



## تاثیر پیش تیمارهای میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو بر برخی از خصوصیات روغن سیاه‌دانه

حمید بخش آبادی<sup>۱</sup>، حبیب‌الله میرزایی<sup>۲</sup>، علیرضا قدس ولی<sup>۳\*</sup>، سید مهدی جعفری<sup>۲</sup>، امان محمد ضیایی<sup>۲</sup>، عادل بیگ بابایی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. دانشیار پژوهشی، 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 خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: 95/12/28، تاریخ پذیرش: 96/2/31)

### چکیده

به کارگیری روش‌های نوین از جمله مایکروویو و میدان‌های الکتریکی متناوب اغلب باعث افزایش سرعت و راندمان استخراج روغن می‌شود. در این تحقیق به منظور بررسی فرایند استخراج روغن از دانه‌های سیاه‌دانه از پیش تیمارهای میدان الکتریکی متناوب با شدت میدان الکتریکی 3/25 kV/cm و با تعداد پالس 30 و مایکروویو با توان 540 وات برای مدت 180 ثانیه استفاده گردید و بعد از اعمال این پیش تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس ماریچی استخراج شد و میزان راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن، ترکیب اسیدهای چرب، میزان توکوفرول‌ها و ترکیبات شیمیایی موجود در روغن سیاه‌دانه در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از پیش تیمارهای میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو منجر به افزایش کارایی و راندمان استخراج روغن شد. نتایج گاز کروماتوگرافی مشخص نمود که اسید لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک اسید چرب‌های عمده تشکیل دهنده ترکیب روغن سیاه‌دانه بودند که استفاده از این پیش تیمارها باعث کاهش اسید لینولئیک و افزایش اسید اولئیک و پالمیتیک به صورت معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) گردید. میزان توکوفرول‌های نمونه‌ها در محدوده‌ی 120/75 - 393/93 ppm قرار داشت و به کارگیری پیش تیمارهای میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو منجر به افزایش میزان توکوفرول‌های روغن سیاه‌دانه شد. بررسی روغن‌های استخراجی با دستگاه گاز کروماتوگرافی/طیف‌سنجی جرمی نشان داد که تیموکینون ترکیب غالب در روغن سیاه‌دانه بود. در پایان نتایج این مطالعه مشخص کرد که استفاده از پیش تیمارهای مایکروویو و میدان الکتریکی متناوب منجر به افزایش استخراج ترکیبات مفید در دانه حاوی روغن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توکوفرول‌ها، روغن سیاه‌دانه، ترکیب اسید چرب، مایکروویو، میدان الکتریکی متناوب.

## 1- مقدمه

اهمیت روغن‌ها و چربی‌ها نه تنها از دیدگاه سلامت، بلکه از جنبه تجارت آن‌چنان بوده که از دیرباز سرمایه‌گذاری‌های پژوهشی کلانی را به خود اختصاص داده است. روغن‌ها و چربی‌ها تامین بخش قابل توجه انرژی مورد نیاز بدن، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی را برعهده دارند [1]. به تازگی با رشد دانش عمومی، تقاضای مردم برای مصرف روغن‌هایی که علاوه بر تامین انرژی و ایجاد طعم بر سلامتی هم تأثیر مفید داشته باشد، افزایش یافته است و با توجه به این‌که کشور ایران در زمینه تولید روغن نباتی، به واردات از کشورهای دیگر وابسته است و بیش از 94 درصد روغن 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 [2]. روغن‌ها و چربی‌ها از منابع مختلف گیاهی و حیوانی تهیه می‌شوند که هر یک دارای ویژگی‌های مختلف متابولیکی، فیزیکی و شیمیایی هستند [3]. سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa L.* از خانواده آلاله (*Ranunculales*) بوده که در بسیاری از نواحی ایران از جمله اراک به صورت طبیعی یافت می‌شود و به صورت پرورشی نیز در خراسان و اصفهان کشت می‌گردد [4]. این گیاه یک‌ساله با دوره زندگی کوتاه مدت، مخصوص نواحی نیمه خشک است. سیاه‌دانه گیاهی با ارتفاع تقریبی 60 سانتی‌متر، با برگ‌های سبز خاکستری و نخی شکل است. در حالت طبیعی گل‌ها به رنگ آبی و دارای 5 گلبرگ به عرض 2/5 سانتی‌متر به رنگ سفید شیری با کناره مایل به آبی است. کاربرد اصلی این گیاه در ترکیه، لبنان و ایران بیش‌تر به‌عنوان ادویه و یا طعم‌دهنده در ترشی می‌باشد و در بعضی مناطق قبل از پخت روی نان پاشیده می‌شود [5]. روش‌های متنوع و متداولی برای کمک به استخراج روغن از دانه‌های روغنی (مانند استخراج با حلال توسط روش‌هایی مانند سوکسله و یا روش‌های مکانیکی مانند فشردن) وجود دارد، اما حدود یک دهه است که توجه بسیاری به استفاده از روش‌های نوین برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی شده است. در این روش‌ها سعی شده فرایند استخراج با سهولت و اثر بخشی بیش‌تر به گونه‌ای انجام شود

که مصرف حلال، زمان و دمای استخراج کاهش و در عین حال بازدهی استخراج افزایش یابد و فرایند به لحاظ هزینه مقرون به صرفه شود [6]. برای استفاده از مزایای ترکیبات مفید موجود در روغن دانه‌ها باید بافت و پوسته آن‌ها متلاشی شده و روغن آن‌ها استخراج گردد. به‌کارگیری روش‌های نوین از جمله مایکروویو، میدان‌های الکتریکی متناوب ( $PEF^1$ ) و امواج فراصوت اغلب باعث افزایش سرعت و راندمان استخراج روغن می‌شود [7]. امواج مایکروویو، امواج الکترومغناطیس غیر یونیزه با فرکانس 300 مگاهرتز تا 300 گیگاهرتز هستند که بین امواج رادیویی و مادون قرمز در طیف الکترومغناطیس قرار دارند. این امواج از دو میدان عمودی نوسانی یعنی میدان الکتریکی و مغناطیسی ساخته می‌شوند. در این فرایند، حرارت‌دهی در یک مسیر مشخص و انتخابی و بدون اتلاف حرارت در محیط اتفاق می‌افتد، یعنی همانند حرارت‌دهی در یک سیستم بسته می‌باشد. این مکانیسم حرارت‌دهی منجر به کاهش زمان استخراج در مقایسه با روش‌های مرسوم روغن‌کشی می‌شود. اثر این فرایند به‌وسیله دو پدیده انتقال یونی و چرخش دو قطبی می‌باشد که در اکثر موارد این دو هم‌زمان اتفاق می‌افتد [8]. انرژی این امواج به ماده غذایی نفوذ کرده و حرارت داخلی تولید می‌کند، این مسئله منجر به نرخ حرارتی بیش‌تر و کوتاه‌تر شدن زمان فرایند می‌گردد. در دانه‌های روغنی آب به‌عنوان یک ماده دو قطبی به میزان فراوانی یافت می‌شود، هرچند در این رابطه مواد دیگری هم‌چون نمک و پروتئین نیز می‌توانند به‌عنوان ترکیبات دی‌الکتریک عمل نمایند [9]. 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، عطر و طعم، 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 [10]. سارکیس و همکاران، از میدان‌های الکتریکی متناوب و تخلیه الکتریکی ولتاژ بالا در استخراج روغن از دانه‌های کنجد به‌عنوان پیش‌تیمار و با هدف تخریب دیواره سلولی و

افزایش راندمان استخراج روغن استفاده نمودند. نتایج

آن‌ها نشان داد که با افزایش انرژی خروجی فرایند ولتاژ

بالا شاخص تخریب‌پذیری افزایش یافت و هم‌چنین این دو فرایند منجر به افزایش راندمان روغن‌کشی شد [11]. طالع ماسوله و همکاران از میدان‌های الکتریکی متناوب به‌عنوان پیش‌تیمار برای استخراج روغن از دانه‌های کنجد استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها حاکی از آن بود که میدان الکتریکی متناوب به روند استخراج روغن از دانه‌های کنجد با پرس سرد کمک نماید و میدان الکتریکی با شدت 1 kV/cm و با تعداد 50 پالس منجر به راندمان حداکثری می‌شود [12]. لا و همکاران، از میدان‌های الکتریکی متناوب برای تولید چربی از ریزجلبک‌ها استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود از میدان‌های الکتریکی متناوب با انرژی کم استفاده کردند و بیان داشتند استفاده از این فرایند می‌توان جایگزین مناسبی برای روش‌های مرسوم استخراج چربی باشد [1].

هدف از این مطالعه بررسی تاثیر استفاده از فرایندهای نوین به‌عنوان پیش‌تیمار، در استخراج روغن از سیاهدانه و تاثیر آن‌ها بر ترکیب اسید چرب، ترکیبات شیمیایی روغن سیاهدانه و میزان توکوفرول‌ها می‌باشد.

### 2-2-2-2- راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن

برای مشخص کردن راندمان استخراج روغن، ابتدا وزن دانه مصرف شده و وزن روغن حاصل از آن تعیین شد و با استفاده از رابطه (1) میزان آن به‌دست آمد و از تقسیم آن بر میزان روغن اولیه دانه، کارایی فرایند استخراج محاسبه گردید [14].

$$R = \frac{Q}{X} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه R راندمان استخراج روغن به درصد، Q وزن روغن حاصله به گرم، X وزن دانه‌های اولیه به گرم.

### 2-2-3- ترکیب (پروفایل) اسیدهای چرب

برای اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب، ابتدا متیل استر اسیدهای چرب تهیه گردید و آنالیز متیل استر اسیدهای چرب مطابق روش AOCS Ce 2-66 صورت گرفت [15]. به منظور آنالیز متیل استر اسیدهای چرب، از دستگاه گاز کروماتوگرافی، GC، مجهز به ستون موئین سیلیکایی 70 با طول 60 متر و قطر 0/25 میکرومتر با ضخامت فیلم 0/25 میکرومتر استفاده شد. دمای اولیه 80 درجه سانتی‌گراد بود و با افزایش 15 درجه سانتی‌گراد در دقیقه به 200 درجه سانتی‌گراد رسید و در این دما 10 دقیقه نگاه‌داری شد، سپس دمای آن به

### 2- مواد و روش‌ها

#### 1-1- مواد

دانه‌های سیاهدانه مورد استفاده در این تحقیق از بازار محلی شهرستان گنبد کاووس و مواد شیمیایی، اتانول، استونیتریل و هگزان از شرکت مرک آلمان تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از الک آزمایشگاهی، آون آزمایشگاهی ممرت، ساخت آلمان، ترازوی دیجیتالی Gec Avery، ساخت انگلستان، دستگاه مایکروویو خانگی ال جی، ساخت کره‌جنوبی، دستگاه میدان الکتریکی متناوب و خشک‌کن کابینتی (ساخت پژوهشکده علوم و صنایع غذایی)، گاز کروماتوگرافی طیف‌گستر، ساخت ایران، گاز کروماتوگرافی/طیف‌سنجی جرمی Agilent، ساخت آمریکا، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا Knauer، ساخت آلمان و پرس مارپیچی آزمایشگاهی Kern Kraft، ساخت آلمان.

شرایط کروماتوگرافی، تزریق شد، تهیه گردیدند. مقادیر نسبی اجزا از روی سطح کل پیک‌ها توسط نرم‌افزار دستگاه محاسبه شد [16].

### 2-2-6- آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی ساختار نمونه‌ها (شاهد و تیمار دیده) از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Oxford، انگلستان) استفاده شد. نمونه‌ها در ابتدا توسط چسب سلیس روی پایه آلومینیومی چسبانده شدند، سپس پایه‌ها در یک دستگاه پوشش دهنده/پاشنده طلا پوشش داده شدند. تصویرداری از نمونه‌ها از بزرگ‌نمایی 500 انجام گرفت.

### 2-3- تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی ساده و با سه تکرار انجام شد و نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری 5 درصد انجام گردید.

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- تاثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن

جدول (1) راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن از سیاه‌دانه با پیش‌تیمارهای میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو را نشان می‌دهد. بر طبق این اشکال مشخص گردید که استفاده از پیش‌تیمارهای میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو منجر به افزایش کارایی و راندمان استخراج روغن شد. در بین پیش‌تیمارهای به کار گرفته شده بیش‌ترین میزان راندمان و کارایی فرایند استخراج مربوط به نمونه‌ای بود که از مایکروویو استفاده شده بود که اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه‌ای که از پیش‌تیمار میدان الکتریکی متناوب استفاده شده بود، نداشت ( $p > 0/05$ ). علت افزایش راندمان و کارایی استخراج روغن با مایکروویو این است که مایکروویو موجب تبخیر آب از ترکیب مواد گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی می‌گردد که این مسئله می‌تواند، سبب تجزیه مواد، گسیختگی غشاء، افزایش راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن با پرس سرد و عبور روغن از غشاء سلولی گردد [17].

220 درجه سانتی‌گراد رسید و در این دما 5 دقیقه نگهداری شد. دمای درجه تزریق و دمای آشکارساز 210 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان گاز حامل (هلیوم) 1 میلی‌لیتر بر دقیقه بود. در نهایت سطح منحنی حاصل از دستگاه با منحنی استاندارد مقایسه و نوع و مقدار هر اسید چرب سازنده روغن بر حسب درصد تعیین گردید.

#### 2-2-4- اندازه‌گیری مقدار توکوفرول‌های کل

اندازه‌گیری مقدار توکوفرول‌های کل مطابق با روش AOCS Ce 8-89 (1993) با دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، HPLC، انجام شد. به این منظور ستون (LICHROSORB) SI 5-60 با ابعاد  $4/5 \times 250$  میلی‌متر و اندازه ذرات 5 میکرومتر با شناساگر فلورسنس مورد استفاده قرار گرفت. فاز متحرک ترکیبی از استونیتریل با آب مقطر به نسبت 95 به 5 انتخاب شد و مورد استفاده قرار گرفت. سرعت جریان فاز متحرک 0/6 میلی‌لیتر بر دقیقه بود. بر اساس زمان ماندن توکوفرول‌ها و نیز کروماتوگرام حاصل از نمونه‌های روغن، مقدار توکوفرول‌های کل در نمونه‌ها مشخص گردید [15].

#### 2-2-5- اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی موجود در روغن

برای شناسایی و مشخص کردن میزان برخی از ترکیبات مختلف موجود در روغن سیاه‌دانه از دستگاه گاز کروماتوگرافی-طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) و روش آدامز با کمی تغییرات استفاده گردید. بدین منظور 1 میلی‌لیتر روغن با سولفات سدیم انیدرید خشک و با هگزان مخلوط شد. ترکیب حاصل با استفاده از یک دستگاه GC/MS با سیستم مجهز به ستون موبینه HP-SMS (به طول 30 متر، قطر 0/25 میلی‌لیتر و ضخامت لایه داخلی 0/25 میکرون) تجزیه شد. گاز حامل هلیوم با جریان 0/8 میلی‌لیتر در دقیقه و نسبت شکافت نمونه 1 به 10 بود. برنامه دمایی ستون از 60 تا 260 درجه سانتی‌گراد با سرعت 4 درجه در دقیقه تنظیم شد. طیف‌های جرمی در 70 الکترون ولت تهیه شده و دامنه‌ی این طیف‌ها 35 تا 350 m/z بودند. شناسایی اجزای روغن در نتیجه مقایسه‌ی طیف جرمی آن‌ها با بانک طیفی و مقایسه‌ی ضرایب بازداری‌شان با مقادیر رفرنس صورت گرفت. ضرایب بازداری با استفاده از زمان‌ها بازداری آلکان‌های نرمال که با همان دستگاه و تحت همان

اسید لینولئیک، اسید اولئیک و اسید پالمیتیک اسیدهای چرب عمده تشکیل دهنده ترکیب روغن سیاه‌دانه تحت تاثیر پیش‌تیمارهای مختلف بودند. همان‌طور که مشخص است زمانی که از مایکروویو یا میدان الکتریکی متناوب به‌عنوان پیش‌تیمار برای استخراج روغن استفاده شده بود، تغییر زیادی در میزان اسیدهای چرب دیده نشد. هرچند در بعضی از نمونه‌ها، میزان برخی از اسیدهای چرب کاهش یا افزایش یافت. استفاده از این پیش‌تیمارها باعث کاهش اسید لینولئیک و افزایش اسید اولئیک و پالمیتیک به‌صورت معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) گردید. با توجه به کاهش میزان اسید استئاریک، اسیدیته روغن‌ها به هنگام استفاده از مایکروویو و میدان الکتریکی متناوب به‌علت شکستن اتصالات استری مولکول‌های تری‌گلیسریدی ناشی از حرارت ایجاد شده افزایش می‌یابد [20، 21]. نتایج مربوط به تاثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر ترکیب اسیدهای چرب نشان از تغییرات کمی در برخی از اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن داشت. برای مثال نتایج این بخش با یافته‌های مورکوویک و همکاران که بیان کردند، اسید استئاریک به‌عنوان یکی از پایدارترین اسیدهای چرب شناخته شده می‌شود و در طول فرایند دستخوش تغییر نمی‌شود، در تضاد بود [22] ولی با نتایج

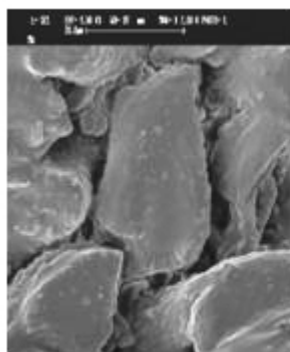
یافته‌های این بخش با نتایج بخش آبادی و همکاران که بیان داشته بودند، استفاده از مایکروویو منجر به افزایش راندمان استخراج روغن می‌شود، مطابقت داشت [4]. از طرفی استفاده از میدان الکتریکی متناوب نیز منجر به افزایش راندمان و کارایی فرایند استخراج شد که با یافته‌های ویکتور و همکاران مبنی بر افزایش راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن در هنگام استفاده از میدان الکتریکی متناوب تطابق داشت [18]. این افزایش را می‌توان به متلاشی شدن دیواره سلولی دانه‌ها و تسهیل خروج روغن از آن‌ها در طول استفاده از این فرایند نسبت داد [19]. اشکال به‌دست آمده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل 3) نیز تایید کننده این مطالب بود که استفاده از این پیش‌تیمارها منجر به از هم‌پاشیدگی سلول‌ها و در نتیجه خروج بهتر روغن از آن‌ها می‌گردد.

### 3-2- تاثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌ها

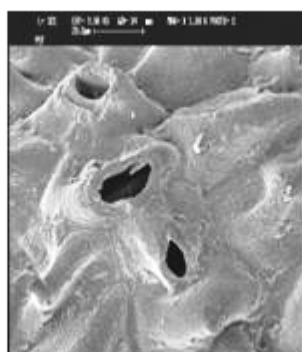
ترکیب اسیدهای چرب روغن سیاه‌دانه تحت تاثیر پیش‌تیمارهای مختلف در جدول (2) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر سه نمونه حاصل

جدول (1) تاثیر پیش‌تیمار میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو بر راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن از سیاه‌دانه

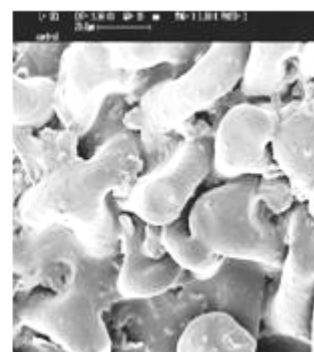
پارامتر	نوع پیش‌تیمار	فاقد تیمار	مایکروویو	میدان الکتریکی متناوب
راندمان استخراج (درصد)	$25/87 \pm 0/29^b$	$36/49 \pm 0/57^a$	$34/94 \pm 0/5^a$	
کارایی فرایند استخراج (درصد)	$64/03 \pm 0/3^b$	$91/13 \pm 0/36^a$	$87/02 \pm 0/98^a$	



(ج)



(ب)



(الف)

شکل (1) تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از (الف) نمونه شاهد (بدون تیمار)، (ب) نمونه تیمار دیده با میدان الکتریکی متناوب و (ج) نمونه تیمار دیده با مایکروویو

نمونه‌ها در محدوده ppm 120/75-393/93 قرار داشت. همان‌طور که مشخص است، استفاده از این پیش تیمارها منجر به افزایش میزان توکوفرول‌های روغن سیاه‌دانه شد و بیش‌ترین میزان توکوفرول کل زمانی به دست آمد که از میدان الکتریکی متناوب در استخراج روغن از سیاه‌دانه استفاده شده بود. همان‌طور که در شکل (2) آورده شده بود، استفاده از پیش تیمارهای مختلف در طول استخراج روغن به علت کاهش واکنش میان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها و پپتیدهای مختلف موجود در دانه، منجر به راه یافتن بیش‌تر توکوفرول‌ها به درون

زنگ و همکاران مطابقت داشت [23]. همان‌طور که مشخص است زمانی که از پیش تیمارهای مختلف برای استخراج روغن استفاده شده بود، اسیدهای چرب ترانس (مانند اسید الایدیک) تولید نشد.

### 3-3- تاثیر پیش تیمارهای مختلف بر میزان توکوفرول کل

جدول آنالیز واریانس نشان داد که تاثیر نوع پیش تیمار بر میزان توکوفرول کل موجود در نمونه‌ها تاثیر کاملاً معنی‌دار داشت ( $p < 0/01$ ). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از میزان توکوفرول کل (شکل 2) نشان داد که میزان توکوفرول‌های

جدول (2) ترکیب اسیدهای چرب روغن سیاه‌دانه حاصل از پیش تیمارهای مختلف

نام اسید چرب	نماینه	نمونه فاقد تیمار	پیش تیمار مایکروویو	پیش تیمار میدان الکتریکی متناوب
اسید لوریک	C12	0/22±0/001 Ha	0/18±0/002 Ib	0/19±0/001 Ib
اسید میرستیک	C14	0/18±0/002 Jb	0/23±0/001 Ja	0/19±0/001 Ib
اسید پنتادسیلیک	C15	0/07±0/001 La	0/09±0/001 La	0/09±0/001 Ka
اسید پالمیتیک	C16	11/46±0/5 Cc	12/32±0/37 Ca	11/99±0/21 Cb
اسید پالمیتولئیک	C16:1(7)	0/15±0/004 Ka	0/16±0/021 Ka	0/16±0/009 Ja
اسید مارگاریک	C17	0/03±0/001 Ma	0/03±0/002 Ma	0/03±0/002 La
اسید استئاریک	C18	4/28±0/02 Da	2/75±0/003 Db	2/74±0/001 Db
اسید (ω-9cis) اولئیک	C18:1(9)	22/01±0/09 Bc	24/17±0/16 Bb	24/25±0/26 Ba
اسید لینولئیک	C18:2(9,12)	58/9±0/17 Aa	57/27±0/11 Ac	57/65±0/09 Ab
اسید آراشیدیک	C20	0/41±0/003 Gb	0/53±0/009 Ga	0/53±0/009 Ga
اسید گاندوئیک	C20:1(9)	0/49±0/002 Fb	0/59±0/002 Fa	0/51±0/004 Fb
اسید آلفا لینولئیک	C18:3(9,12,15)	0/18±0/001 Ib	0/27±0/02 Ha	0/27±0/02 Ha
اسید ایکوزادینوئیک	C20:2(11,14)	1/63±0/02 Ea	1/42±0/06 Eb	1/37±0/03 Ec

حروف بزرگ و کوچک یکسان به ترتیب در هر ستون و سطر نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار (در سطح 5 درصد) می‌باشند.



شکل (2) تاثیر پیش تیمار میدان الکتریکی متناوب و مایکروویو بر میزان توکوفرول‌های روغن از سیاه‌دانه

روغن می‌گردد. نتایج این بخش با نتایج آزادمرد دمیرچی و همکاران و ویکتور و همکاران که به ترتیب افزایش میزان این ترکیبات را در هنگام استفاده از مایکروویو و میدان الکتریکی متناوب گزارش کرده بودند، در تطابق بود [18، 24].

### 3-4- تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر برخی از ترکیبات شیمیایی نمونه‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که تأثیر نوع پیش‌تیمار بر میزان ترکیبات شیمیایی موجود در نمونه‌ها تأثیر کاملاً معنی‌دار داشت ( $p < 0/01$ ). همان‌طور که مشخص است در تمامی نمونه‌ها، میزان تیموکینون از سایر ترکیبات بیش‌تر بود و این ماده، ترکیب غالب در روغن سیاه‌دانه می‌باشد. تیموکینون به احتمال زیاد دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، ضد سرطانی و مهار استرس اکسیداتیو می‌باشد [25]. زمانی که از پیش‌تیماری برای استخراج روغن استفاده نشده بود، خیلی از ترکیبات قابلیت شناسایی نداشتند. با توجه به جدول (3) می‌توان بیان کرد که زمانی که از میدان الکتریکی متناوب به‌عنوان پیش‌تیمار استفاده شده، میزان ترکیبات بیش‌تری، شناسایی شد یا مقادیر بیش‌تری از آن‌ها وارد روغن شده بود. در بررسی ترکیبات موجود در روغن با GC-Mass

همان‌طور که نشان داده شد، اصلی‌ترین ماده در هر سه نمونه روغن استخراج شده، تیموکینون و بعد از آن سیمن بود که کاملاً با نتایج ال-دخانی و همکاران مطابقت داشت [26]. همان‌طور که نشان داده شد، برخی از این ترکیبات در نمونه فاقد تیمار مشاهده نشد که به احتمال زیاد علت آن این است که این ترکیبات در درون دانه مانده و به روغن انتقال پیدا نکردند ولی زمانی که از پیش‌تیمارهای مایکروویو یا میدان الکتریکی متناوب استفاده شد، این ترکیبات به درون روغن راه یافتند.

### 4- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از پیش‌تیمارهای مایکروویو و میدان الکتریکی متناوب منجر به افزایش راندمان و کارایی فرایند استخراج روغن می‌شود. اسیدهای چرب عمده تشکیل دهنده روغن سیاه‌دانه، اسید لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک بودند و زمانی که از مایکروویو یا میدان الکتریکی متناوب به‌عنوان پیش‌تیمار برای استخراج روغن استفاده می‌شود، تغییر زیادی در میزان اسیدهای چرب ایجاد نمی‌کند. استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف، منجر به راه یافتن بیش‌تر توکوفرول‌ها به درون روغن می‌گردد. نتایج هم‌چنین مشخص نمود که اصلی‌ترین ماده در روغن سیاه‌دانه تیموکینون و بعد از آن سیمن بود.

جدول (3) تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف در استخراج روغن از سیاه‌دانه بر برخی از ترکیبات شیمیایی مهم آن

نوع نمونه			نوع ترکیب
میدان الکتریکی متناوب (ppm)	مایکروویو (ppm)	فاقد تیمار (ppm)	
1/94 <sup>a</sup>	1/34 <sup>b</sup>	0/71 <sup>c</sup>	سیمن
2/57 <sup>a</sup>	2/06 <sup>b</sup>	1/02 <sup>c</sup>	تیموکینون
0/36 <sup>a</sup>	0/37 <sup>a</sup>	0/02 <sup>b</sup>	1، 4- دی متوکسیل
0/08 <sup>b</sup>	0/11 <sup>a</sup>	0/00 <sup>c</sup>	2، 3- دی متیل بنزن ایزوآمیل نیتريت
0/94 <sup>a</sup>	0/92 <sup>a</sup>	0/46 <sup>b</sup>	2- اکسو(3- متوکسی بنزوبیل) پروپانوئیک اسید
1/10 <sup>b</sup>	1/30 <sup>a</sup>	0/35 <sup>c</sup>	سیکلوهگزانونول
0/75 <sup>b</sup>	0/96 <sup>a</sup>	0/35 <sup>c</sup>	ترکیبات کلریدی
0/66 <sup>a</sup>	0/00 <sup>b</sup>	0/00 <sup>b</sup>	نونان نرمال
0/14 <sup>a</sup>	0/10 <sup>b</sup>	0/00 <sup>c</sup>	بتاپینن
0/12 <sup>a</sup>	0/09 <sup>b</sup>	0/00 <sup>c</sup>	دی لیمونن
0/17 <sup>a</sup>	0/10 <sup>b</sup>	0/00 <sup>c</sup>	لونجی فولن
0/21 <sup>a</sup>	0/00 <sup>b</sup>	0/00 <sup>b</sup>	گاما ترپینن

اعداد دارای حروف یکسان در هر سطر نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح 5 درصد می‌باشد.

## منابع

- cornoil subjected to microwave heating. *Food Chem.*, 104, 997–1005.
- [10] Qin, B. L., Chang, F., Barbosa-Cfínovas, G.V., Swanson, B. G. (1995). Nonthermal inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields. *LWT.*, 28, 564-568.
- [11] Sarkis, J.R., Boussetta, N., Blouet, C., Tessaro, I.C., Ferreira Marczak, L.D., Vorobiev, E. (2015). Effect of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on polyphenol and protein extraction from sesame cake. *Inno. Food Sci. Emerg.*, 29, 170–177.
- [12] Tale Masouleh, Z., Asadollahi, S., Eshaghi, M.R. (2015). Effects of Pulsed Electric Fields as a Pre-Treatment on Yield Extraction and some Quality Properties of Sesame Oil. *IJRLS.*, 5(10), 1100-1104.
- [13] La, H.J., Choi, G.G., Cho, C., Seo, S.H., Srivastava, A., Jo, B.H., Lee, J.Y., Jin, Y.S., Oh, H.M. (2016). Increased lipid productivity of *Acutodesmus dimorphus* using optimized pulsed electric field. *J. Appl. Phycol.*, 28, 931–938.
- [14] AOAC. (2008). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, Vol. II. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- [15] AOCS. (1993). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, AOCS Press, Champaign, American Oil Chemists' Society.
- [16] Adams, R.P. (1995). Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography /Mass Spectroscopy. Allured Publishing Co. IL.
- [17] Aguilera, J.M., Stanley, D.W. (1999). Microstructural principles of food processing and engineering 2<sup>nd</sup> ed. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers Inc. pp 325-372.
- [18] Wiktor, A., Sledz, M., Nowacka, M., Rybak, [1] Kebriti, M. Hoseini Mazhari, S. Z. Gerami, A. Ghiassi, B., Esfandyari, Ch. (2011). Survey on the rate of losses and wastes in oil seeds processing plants in Tehran Province, *Food Tech. Nutr.*, 8(1), 42-50.
- [2] Iran Nezhad, H., Hoseini Mazinani, S. (2017). Investigating the effects of planting date on the performance of three varieties of oil Flax seed in Varamin. *J.Agric. Sci.*, 11(4), 10-17.
- [3] Zomorodi, Sh. Shokrani, R. Shahedi, M., Dokhani, Sh. (2003). Interesterification of mixtures of soybean oil with fully hydrogenated oil for production of shortenings. *Iranian J. Agric. Sci.*, 34(3), 587-595.
- [4] Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.O., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaifar, A.M., Farzaneh. V. (2017). The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Ind. Crop. Prod.*, 97, 1–9.
- [5] Dantuono, F. L., Moretti, A., Lovato, F. S. A. (2002). Seed yield, components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascene* L. *Ind. Crop. Prod.*, 15, 59-69.
- [6] Li, H., Pordesimo, L., Weiss, J. (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soy beans. (CIFST), 37, 731-738.
- [7] Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing- The way forward. In: Povey, M.J.W. and Mason, T.J. Eds., *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic and Professional, London, 105-126.
- [8] Mandal, V., Mohan, Y., Hemalatha, S. (2007). Microwave Assisted Extraction – An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research. *Phcog Rev.*, 1, 8-14.
- [9] Sultana, B., Anwar, F., Przybylski, R. (2007). Antioxidant potential of corncob extracts for stabilization of



- K., Chudoba, T., Lojkowski, W., Witrowa-Rajchert, D. (2015). The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. *Inno. Food Sci. Emerg.*, 30, 69–78.
- [19] Angersbach, A., Knorr, D. (1997). Anwendung elektrischer Hochspannungsim pulse als Vorbehandlungsverfahren zur Beeinflussung der Trocknungscharakteristika und Rehydratation seigen schaften von Kartoffelwürfeln. *Nahrung*, 41(4), 194–200.
- [20] Bruhn, C.M. (1995). Consumer attitudes and market response to irradiated food. *J. Food Prot.*, 58, 175-181.
- [21] Puertolas, E., Maranon, I.M. (2015). Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties. *Food Chem.*, 167, 497–502.
- [22] Murkovic, M., Hillebrand, A., Draxl, S., Winkler, J., Pfanhauser, W. (1999). Distribution of fatty acids and vitamin E content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.) in breeding lines. *Acta Hortic.*, 492. 47-55.
- [23] Zeng, X., Han, Z., Zi, Z. (2010). Effect of Pulse Electric Field Treatment on Quality of Peanut Oil. *Food Control.*, 21, 611- 614.
- [24] Azadmard-Damirchi, S., Habibi, N. F., Hesari, J., Nemati, M., Fathi, A. B. (2010). Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. *Food Chem.*, 121, 1211–1215.
- [25] Khan, N., Sharma S. (2003). *Nigella sativa* (black cumin) ameliorates potassium bromate-induced early events of carcinogenesis: diminution of oxidative stress. *Hum Exp Toxicol.*, 22(4), 193-203.
- [26] El Dakhakhny, M., Barakat, M., Abd El Halim, M., Aly, S.M. (2000). Effect of *Nigella sativa* oil on gastric secretion and ethanol induced ulcer in rats. *J. Ethnopharm.*, 72, 299 – 304.