

پس از تعیین مدل و بررسی اثر فاکتورهای زمان و دما، بهینه سازی فرایند برای دستیابی به سطوحی از متغیرهای مستقل که در نتیجه بکارگیری آنها بهترین شرایط برشته نمودن از لحاظ مقاومت اکسیداتیو و رنگ به دست آید، انجام شد. در جدول ۶ نقاط بهینه تعیین شده جهت برشته کردن هر دو نوع کنجد توسط نرم افزار برای رسیدن به مقاومت اکسیداتیو و رنگ مورد نظر مشاهده می شود، همچنین مقادیر واقعی و پیش بینی شده حاصل در این نقاط بهینه فرایند در این جدول آورده شده است. نتایج نشان داد که در کنجد قهوه ای، شرایط بهینه برشته کردن دمای تقریباً ۲۱۶/۸۶ درجه سانتی گراد و زمان ۱۹/۳۲ دقیقه می باشد. از آنجاییکه هدف در این تحقیق برشته کردن کنجد به منظور پایداری بیشتر و تغییرات رنگ کمتر در روغن حاصل از آن بوده است، نرم افزار دمای تقریبی ۲۱۷ درجه سانتی گراد به مدت ۱۹ دقیقه را جهت انجام فرایند پیشنهاد کرد که در این شرایط مقادیر ۲۷ ساعت و ۵۰/۲۱ برترتیب برای مقاومت اکسیداتیو روغن و رنگ آن به دست آمد. با در نظر گرفتن خصوصیات روغن خام کنجد می توان گفت که در این نقاط برشته کردن کنجد، پایداری روغن حدود ۲/۷ برابر افزایش می یابد در حالیکه رنگ آن تقریباً از لحاظ شاخص L نصف می شود. در مورد کنجد سفید نتایج متفاوت بود و نقاط بهینه فرایند دمای ۲۲۰/۴۷ درجه

به مدت ۱۵ دقیقه به دست آمد. در این شرایط همانند کنجد قهوه ای، شاخص رنگ روغن (L) تقریباً نصف شد ولی پایداری روغن حدود ۳ برابر افزایش نشان داد.

## نتیجه گیری

روغن کنجد برشته شده به عنوان یک محصول با عطر، طعم و رنگ مطبوع و با مقاومت اکسیداتیو بالا مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط برشته نمودن می تواند ترکیب روغن کنجد برشته شده و خصوصیات حسی آنرا تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به شرایط دمایی و زمانی متفاوت ذکر شده در مطالعات مختلف انجام شده در برشته نمودن ارقام مختلف کنجد، در این جا سعی شد تا بهترین شرایط برشته نمودن از نظر پایداری بالای اکسیداتیو و خواص مطلوب ارگانولپتیکی روغن کنجد برشته شده تعیین گردد. نتایج نشان داد که با افزایش دما و زمان برشته کردن، مقاومت اکسیداتیو و تیرگی روغن افزایش یافته ولیکن همانگونه که در مطالعات قبلی نیز مشخص گردیده است، دما نسبت به زمان پارامتر بحرانی در افزایش مقاومت اکسیداتیو، هم چنین خصوصیات ارگانولپتیکی روغن کنجد برشته شده می باشد. به طور کلی بدون توجه به نوع کنجد نتایج نشان داد که بهترین روغن کنجد برشته شده در رنج دمایی ۲۲۰-۲۱۵ درجه سانتی گراد و زمان ۲۰-۱۵ دقیقه به دست می آید.

جدول ۶- سطوح بهینه متغیرها و مقادیر واقعی و پیش بینی شده مقاومت اکسیداتیو و رنگ کنجد قهوه ای و سفید

| مورد                                 | نقاط بهینه کنجد قهوه ای | نقاط بهینه کنجد سفید |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| دما (درجه سانتی گراد)                | ۲۱۶/۸۶                  | ۲۲۰/۴۷               |
| زمان (دقیقه)                         | ۱۹/۳۲                   | ۱۵/۰۰                |
| مقاومت اکسیداتیو پیش بینی شده (ساعت) | ۳۰/۵۲                   | ۳۳/۱۶                |
| رنگ ( $\Delta E$ ) پیش بینی شده      | ۴۴/۴۸                   | ۳۷/۷۸                |
| رنگ (L) پیش بینی شده                 | ۵۹/۰۵                   | ۶۰/۷۱                |
| مقاومت اکسیداتیو واقعی (ساعت)        | ۲۷/۰۰                   | ۳۲/۱۴                |
| رنگ ( $\Delta E$ ) واقعی             | ۵۰/۲۱                   | ۴۵/۵۴                |
| رنگ (L) واقعی                        | ۵۰/۰۹                   | ۵۲/۹۲                |

## منابع

Iranian sesame seeds. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 7, 97-102.

Hui, Y. H. (1996). Bailey's industrial oil and fat products, Vol. 2, John Wiley and Sons, INC., New York, 544.

Koizumi, Y., Fukuda, Y. & Namiki, M. (1996). Marked antioxidative activity of seed oils developed by roasting of oil sesame seeds. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 43, 689-694.

Lee, j., Lee, Y. & Choe, E. (2007). Effect of sesamol, sesamin, and sesamol extracted from roasted sesame oil on the thermal oxidation of methyl linoleate. Food Science and Technology, 41, 1871-1875.

Lee, S., jeung, M., Park, M., Lee, S. & Lee, J. (2009). Effect of roasting condition of sesame seeds on the oxidative stability of pressed oil during thermal oxidation. Food Chemistry, 118, 681-685.

Mohamed, H. & Awatif, I. (1997). The use of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant. Food chemistry, 62, 269-276.

Sadeghi, N., Oveisi, M., Hajimahmoodi, M., Janat, B., Mazaheri, M. & Mansouri, S. (2009). The Contents of Sesamol in Iranian Sesame Seeds. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 8(2), 101-105.

بی‌نام. (۱۳۷۴). روش اندازه‌گیری پایداری روغن‌ها و چربی‌های خوراکی در برابر اکسید شدن. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷۳۴، چاپ اول.

مالک، ف. (۱۳۸۹). دانه‌های روغنی و روغن‌های نباتی (ویژگی‌ها و فرآوری). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

مالک، ف. (۱۳۸۴). چربی‌ها و روغن‌های سرخ کردنی و تکنولوژی سرخ کردن. انتشارات مرز دانش.

Abou-charbia, H., Shehata, A. & Shahidi, F. (2000). Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. Food Research International, 33, 331-340.

Atkinson, A. C. & Donev, A. N. (1992). Optimum experimental design. Oxford Clarendon press, 132.

Faostat.fao.org/site/567.

Fukuda, Y., Kouzumi, Y., Ito, R. & Namiki, M. (1996). Synergistic action of the antioxidative components in roasted sesame seed oil. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 43, 1272-1277.

Janat, B., Oveisi, M., Sadeghi, N., Hajimahmoodi, M., Behzadi, M., Choopankari, E. & Behfar, A. (2010). Effect of roasting temperature and time on healthy nutraceuticals of antioxidants and total phenolic content in