

## بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از سیاه‌دانه با پیش تیمار میدان الکتریکی

### متناوب (PEF)

حمید بخش آبادی<sup>۱\*</sup>، حبیب‌الله میرزایی<sup>۲</sup>، علیرضا قدس‌ولی<sup>۳</sup>، سیدمهدی جعفری<sup>۴</sup>،

امان محمد ضیایی‌فر<sup>۲</sup>، عادل بیگ بابایی<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
\* نویسنده مسئول (h.bakhshabadi@yahoo.com)

۲- دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- دانشیار، پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۴- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

#### چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۷

#### واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی استخراج روغن  
سرعت دورانی پرس مارپیچی  
سیاه‌دانه  
میدان الکتریکی متناوب

در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از دانه‌های سیاه‌دانه به کمک پیش تیمار میدان الکتریکی متناوب از ۳ سطح شدت میدان الکتریکی (۰/۲۵، ۳/۲۵ و ۶/۲۵ کیلووات بر سانتی‌متر) و ۳ سطح تعداد پالس (۱۰، ۳۰ و ۵۰) استفاده گردید و بعد از اعمال این پیش تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی و با سرعت‌های متفاوت (۱۱، ۳۴ و ۵۷ دور در دقیقه) استخراج گردید و میزان راندمان روغن‌کشی، شاخص رنگ، پایداری اکسیداتیو، ضریب شکست و ترکیبات فنلی کل نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی فرایند به روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، شاخص رنگ روغن، افزایش ولی میزان پایداری اکسیداتیو در روغن کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که پارامترهای مورد مطالعه تأثیری بر میزان ضریب شکست نداشتند و با افزایش سرعت دورانی پرس مارپیچی از میزان راندمان روغن‌کشی کاسته شد. افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس‌ها ابتدا منجر به افزایش راندمان روغن‌کشی و ترکیبات فنلی کل گردید ولی با افزایش بیشتر این متغیرها، این دو پارامتر کاهش یافت. با توجه به نتایج بهینه‌سازی فرایند می‌توان بیان نمود که فرایند میدان الکتریکی متناوب با شدت میدان الکتریکی ۱/۱۸ کیلووات بر سانتی‌متر، تعداد پالس ۴۸ و پرس با سرعت دورانی ۱۱/۰۱ دور در دقیقه منجر به رسیدن به حداکثر راندمان استخراج، پایداری اکسیداتیو و ترکیبات فنلی کل گردید.

#### مقدمه

مصرفی کشور از خارج از ایران تأمین می‌شود. بنابراین استفاده از منابع موجود در کشور برای رسیدن به خودکفایی و افزایش سطح زیر کشت دانه‌های روغنی رایج، شناسایی و کشت منابع جدید گامی برای تأمین روغن مورد نیاز کشور است (گلی و همکاران، ۱۳۸۶). یکی از منابع روغنی جدید که غالباً به عنوان چاشنی

اخیراً با رشد دانش عمومی، تقاضای مردم برای مصرف روغن‌هایی که علاوه بر تأمین انرژی و ایجاد طعم بر سلامتی هم تأثیر مفید داشته باشد، افزایش یافته است. ایران در زمینه تولید روغن نباتی به واردات از کشورهای دیگر وابسته است و بیش از ۹۰ درصد روغن

گردد. به کارگیری روش‌های نوین از جمله مایکروویو، میدان‌های الکتریکی متناوب (PEF) و امواج فراصوت غالباً باعث افزایش سرعت و راندمان استخراج روغن می‌شود (Mason, 1998). فرایند میدان‌های الکتریکی متناوب دارای مزیت‌های بیشتری نسبت به استفاده از فرایندهای حرارتی مرسوم در مواد غذایی می‌باشد. زیرا استفاده از آن علاوه بر نابودی میکروارگانیسم‌ها به حفظ بیشتر رنگ اصلی، عطروطعم، بافت و ارزش غذایی مواد غذایی منتج می‌شود. همچنین افزایش سرعت و راندمان استخراج از دیگر مزیت‌های آن می‌باشد. از این فرایند می‌توان در غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها در شیر، فراورده‌های شیری، تخم‌مرغ، آب و مواد غذایی دیگر نیز استفاده نمود (Qin et al., 1995). برخی از پژوهشگران تأثیر میدان الکتریکی متناوب را به‌عنوان پیش‌تیمار در حین استخراج مکانیکی با پرس، مورد مطالعه قرار دادند. گزارش‌های آنها، حاکی از تأثیر مثبت این فرایند بر خواص کیفی و حسی عصاره استخراج‌شده بود. استفاده از میدان الکتریکی متناوب در استخراج روغن از دانه‌های کلزا، سویا و ذرت منجر به افزایش استخراج روغن و فیتواسترول‌ها گردید به گونه‌ای که با افزایش شدت میدان الکتریکی راندمان استخراج روغن بیشتر شد (Guderjan et al., 2007). Zeng و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی به بررسی تأثیر استفاده از میدان الکتریکی متناوب بر خصوصیات کیفی روغن گردو پرداختند، آنها بیان داشتند که استفاده از این فرایند منجر به افزایش اندیس پراکسید در روغن استخراج‌شده نسبت به نمونه شاهد می‌گردد ولی میزان تغییرات اندیس اسیدی و پراکسید در طول انبارمانی در روغن تولیدشده با تیمار میدان الکتریکی متناوب کمتر از نمونه‌های تیمارنشده، بود. با توجه به اینکه تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در زمینه بهینه‌نمودن استخراج روغن از سیاه‌دانه با پیش‌تیمار میدان الکتریکی متناوب صورت نگرفته است، به همین دلیل در پژوهش حاضر سعی شد که تأثیر میدان الکتریکی متناوب بر برخی از خصوصیات روغن استخراج‌شده از سیاه‌دانه بررسی گردد.

در مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای خواص دارویی و تغذیه‌ای مناسب است، سیاه‌دانه می‌باشد (Cheikh-Rouhou et al., 2007). توجه به سلامتی و تلاش برای درمان سریع بیماری‌ها از جمله دغدغه‌های جوامع بشری بوده و در این زمینه هر ساله هزینه‌های هنگفتی برای پیش‌گیری و درمان در جهان هزینه می‌شود. در این میان گیاهان از گذشته یکی از اولین و در دسترس‌ترین منابع قابل استفاده در درمان بوده‌اند. گیاهان دارویی در طول تاریخ توانسته‌اند جایگاه خود را در زندگی انسان به‌عنوان گیاهان شفاءبخش و درمانگر باز کرده و به‌صورت بخشی از تمدن، آداب و سنن از نسلی به نسل دیگر منتقل شوند (جعفرنیا و همکاران، ۱۳۹۰). سیاه‌دانه<sup>۱</sup> از خانواده آلاله<sup>۲</sup> بوده که در بسیاری از نواحی ایران از جمله اراک به‌صورت طبیعی یافت می‌شود. همچنین این گیاه به‌صورت پرورشی در خراسان و اصفهان نیز کشت می‌گردد (امید بیگی، ۱۳۷۶). علاوه بر نقش تاریخی سیاه‌دانه به‌عنوان ادویه مواد غذایی و نیز نگهدارنده مواد غذایی در طی صدها سال گذشته استفاده از این گیاه به‌دلیل اثرات درمانی ویژه آن (که ناشی از وجود متابولیت‌های ثانویه در دانه‌های آن است) به‌طوری خاص مورد توجه می‌باشد. اجزاء تشکیل‌دهنده دانه‌های این گیاه و نیز روغن آن از خواص دارویی در طب سنتی برخوردار می‌باشند (Salem, 2005; Salem & Hossain, 2010). روش‌های متنوع و متداولی برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی (مانند استخراج با حلال توسط روش‌هایی مانند سوکسله و یا روش‌های مکانیکی مانند فشردن) وجود دارد، اما حدود یک‌دهه است که توجه بسیاری به استفاده از روش‌های نوین برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی شده است. در این روش‌ها سعی شده است فرایند استخراج با سهولت و اثر بخشی بیشتر به گونه‌ای انجام شود که مصرف حلال، زمان و دمای استخراج کاهش و درعین‌حال بازدهی استخراج افزایش یابد و فرایند به لحاظ هزینه به صرفه شود (Li et al., 2004). برای استفاده از مزایای ترکیبات عملگرایی موجود در روغن دانه‌ها باید بافت و پوسته دانه متلاشی‌شده و روغن آنها استخراج

<sup>1</sup> *Nigella sativa* L.

<sup>2</sup> Ranunculales

<sup>3</sup> Pulsed electric field

## مواد و روش‌ها

دانه‌های سیاه‌دانه مورد استفاده در این تحقیق از بازار محلی شهرستان گنبد کاووس تهیه شد.

## آماده‌سازی نمونه و استخراج روغن

در این تحقیق، دانه‌های سیاه‌دانه (با ۴۰/۴ درصد روغن) پس از تهیه، بوجاری شده و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. سپس، آنها تحت تأثیر دستگاه میدان الکتریکی متناوب (ساخته‌شده در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی) با شدت میدان‌های الکتریکی مختلف (۰/۲۵، ۳/۲۵ و ۶/۲۵ کیلووات بر سانتی‌متر) و ۳ سطح تعداد پالس (۱۰، ۳۰ و ۵۰) قرار گرفتند. بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی (Kern Kraft، آلمان) و با ۳ سطح سرعت مارپیچ (۱۱، ۳۴ و ۵۷ دور در دقیقه) استخراج گردید و روی این روغن‌ها، آزمایش‌های مختلف، صورت گرفت.

## راندمان استخراج روغن با پرس

برای مشخص کردن کارایی فرایند استخراج روغن، ابتدا راندمان استخراج روغن محاسبه گردید و از طریق رابطه (۱) میزان کارایی فرایند استخراج به دست آمد (Bakhshabadi et al., 2017).

رابطه (۱)

$$R = \frac{Q}{X} \times 100$$

در رابطه (۱) R: راندمان روغن‌کشی به درصد، Q: مقدار روغن استخراج‌شده به گرم، X: وزن دانه‌های اولیه به گرم است.

## شاخص رنگ

برای سنجش رنگ که اغلب مخلوطی از رنگ‌های قرمز و زرد است از روش اسپکتروفوتومتری و از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Biochrom، انگلیس) استفاده شد. برای این منظور میزان جذب نور روغن را در طول موج‌های ۴۶۰، ۵۵۰، ۶۲۰ و ۶۷۰ نانومتر اندازه‌گیری

و سپس از رابطه (۲) برحسب رنگ زرد لایبوند<sup>۱</sup> مقدار رنگ اندازه‌گیری شد (AOCS, 1993).

رابطه (۲)

$$A_{۴۶۰} + ۶۹/۷ A_{۵۵۰} + ۴۱/۲ A_{۶۲۰} - ۵۶/۴ A_{۶۷۰}$$

## آزمون پایداری اکسیداتیو

میزان پایداری روغن در برابر اکسیدشدن روغن‌ها به‌وسیله دستگاه رنسیمت (Metrohm، سوئیس) و مطابق روش (AOCS, 1993)، در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت جریان هوا ۲۵ لیتر بر ساعت اندازه‌گیری گردید.

## ضریب شکست

ضریب شکست روغن با دستگاه رفاکتومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مطابق روش AOCS Cc 7-25 (۱۹۹۳) تعیین شد.

## ترکیبات فنلی کل

برای اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنلی کل از روش Bail و همکاران (۲۰۰۸) استفاده گردید. در این روش از معرف فولین سیوکالتیو<sup>۲</sup> استفاده شد.

## آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

به‌منظور بررسی علت تأثیر میدان الکتریکی متناوب بر ساختار دانه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (axford، انگلستان) استفاده گردید. سپس نمونه‌ها به کمک چسب نقره روی پایه آلومینیومی چسبانده شدند و با طلا پوشش داده شدند.

## طرح آزمایش و تحلیل آماری

روش‌شناسی سطح پاسخ، با استفاده از یک طرح چرخش‌پذیر مرکب مرکزی برای ارزیابی پارامترهای ثابت مطالعه، شدت میدان الکتریکی متناوب (X<sub>1</sub>)، تعداد پالس (X<sub>2</sub>) و سرعت دورانی پرس مارپیچی (X<sub>3</sub>) بر میزان راندمان روغن‌کشی، شاخص رنگ، پایداری

<sup>1</sup> Lovibond

<sup>2</sup> Folin ciocalteu

استخراج منجر به ایجاد روزه‌های بیشتر و مجاری و در نتیجه خروج بهتر روغن از آنها می‌گردد. زمانی که اختلاف پتانسیل به حد بحرانی رسید، نیروی جاذبه بین بارهای با قطب‌های مخالف خود سبب غالب شدن نیروهای الکترومکانیکی و آسیب دیدن غشاء الاستیک می‌شود و به این ترتیب منافذی در غشاء به وجود می‌آید که این پدیده را نفوذپذیری الکتریکی یا الکتروپوراسیون<sup>۲</sup> گویند. این مقدار بحرانی به اندازه و شکل سلول بستگی دارد. معمولاً برای سلول‌های گیاهی در محدوده ۲-۱ کیلووات بر سانتی‌متر و برای سلول‌های جانوری در محدوده ۱۴-۱۰ کیلووات بر سانتی‌متر است (صالحی و امیدواری، ۱۳۹۴).

اک<sup>۱</sup> سیداتیو، ضریب شکست و فنل کل به عنوان پارامترهای متغیر، مورد استفاده قرار گرفت. به کمک این طرح کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها قابل برآورد هستند. مهم‌ترین مسئله در این تحقیق بررسی اثر متقابل فاکتورها و یافتن بهترین شرایط فرایند استخراج روغن از دانه سیاه‌دانه بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب گردید. برای ارزیابی رفتار سطوح پاسخ، یک معادله چندجمله‌ای درجه دوم برای هر متغیر مستقل برازش داده شد. کیفیت و صحت مدل رگرسیونی و مناسب بودن برازش صورت گرفته به وسیله پارامترهای آنالیز مدل، ضعف برازش، و ضریب تعیین مشخص می‌شود و آنالیز آماری توسط نرم‌افزار Design Expert نسخه ۶.۰.۲ صورت گرفت.

### نتایج و بحث

#### بررسی روند تغییرات راندمان روغن‌کشی

جدول (۱) نشان داد که بهترین مدل برای تفسیر تأثیر پارامترهای عملیاتی بر میزان راندمان روغن‌کشی، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود. نتایج همچنین نشان داد که تغییرات شدت میدان الکتریکی، تعداد پالس‌ها و سرعت دورانی پرس ماریچی بر راندمان روغن‌کشی تأثیر معنی‌دار داشت. همان‌طور که در شکل (۱-الف) مشخص است با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس در شدت میدان‌های الکتریکی پایین راندمان روغن‌کشی به علت تجزیه الکتریکی سلول‌ها و نفوذپذیری بیشتر آنها افزایش یافت (Schroeder *et al.*, 2009). نتایج این بخش با نتایج Guderjan و همکاران (۲۰۰۵) که روی ۲ دانه جوانه ذرت و زیتون مطالعه نموده بودند، مطابقت داشت. در حالی که در شدت میدان‌های الکتریکی بالا با افزایش تعداد پالس‌ها، راندمان روغن‌کشی احتمالاً به علت تخریب ساختار درونی دانه‌ها و بسته شدن مجاری خروجی روغن کاهش یافت. اشکال به دست آمده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (Oxford، انگلیس) (شکل ۲) نیز تأییدکننده این مطلب بود که استفاده از میدان الکتریکی متناوب به عنوان پیش‌تیمار فرایند

جدول ۱- انتخاب مدل برای پارامترهای مورد اندازه‌گیری

مدل‌ها	راندمان روغن‌کشی		شاخص رنگ		پایداری اکسیداتیو		ضریب شکست		فنل کل	
	مجموع	سطح	مجموع	احتمال	مجموع	سطح	مجموع	سطح	مجموع	سطح
عرض از مبدأ	۱۳۲۷۱		۲۸۲۰۰۰۰۰		۶۲۴۱۰۶		۴۳۱۶		۴۲۰۲۰۰	
مدل خطی	۴۳۳۴	۰/۶۵۶۰	۵۳۹۸۳۸	۰/۰۰۱	۵۱۷۲	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۳	۰/۱۰۰	۱۵۱/۰۳	۰/۸۹۵۴
چندجمله‌ای	۲۶۹۴۴	۰/۰۰۳۳	۳۵۸۴۲	۰/۰۰۱	۰/۰۷۴	۰/۵۷۵۵	۰/۰۰۳۷	۰/۰۹	۱۳۲۵۴۸	۰/۸۸۲۱
چندجمله‌ای درجه دوم	۱۵۱/۵۳	۰/۰۰۱	۰/۱۹	۰/۵۲۱	۰/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۳۹۴۳	۲۸۱۸۳۸	۰/۰۰۱
چندجمله‌ای درجه سوم	۰/۰۱۸	۰/۳۱۸۴	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۶۹	۰/۰۲۶۵	۰/۰۰۰۲	۰/۱۴	۰/۰۰	۱/۰۰
باقی‌مانده	۰/۰۱۸		۰/۸۱		۰/۰۱۷		۰/۰۰۰۶		۰/۰۹۷	
کل	۱۳۷۳۶۶		۲۸۷۹۰۰۰۰۰		۶۳۰۳۲		۴۳۱۷		۴۲۴۰۰۰	

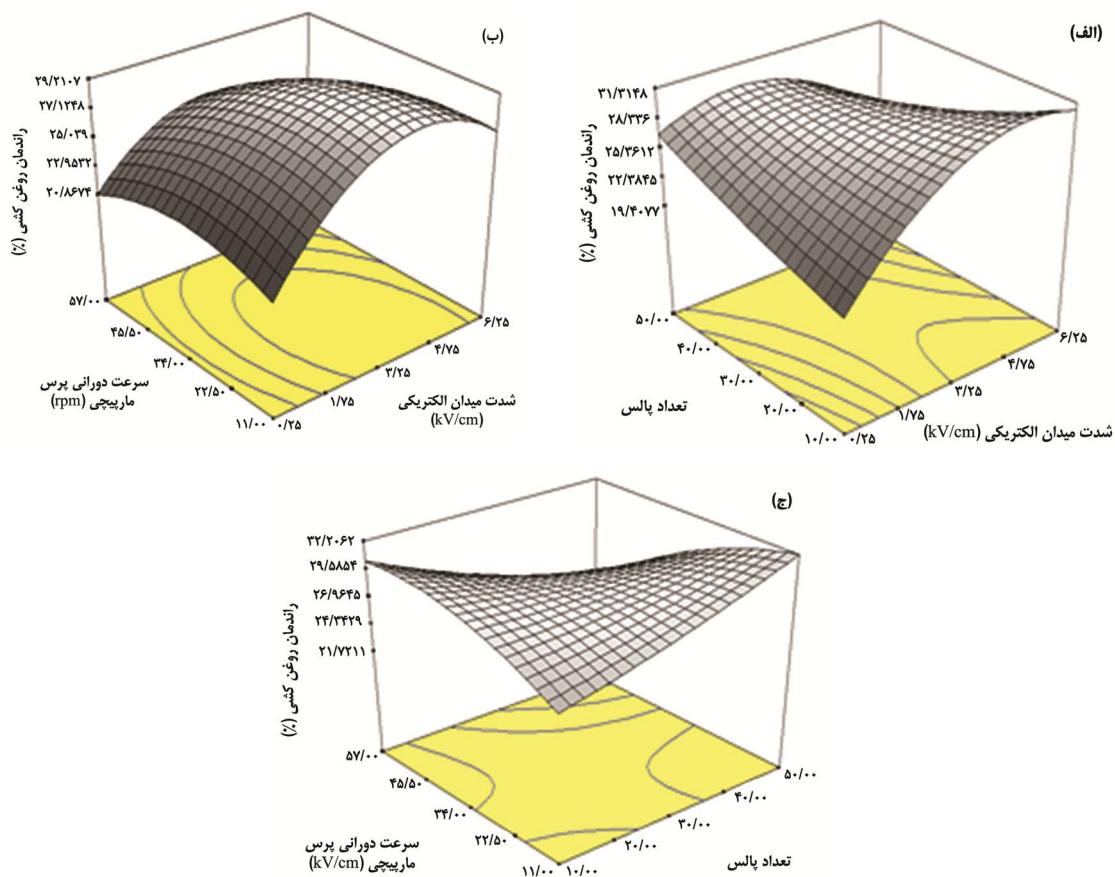
<sup>2</sup> Electroporation

<sup>1</sup> Oxidative stability

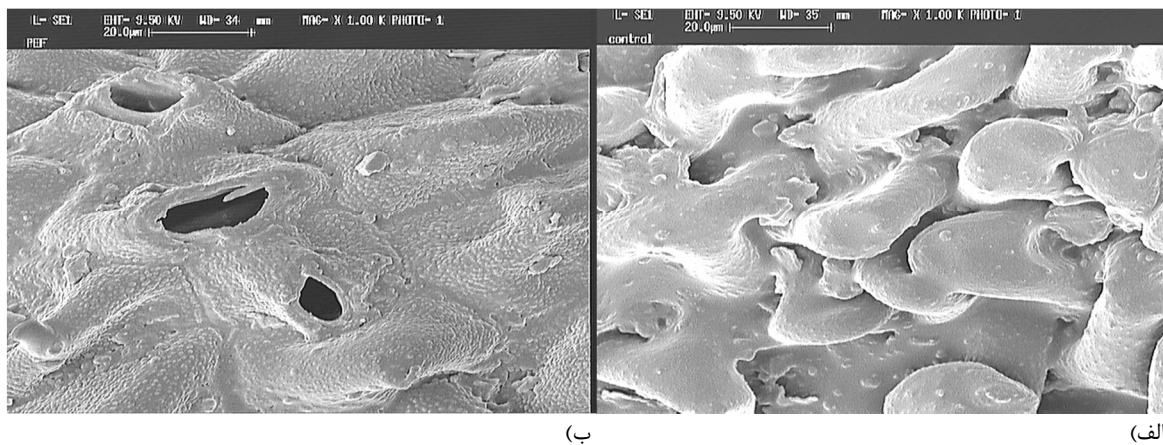
بیان داشته بودند، سرعت بالای دورانی پرس ماریچی به علت افزایش دما، منجر به افزایش راندمان روغن‌کشی می‌شود در تضاد بود.

نتایج آماری نشان داد که بیشترین تأثیر را بر میزان راندمان روغن‌کشی، پارامتر درجه دوم شدت میدان الکتریکی داشت.

نتایج این بخش همچنین نشان داد که با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی به علت کاهش فشار وارده بر دانه‌ها راندمان روغن‌کشی به صورت خیلی جزئی کاهش یافت (شکل‌های ۱-ب و ۱-ج) که با یافته‌های Bakhshabadi و همکاران (۲۰۱۷) در تطابق بود ولی با نتایج Akinoso و همکاران (۲۰۰۹) که



شکل ۱- نمودارهای سه‌بعدی: تأثیر (الف) شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، (ب) شدت میدان الکتریکی و سرعت دورانی پرس ماریچی و (ج) تعداد پالس و سرعت دورانی پرس ماریچی بر راندمان روغن‌کشی

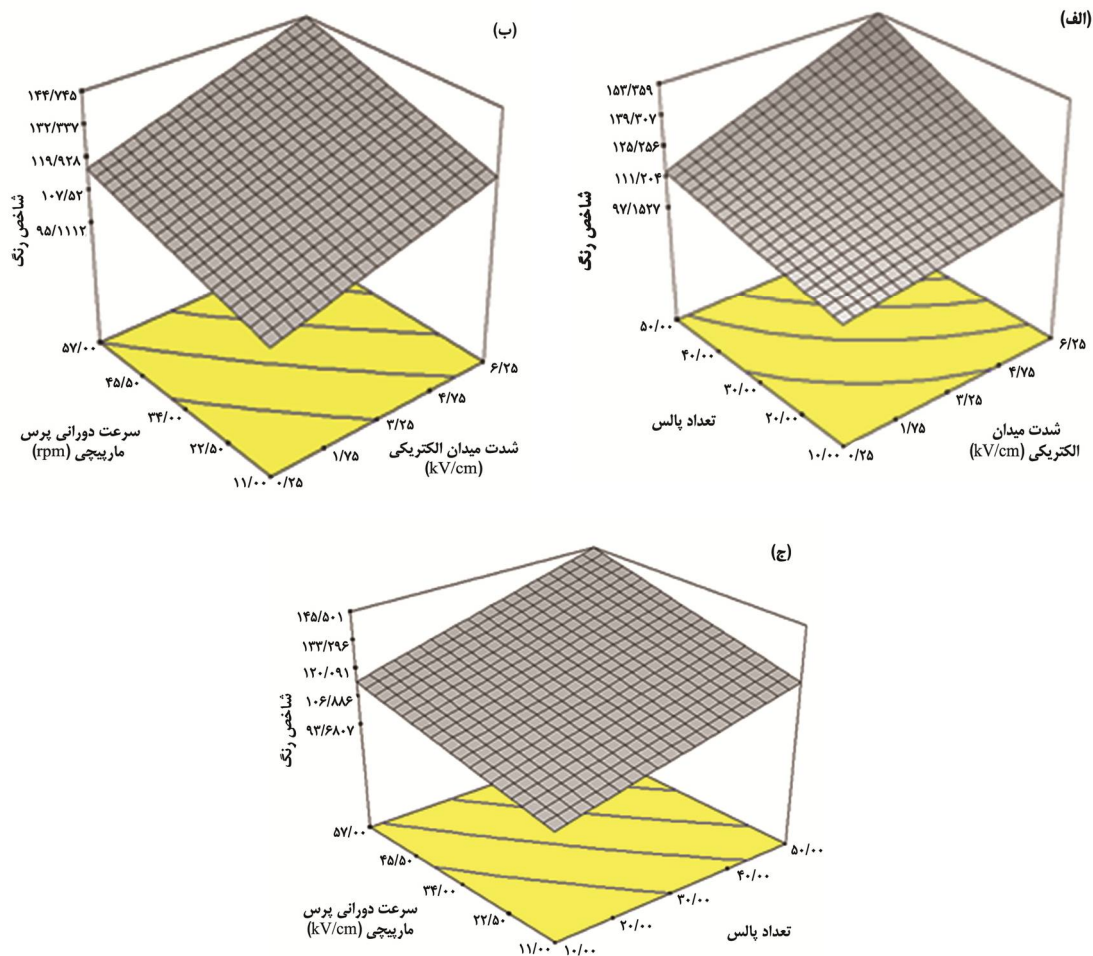


شکل ۲- نمودارهای SEM از (الف) نمونه شاهد (بدون تیمار) و (ب) نمونه تیمار دیده با میدان الکتریکی متناوب

## بررسی روند تغییرات شاخص رنگ

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات آماری بیانگر معنی دار بودن اثرات متغیرهای مورد بررسی بر شاخص رنگ روغن بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی، تعداد پالسها و همچنین سرعت دورانی پرس ماریچی باعث افزایش شاخص رنگ (شکل ۳-الف، ۳-ب و ۳-ج) به علت تخریب بیشتر دانه‌ها و ورود بیشتر رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل به درون روغن شد که نتایج Guderjan و همکاران (۲۰۰۷) نیز مؤید این مطلب بود. Lee و همکاران

(۲۰۰۴) گزارش کردند که تشکیل مواد قهوه‌ای در ترکیبات فرایند شده با حرارت، نتیجه‌ای از انواع واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی از نوع میلارد<sup>۱</sup>، کاراملیزاسیون<sup>۲</sup> و تخریب فسفولیپیدها<sup>۳</sup> است که در نتیجه می‌توان افزایش شاخص رنگ با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی را توجیه کرد. همان‌طور که جدول (۲) نشان داد اثرات درجه دوم متغیرها بر شاخص رنگ تأثیر معنی دار نداشتند به همین جهت از مدل مورد بررسی که در جدول (۳) آورده شده بود، حذف گردیدند.



شکل ۳- تأثیر (الف) شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، (ب) شدت میدان الکتریکی و سرعت دورانی پرس ماریچی و (ج) تعداد پالس و سرعت دورانی پرس ماریچی بر شاخص رنگ

<sup>1</sup> Maillard

<sup>2</sup> Caramelization

<sup>3</sup> Destruction of phospholipids

جدول ۲- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

مدل‌ها	راندمان روغن کشتی	شاخص رنگ	پایداری اکسیداتیو	ضریب شکست	فنل کل
درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع مربعات	مجموع مربعات	مجموع مربعات	مجموع مربعات
مدل	۴۶۴/۳	۵۶۵۶/۸	۶/۱۷	۰/۰۰	۴۱۹۷/۸
A	۲۱/۱۹	۱۷۵۶/۹	۴/۶۱	-	۱۰۹/۰۶
B	۲/۲۹	۲۲۰۴/۶	۰/۹۲	-	۱/۵۳
C	۱۹/۸۶	۱۳۳۶/۸	۰/۱۹	-	۴۰/۴۴
A <sup>2</sup>	۵۸/۴۵	-	۰/۲۱	-	۱۱۷۷/۰۲
B <sup>2</sup>	۰/۵۶	-	۰/۰۰۶	-	۸۵/۳۶
C <sup>2</sup>	۷/۹۰	-	۰/۲۹	-	۳/۳۶
AB	۱۳۷/۲۵	۳۳۴/۵	۰/۰۰۳	-	۱۲۲۳/۲
AC	۱۴/۵۷	۱۰/۴	۰/۰۵۶	-	۱/۰۱
BC	۱۱۷/۶۲	۱۳/۵	۰/۰۱۷	-	۱/۳۳
باقی‌مانده	۰/۰۳۶	۱/۰۱	۰/۰۸۶	-	۰/۰۹۷
فقدان	۰/۰۱۹	۰/۳۳	۰/۰۸۲	-	۰/۰۰۱۹
برازش	۰/۴۸۰	۰/۹۴	۰/۲	-	۰/۰۰۹
خطای	۰/۰۱۸	۰/۶۸	۰/۰۰۳	-	۰/۰۹۷
خالص	-	-	-	-	-
مجموع	۴۶۴/۳۴	۵۶۵۷/۸	۶/۲۶	-	۴۱۹۴/۹
مربعات کل	۱۹				

جدول ۳- مدل‌های برازش داده‌شده برای پارامترهای مورد اندازه‌گیری

ردیف	متغیر اندازه‌گیری شده	مدل به‌دست‌آمده	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -adj	ضریب تغییرات
۱	راندمان روغن کشتی (درصد)	$y = +28.69 + 1.46 X_1 - 0.48 X_2 - 1.41 X_3 - 4.61 X_1^2 + 0.45 X_2^2 - 1.69 X_3^2 - 4.14 X_1 X_2 - 1.35 X_1 X_3 - 3.83 X_2 X_3$	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۲۳
۲	شاخص رنگ	$y = +118.79 + 13.25 X_1 + 14.85 X_2 + 11.56 X_3 + 6.47 X_1 X_2 + 1.14 X_1 X_3 + 1.30 X_2 X_3$	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۲۸
۳	پایداری اکسیداتیو (ساعت)	$y = +5.45 - 0.68 X_1 - 0.30 X_2 - 0.14 X_3 + 0.281 X_1^2 + 0.048 X_2^2 - 0.062 X_3^2 - 0.006 X_1 X_2 - 0.084 X_1 X_3 - 0.046 X_2 X_3$	۰/۹۸۶	۰/۹۷۳	۱/۶۶
۴	ضریب شکست	$y = 1.47$	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۵
۵	فنل کل (ppm)	$y = +157.52 - 3.30 X_1 - 0.39 X_2 + 2.01 X_3 - 20.69 X_1^2 - 5.57 X_2^2 + 1.11 X_3^2 - 12.37 X_1 X_2 + 0.36 X_1 X_3 + 0.41 X_2 X_3$	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۶۸

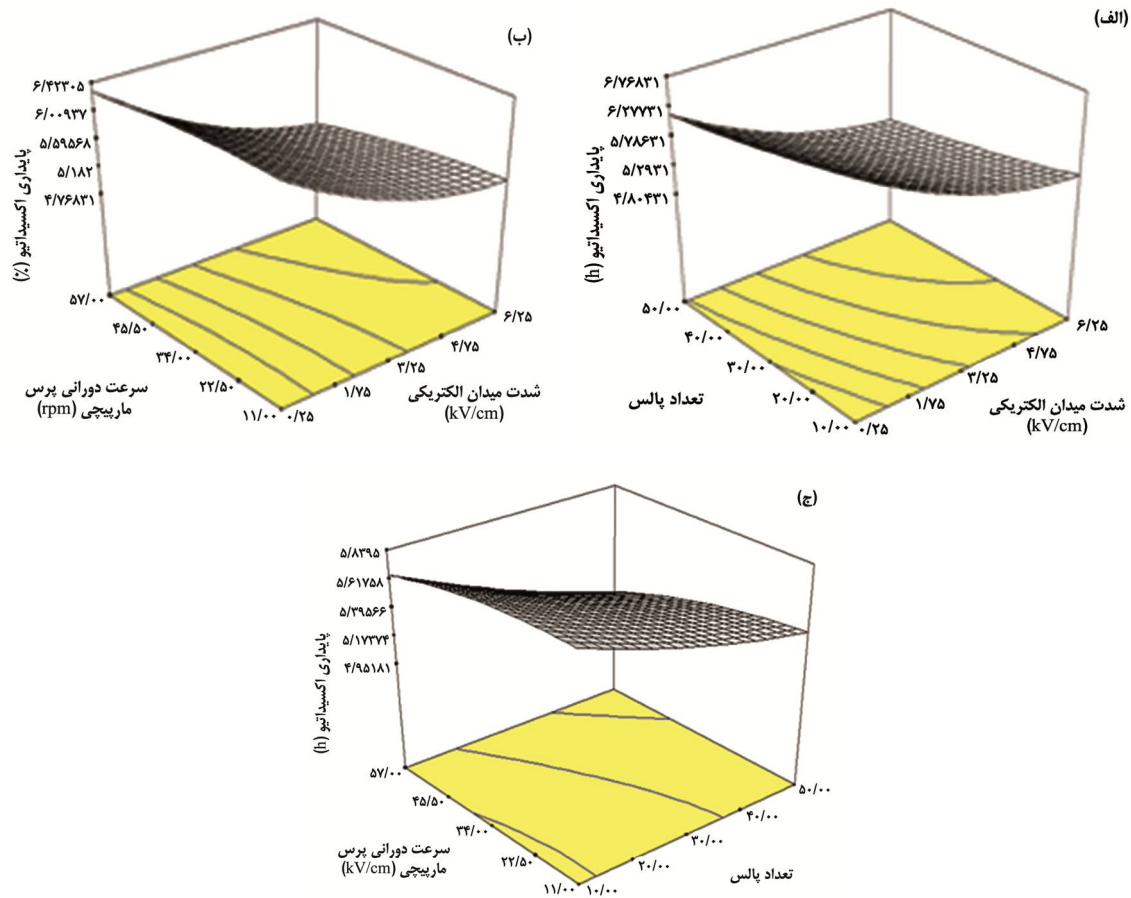
بررسی روند تغییرات پایداری اکسیداتیو

پایداری اکسیداتیو عبارت است از مدت زمان لازم برای رسیدن به نقطه‌ای که در آن یکی از کمیت‌های اکسایشی مانند عدد پراکسید یا عدد کربونیل پس از طی نمودن روند افزایشی خود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد و باعث تولید طعم و بوی نامطلوب در روغن می‌شود. اکسایش باعث ایجاد فساد می‌شود که بوی نامطلوب و کاهش کیفیت غذا را به دنبال دارد.

روش‌های متعددی برای ارزیابی مواد حاصل از فرایندهای حرارتی که دارای آثار زیادی بر خواص شیمیایی، فیزیکی و تغذیه‌ای روغن هستند، وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها شاخص پایداری اکسیداتیو است (White, 1991). با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، پارامترهای مورد بررسی اثر معنی‌داری در مدل داشتند و پارامتر خطی شدت میدان الکتریکی

دمای (Giovanna, 2010) ناشی از استفاده از میدان الکتریکی متناوب و یا همچنین گرمای ناشی از افزایش سرعت پرس نسبت داد. اندازه‌گیری شاخص پایداری اکسایشی طی فرایندهای حرارتی روغن‌ها به تنهایی برای ارزیابی کیفیت روغن‌ها کافی نیست اما اطلاعاتی درخصوص وضعیت اولیه نمونه روغن در اختیار می‌گذارد (Matthaus, 2006).

دارای بیشینه اثرگذاری بر میزان پایداری اکسیداتیو بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس‌ها، پایداری اکسیداتیو کاهش یافت، این حالت به وضوح در شکل (۴-الف) نشان داده شده است. همچنین با افزایش سرعت پرس ماریچی از ۱۱ به ۵۷ دور در دقیقه پایداری اکسیداتیو کاهش یافت (شکل ۴-ب و ۴-ج). علت کاهش پایداری اکسیداتیو را احتمالاً می‌توان به کاهش میزان ترکیبات توکوفرولی و ضداکسنده در اثر افزایش



شکل ۴- تأثیر (الف) شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، (ب) شدت میدان الکتریکی و سرعت دورانی پرس ماریچی و (ج) تعداد پالس و سرعت دورانی پرس ماریچی بر پایداری اکسیداتیو

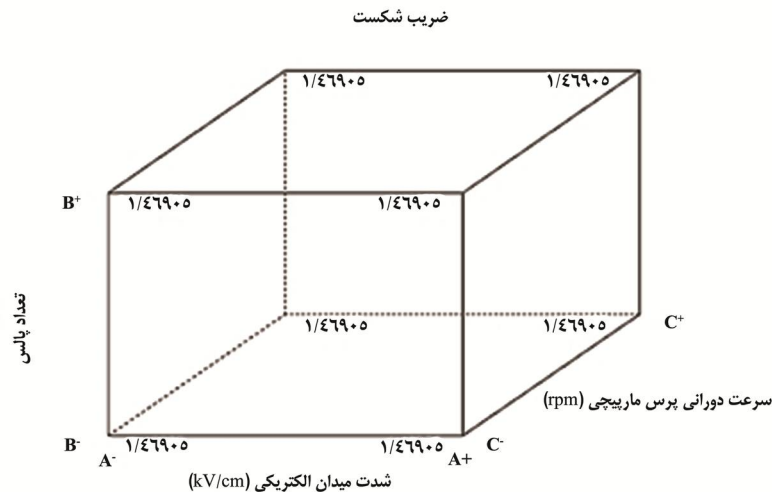
خلوص روغن استفاده می‌گردد. این پارامتر با افزایش طول زنجیر (گرچه رابطه خطی نیست) و درجه غیراشباعیت افزایش می‌یابد. روغن‌ها و چربی‌های مختلف ضریب شکست خاص خود را دارند لذا این ویژگی، برای تشخیص هویت و تعیین خلوص روغن‌ها و چربی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب شکست در کنترل پیشرفت واکنش‌ها نظیر هیدروژناسیون و

بررسی روند تغییرات ضریب شکست روغن جدول (۱) نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی برای ضریب شکست روغن‌ها معنی‌دار نبود و تقریباً تمامی متغیرهای آزمایش (شدت میدان الکتریکی متناوب، تعداد پالس‌ها و سرعت دورانی پرس ماریچی) بر ضریب شکست روغن‌ها بی‌تأثیر بود (شکل ۵). ضریب شکست اغلب به‌عنوان ملاکی از



Haron و همکاران (۲۰۱۴) بیان کرده بودند که ضریب شکست روغن سیاه‌دانه باتوجه‌به وارپته از ۱/۴۶۹ تا ۱/۴۷۳ متغیر می‌باشد که با نتایج این بخش تطابق داشت.

ایزومریزاسیون کاتالیزوری روغن‌ها مفید است. همچنین برای تشخیص اکسایش روغن نیز از ضریب شکست استفاده می‌شود درجه‌حرارت و اشباعیت از عوامل مؤثر بر ضریب شکست هستند (مالک، ۱۳۷۶).



شکل ۵ - نمودار Cube تغییرات میزان ضریب شکست روغن تحت تأثیر شدت میدان الکتریکی، تعداد پالس‌ها و سرعت دورانی پرس ماریچی

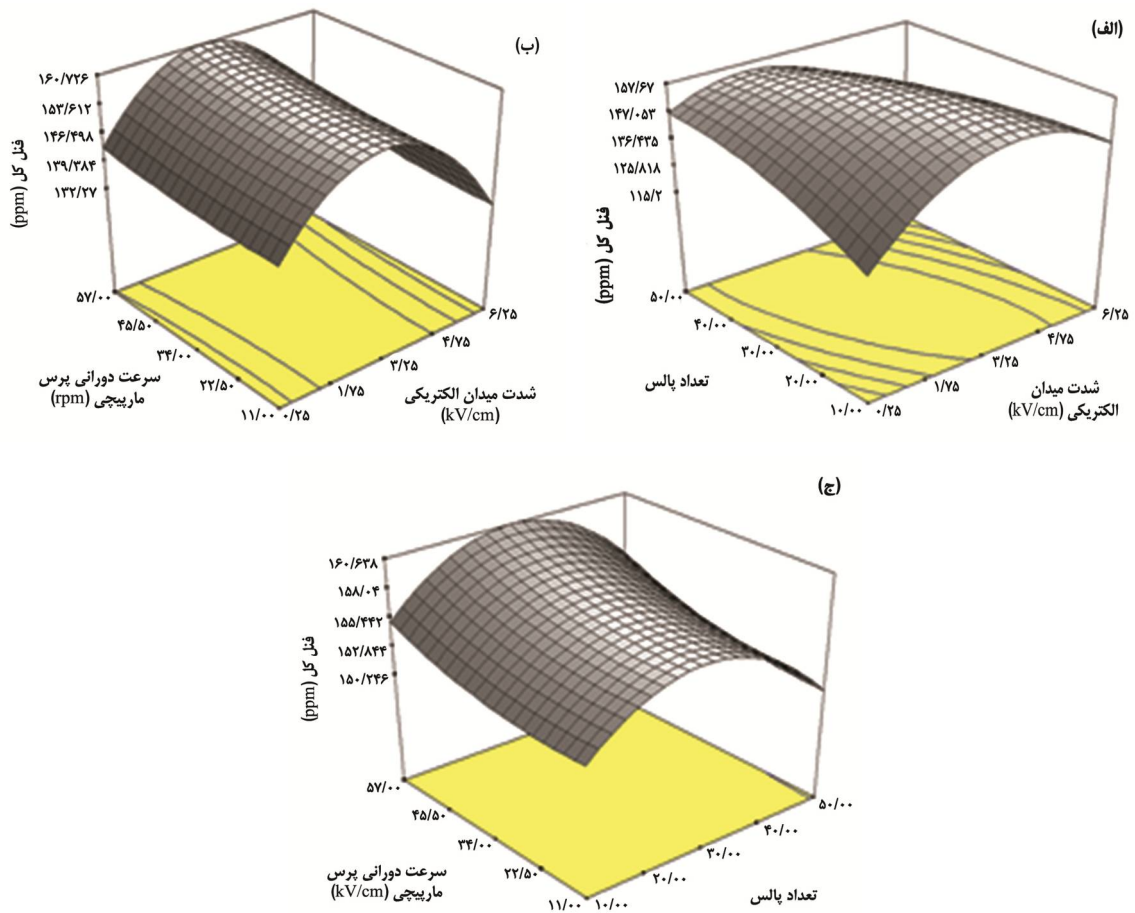
میزان این ترکیبات کاهش معنی‌داری داشت ( $P < 0.05$ ). افزایش تعداد پالس‌ها نیز اثر مشابهی بر این خصوصیت داشت. شکل (۶-الف) نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس ابتدا میزان ترکیبات فنلی کل به علت آزادسازی این ترکیبات افزایش ولی با شدت بیشتر این دو متغیر به علت اثر تخریبی شدت‌های بالای میدان الکتریکی از میزان این ترکیبات کاسته شد.

با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی از ۱۱ به ۵۷ دور در دقیقه میزان ترکیبات فنلی به علت آزادسازی بیشتر این ترکیبات افزایش یافت (شکل ۶-ب و ۶-ج) که نتایج این بخش با نتایج Rombaut و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشت.

#### بررسی روند تغییرات ترکیبات فنلی کل

ترکیبات فنولی، دسته بزرگی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی می‌باشند که توانایی آنتی‌اکسیدانی آنها ناشی از حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختارشان است. وجه و کاربرد فنول‌های طبیعی در صنعت غذا روبه‌افزایش است. زیرا این ترکیبات تجزیه اکسیداتیو لیپیدها را به تأخیر انداخته و از این‌رو کیفیت و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود می‌بخشند (Muanda *et al.*, 2011).

بررسی تغییرات ترکیبات فنلی کل روغن سیاه‌دانه نشان داد که همانند بیشتر پارامترهای مورد بررسی، شدت میدان الکتریکی بیشترین تأثیر را بر میزان ترکیبات فنلی کل داشت و اثرگذاری آن از نوع منفی بود بدین‌معنی که با افزایش شدت میدان الکتریکی،



شکل ۶- تأثیر (الف) شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، (ب) شدت میدان الکتریکی و سرعت دورانی پرس ماریچی و (ج) تعداد پالس و سرعت دورانی پرس ماریچی بر ترکیبات فنلی کل

اطلاعات موجود در جدول (۳) نشان می‌دهد که مدل‌های به‌دست‌آمده و برازش داده‌شده برای هر کدام از متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در شرایط مورد مطالعه به‌صورت دقیقی و با صحت بسیار بالایی، قابلیت برازش داده‌های مطالعه را دارا بودند. ضریب تغییرات پایین و ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح‌شده بالا همه نشان‌هایی از برازش مناسب اطلاعات مورد مطالعه به‌وسیله مدل‌های ارائه‌شده می‌باشند (جدول ۳).

بهینه‌سازی فرایند روغن‌کشی از سیاه‌دانه به‌منظور یافتن بهترین شرایط استخراج روغن از دانه‌های سیاه‌دانه با پیش‌تیمار میدان الکتریکی

متناوب، با توجه به شدت میدان الکتریکی که در دامنه ۰/۲۵ تا ۶/۲۵ کیلوولت بر سانتی‌متر و تعداد پالس که بین ۱۱ تا ۵۷ و سرعت دورانی پرس ماریچی که ۱۱ تا ۵۷ دور در دقیقه تنظیم شده بود، فرایند استخراج روغن در شرایط ذکر شده به‌منظور رسیدن به حداکثر راندمان استخراج، پایداری اکسیداتیو و ترکیبات فنلی کل بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به‌منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی شدت میدان الکتریکی ۱/۱۸ کیلوولت بر سانتی‌متر، تعداد پالس ۴۸ و سرعت دورانی پرس ماریچی ۱۱/۰۱ دور در دقیقه باشد (جدول ۴). تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۸۲۹ حاصل گردید.

جدول ۴- بهینه‌سازی استخراج در شرایط متفاوت عملیاتی فرایند

شدت میدان الکتریکی (kV/cm)	تعداد پالس	سرعت دورانی پرس ماریچی (rpm)	راندمان روغن‌کشی (%)	شاخص رنگ	پایداری اکسیداتیو (h)	ضریب شکست	فنل کل (ppm)	ردیف
۱/۱۸	۴۸	۱۱/۰۱	۳۰/۰۲	۱۰۶/۷۷	۵/۸۹	۱/۴۶۰۹	۱۵۱/۸۱	۱

### نتیجه‌گیری

باتوجه‌به اینکه در فرایند استخراج روغن، تیماردهی مناسب دانه قبل از استخراج، یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین مراحل برای تولید محصولی با کیفیت و راندمان بالاست، لذا در این تحقیق اثر تیمار میدان الکتریکی متناوب و همچنین سرعت دورانی پرس ماریچی بر خصوصیات روغن استخراج‌شده از سیاه‌دانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس، شاخص رنگ روغن افزایش ولی میزان پایداری اکسیداتیو در روغن کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که پارامترهای مورد مطالعه تأثیری بر میزان ضریب شکست نداشتند و با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی از میزان راندمان

روغن‌کشی کاسته شد. در پایان می‌توان بیان داشت که استفاده از میدان الکتریکی متناوب در استخراج روغن به‌عنوان پیش‌تیمار بسیار مفید است.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت معاونت آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس و همچنین کارکنان محترم پژوهشکده علوم و صنایع غذایی انجام شده است. نویسندگان مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را از مقام محترم معاونت آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس سرکارخانم دکتر مقیمی و همچنین آقای مرتضی محمدی اعلام می‌دارند.

### منابع

- ۱- امید بیگی، ر. ۱۳۷۶. رهیافت‌های تولید و فراوری گیاهان دارویی (جلد دوم). انتشارات طراحان نشر.
- ۲- جعفرنیا، س.، خسروشاهی، س. و قاسمی، م. ۱۳۹۰. راهنمای جامع و مصور خواص و کاربرد گیاهان دارویی. انتشارات سخن گستر.
- ۳- صالحی، م.ع. و امیدواری، آ. ۱۳۹۴. کاربرد PEF در بهینه‌سازی مصرف انرژی در استخراج قند از چغندر قند. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، ۵ (۴): ۲۶-۳۳.
- ۴- گلی، ا. ح.، کدیور، م.، بهرامی، ب. و سبزه‌علیان، م.ر. ۱۳۸۶. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن دانه ماریتیغال. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۴: ۲۴۱-۲۵۴.
- ۵- مالک، ف. ۱۳۷۹. چربی‌ها و روغن‌های نباتی خوراکی ویژگی‌ها و فراوری، انتشارات فرهنگ و قلم، تهران.
- 6- Akinoso, R., Raji, A. O. & Igbeka, J. C. 2009. Effects of compressive stress, feeding rate and speed of rotation on palm kernel oil yield. *Journal of Food Engineering*. 93(4): 427-430.
- 7- AOCS. 1993. *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, AOCS Press, Champaign, IL. 762p.
- 8- Bail, S., Stuebiger, G., Krist, S., Unterweger, H. & Buchbauer, G. 2008. Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. *Journal of Food Chemistry*. 108(3), 1122-1132.

- 9- Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.O., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaiiifar, A.M. & Farzaneh. V. 2017. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Industrial Crops and Products*. 97: 1–9.
- 10- Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C. & Attia, H. 2007. *N. sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. *Journal of Food Chemistry*. 101(2), 673-681.
- 11- Giovanna, N. 2010. Thermal oxidative process in extra virgin olive oils. *Journal of food chemistry*. 126(3): 1226-1231
- 12- Guderjan, M., Elez-Martínez, P. & Knorr, D. 2007. Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 8(1): 55–62.
- 13- Guderjan, M., Topfl, S., Angersbach, A. & Knorr, D. 2005. Impact of pulsed electric field treatment on the recovery and quality of plant oils. *Journal of Food Engineering*. 67 (3), 281–287.
- 14- Haron, H., Grace-Lynn, C. & Shahar, S. 2014. Comparison of Physicochemical Analysis and Antioxidant Activities of *Nigella sativa* Seeds and Oils from Yemen, Iran and Malaysia (Perbandingan Analisis Fizikokimia dan Aktiviti Antioksidan dalam Biji dan Minyak *Nigella sativa* dari Yemen, Iran dan Malaysia). *Sains Malaysiana*. 43(4): 535–542.
- 15- Li, H., Pordesimo, L. & Weiss, J. 2004. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soy beans. *Journal of Food Research International*. 37(7), 731-738.
- 16- Mason, T. J. 1998. Power ultrasound in food processing- The way forward. In: Povey, M.J.W. & Mason, T.J. Eds., *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic and Professional, London, 105-126.
- 17- Matthaus, B. 2006. Utilization of high – oleic rapeseed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(3), 200-211.
- 18- Muanda, F.N., Soulimani, R., Diop, B., & Dicko, A. 2011. Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *LWT-Food Science and Technology*. 44(9): 1865-1872.
- 19- Qin, B. L., Chang, F., Barbosa-Cfinovas, G.V. Swanson, B. G. 1995. Nonthermal inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*. 28(9): 564-568.
- 20- Rombaut, N., Savoie, R., Thomasset, B., Castello, J., Van Hecke, E. & Lanoisele, J.L. 2015. Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grape seed cold screw pressing. *Industrial Crops and Products*. 63: 26-33.
- 21- Salem, M.L. & Hossain, M.S. 2010. Protective effect of black seed oil from *Nigella sativa* against murine cytomegalovirus infection. *International Journal of Immunopharmacology*. 22(9):729-740.
- 22- Salem, M.L. 2005. Immunomodulatory and therapeutic properties of the *Nigella sativa* L. seed. *International Immunopharmacology*, 59(13):1749-1770.
- 23- Schroeder, S., Buckow, R. & Knoerzer, K. 2009. Numerical Simulation of Pulsed Electric Field (PEF) Processing for Chamber Design and Optimization, *International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO*, 17th, Australia.

- 24- White, P.J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. Food Technology. 45: 75-80.
- 25- Zeng, X., Han, Z. & Zi, Z. 2010. Effect of Pulse Electric Field Treatment on Quality of Peanut Oil. Food Control. 21(5): 611- 614.

## Optimizing the Extraction Process of Oil from Black Cumin Seeds by Using Pulsed Electric Field (PEF) Pretreatment

Hamid Bakhshabadi<sup>1\*</sup>, HabibOllah Mirzaei<sup>2</sup>, Alireza Ghodsvali<sup>3</sup>, Seid Mahdi Jafari<sup>2</sup>, Aman Mohammad Ziaifar<sup>2</sup>, Adel Bigbabaie<sup>4</sup>

- 1- PhD. of Food Materials and Processing Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- \* Corresponding author (h.bakhshabadi@yahoo.com)
- 2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 3-Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran
- 4-Asistant Professor, Food Chemistry Department, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

### Abstract

In this study, different electric field intensity (0.25, 3.25 and 6.25 kV/cm) and different number of pulse (10, 30 and 50) were used for optimizing the process of oil extraction from black cumin seeds using pulsed electric field pretreatment and then after using these pretreatments, the oil of seeds was extracted with screw press with different rotation speeds (11, 34 and 57 rpm), then parameters including oil extraction yield, color index, oxidative stability, refractive index and a total phenolic of the extracted oil were studied. Statistical analysis and process optimization was performed with the use of response surface methodology (RSM). The results showed that oil color index increased with increasing of electric field intensity and the number of pulses, but oxidative stability of obtained oil decreased. The results also showed that the studied parameters had non-significant effects on the refractive index; moreover the oil extraction yield reduced by increasing the rotational speed of the screw press. Increasing the electric field intensity and the number of pulses to enhance the oil extraction yield and total phenolic was but a further increase of these variables, the two parameters decreased. According to the process optimization results, it might be stated that with applying electric field intensity for about 1.18 kV/cm number of pulse 48 and screw-rotation speed of the press of 11.01 rpm, the maximum oil extraction yield, oxidative stability and total phenolic components were reached.

**Keywords:** Black Cumin Seeds, Optimization Oil Extraction, Pulsed Electric Field, Screw Rotation Speed