



ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسیداتیو روغن مغز
فندق ایرانی (*Corylus avellana* L.) تحت شرایط مختلف برشته نمودن توسط مایکروویو
سیده سارا سیادت^۱، ندا احمدی کمزانی^{۲*}

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

کلمات کلیدی:

برشته کردن توسط مایکروویو،

پرس سرد،

پایداری اکسیداتیو،

روغن مغز فندق،

فیتواسترول.

هدف از این مطالعه، ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی (راندمان استخراج، توسعه رنگ، ترکیب اسیدهای چرب، اندیس یدی، اندیس صابونی، ترکیب استرول ها)، فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH و شاخص پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده توسط پرس سرد از مغز های فندق تیمار شده (برشته نمودن برای ۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دقیقه توسط مایکروویو) بود. نتایج نشان داد که در اثر پیش تیمار مغز فندق ایرانی توسط مایکروویو، میزان راندمان استخراج روغن، توسعه رنگ و میزان فیتواسترول افزایش می یابد. همچنین طی این پیش تیمار در اندیس صابونی (mg KOH/g oil ۱۸۸-۱۹۱) و ترکیب اسیدهای چرب نمونه های روغن مغز فندق اختلاف معنی داری مشاهده نگردید ($p \geq 0.05$). اسیدهای چرب غالب غیر اشباع در نمونه های روغن در کلیه تیمارها به ترتیب اسید اولئیک C18:1c (۷۷/۷۸-۴۳/۳۲) و اسید لینولئیک C18:2c (۹/۸۵-۱۰/۱۸) تعیین شد. در کلیه تیمارها، فیتواسترول های غالب β -سیتوسترول، Δ -7-اونا استرول، کامپسترول، Δ -7-استیگماسترانول و سیتوسترانول تعیین شد. بیشترین فعالیت مهار رادیکال DPPH به ترتیب در نمونه های MW-0 (۹۰/۶۲) و MW-2.5 (۸۹/۹۴) مشاهده شد. علاوه بر این اندیس پراکسید، اندیس آنیزیدین و اندیس توتوکس روغن فندق شاهد (MW-0) و روغن فندق پیش تیمار شده (MW-2.5) در دمای آون با 160°C در فواصل ۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت تعیین شد. همچنین شاخص پایداری اکسیداتیو (OSI) با استفاده از آزمون رنسمیت در دمای 120°C تعیین شد. نتایج نشان داد که پیش تیمار با مایکروویو یک راهکار نوید بخش جهت ارتقاء راندمان استخراج روغن، محتوای فیتواسترول ها و توسعه رنگ R در روغن حاصل از مغز فندق ایرانی می باشد.

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.117
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.9.2

* مسئول مکاتبات:

ahmadi.academic@gmail.com

۱- مقدمه

فندق (*Corylus avellana* L.) متعلق به خانواده Betulaceae بوده و یکی از محبوب ترین مغزها در سرتاسر جهان است. فندق عمدتاً در سواحل دریای سیاه در ترکیه، جنوب اروپا (ایتالیا، اسپانیا، پرتغال، فرانسه) و برخی از مناطق ایالات متحده آمریکا (اورگان و واشنگتن) تولید می شود. علاوه بر این فندق در نیوزیلند، چین، آذربایجان، شیلی، ایران، گرجستان، قرقیزستان، لهستان، کرواسی رشد می نماید [۱ و ۲]. فندق به سبب دارا بودن ترکیبات بیو شیمیایی ارتقاء دهنده سلامت، مقبول و مطلوب است و نیز به واسطه میزان ۶۰٪ چربی موجود در آن منبع خوبی از انرژی محسوب می شود [۱]. همچنین فندق دارای مواد معدنی ضروری (کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر)، ویتامین E و ویتامین های گروه B، فیبرها و آمینواسید می باشد. علاوه بر این مطالعات متعدد نشان داده است که فندق دارای مقادیر بالای ترکیبات آنتی اکسیدانی نظیر توکوفرول ها و ترکیبات پلی فنولیک است که اثر مفیدی بر سلامت انسان دارد و باعث کاهش استرس اکسیداتیو، خطر ابتلاء به سرطان، سکتة مغزی، التهاب و سایر بیماری های مخرب عصبی می شود [۳-۵]. از فندق در صنایع شیرینی سازی، شکلات، بیسکویت و کلوچه استفاده می شود. علاوه بر استفاده در محصولات غذایی، دیگر محصول پرکاربرد فندق، روغن فندق است. مقدار روغن فندق بسته به منطقه، شرایط آب و هوایی، خاک و واریته بیشتر از ۵۰٪ است [۶]. مناطق کشت فندق در ایران به استان های گیلان، اردبیل، مازندران، گلستان و قزوین محدود می گردد [۷]. روغن فندق برای مصارف مختلف نظیر آشپزی، پخت وپز، سس سالاد، طعم دهنده و نیز در محصولات آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می گیرد [۸]. روغن فندق با استفاده از تکنیک های فیزیکی و شیمیایی از فندق پوست گیری شده استخراج می شود. فندق های خام و برشته شده برای فرآیند تولید روغن مورد استفاده قرار می گیرند. برشته نمودن فندق با هدف تولید محصولاتی با آروما و رنگ مختلف صورت می گیرد. فندق غنی از اسید های چرب تک غیر اشباع و چند غیر اشباع به ویژه اولئیک اسید و لینولئیک اسید می باشد. پایداری اکسیداتیو بالاتر روغن فندق در بین سایر روغن های گیاهی دارای اسید اولئیک بالا به واسطه حضور توکول ها و ترکیبات فنولیک می باشد [۹].

استخراج با حلال/سوکسله به طور گسترده در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد، هرچند که استخراج با پرس سرد نیز پیشنهاد شده است [۱۰]. روغن دانه های روغنی استخراج شده توسط پرس سرد حاوی مقادیر بالاتر اسیدهای چرب ضروری و سایر ترکیبات زیست فعال (توکوفرول، استرول، اسکوالن و غیره) می باشد [۱۱]. در سال های اخیر، توجه مصرف کنندگان به فرآورده های طبیعی، سازگار با محیط زیست و با فرآوری کم (تحت عنوان فرآوری سبز)^۱ رو به افزایش است. روغن های خوراکی حاصل از پرس سرد از نظر مصرف کنندگان، محصولات طبیعی و سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می شوند [۱۲]. جهت افزایش بازده استحصال روغن از مغزها و دانه های روغنی عملیات مقدماتی مکانیکی و حرارتی رایج است. برشته کردن به عنوان یک روش پیش تیمار نوین قبل از استخراج روغن مغز های خوراکی و یک رویکرد موثر جهت بهبود طعم در روغن های مذکور در نظر گرفته می شود. برشته کردن باعث تغییر در ترکیب شیمیایی و ارزش تغذیه ای روغن می شود [۱۳ و ۱۴]. پیش تیمارهای حرارتی شامل غیر فعال کردن آنزیم های نامطلوب، عمدتاً لیپاز و در نتیجه افزایش راندمان استحصال روغن است. به منظور تولید روغن با کیفیت بالا از بین بردن آنزیم های لیپولیتیک که سبب فساد روغن می شود دارای اهمیت است [۱۵]. علاوه بر این، رطوبت دانه های روغنی عامل مهمی در استخراج روغن توسط پرس از دانه های روغنی است. پیش تیمار با میکروویو قبل از استخراج با پرس یک روش ساده و مناسب جهت حصول روغن با کیفیت بالا می باشد. زیرا غشاء سلولی شکسته شده و در نتیجه منافذی ایجاد می شود که خروج روغن را آسان تر می کند. پیش تیمار دانه های روغنی با میکروویو قبل از پرس مکانیکی می تواند مقادیر توکوفرول، فیتواسترول، محتوای فنولیک و پایداری اکسیداتیو روغن استخراج شده را افزایش دهد [۱۶-۱۸]. نتایج پژوهش های محققین مختلف نشان داده است که برشته نمودن مغزها در شرایط مشخص و تعیین شده می تواند به واسطه ایجاد توازن بین ترکیبات ارتقاء دهنده سلامت و ترکیبات مضر بالقوه مغزها و همچنین دستیابی به ویژگی های حسی مطلوب، مورد تأیید واقع شود [۱۹-۲۴]. Babiker و همکاران (2020) تأثیر میکروویو بر محتوای روغن، ترکیب اسیدهای چرب و مواد

1. green processing

۲-۱- آماده سازی نمونه ها و استخراج روغن

آن ها

فندق وارسته زرابادی از منطقه الموت قزوین خریداری شد. سپس مغزهایی با اندازه و رنگ مشابه جهت برشته نمودن توسط مایکروویو انتخاب شده و در ظروف شیشه ای درب دار در یخچال با دمای 4°C نگهداری گردید. پیش تیمار برشته نمودن با یک آون مایکروویو و فرکانس ۲۴۵۰ هرتز با توان ۶۰۰ وات انجام شد. برای هر پیش تیمار حدود 40°C گرم از مغز فندق به صورت تک لایه در هر پتری دیش با قطر حدود ۱۲-۹ سانتی متر قرار داده شده و نمونه ها برای مدت زمان ۰،۲۵، ۵ و $7/5$ دقیقه فرآوری شد [۲۰]. هر پیش تیمار مایکروویو با ۳ تکرار انجام شد. پس از برشته نمودن، نمونه ها تا درجه حرارت محیط سرد شده و نمونه هر پیش تیمار قبل از استخراج روغن کاملاً مخلوط گردید. استخراج روغن نمونه های برشته شده توسط مایکروویو و نیز نمونه شاهد توسط پرس سرد با دمای $50-40^{\circ}\text{C}$ انجام شد. پس از کاربرد سانتریفوژ در 4500 دور در 20 دقیقه جهت حذف ذرات جامد معلق در بطری های شیشه ای تیره درب دار طی یک شبانه روز تا زمان آنالیز در دمای 4°C نگهداری گردید [۲۰].

۲-۲-آزمون ها

۲-۲-۱- تعیین میزان رطوبت نمونه مغز، راندمان استخراج به روش سوکسله و اندیس اسیدی روغن فندق

میزان رطوبت نمونه مغز فندق طبق روش وزن سنجی تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای 100°C محاسبه شد [۲۸]. راندمان استخراج روغن [۲۹] و اندیس اسیدی آن [۳۰] تعیین شد.

۲-۲-۲- ارزیابی تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و شرایط آن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی نمونه های روغن فندق

۲-۲-۲-۱- راندمان استخراج روغن به روش پرس سرد
راندمان استخراج روغن به روش پرس سرد به صورت وزنی (گراویمتریک) (%، وزنی/وزنی) از معادله محاسبه گردید.

معادله ۱

$$\text{Yield \%} = (W2/W1) \times 100$$

معدنی انواع فندق را مورد بررسی قرار دادند. آن ها نشان دادند که محتوای روغن، اسیدهای چرب و مواد معدنی وارسته های فندق بسته به توان مایکروویو تحت تأثیر برشته کردن قرار می گیرد [۲۵]. Shafiei و همکاران (۲۰۲۰) شاخص های اکسیداتیو در فندق خام و برشته را از طریق آزمایش ماندگاری تسریع یافته برآورد نمودند [۲۶]. Jelokhani Niaraki و Ahmadi Kamazani (۲۰۲۲) تأثیر برشته کردن توسط مایکروویو بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شاخص پایداری اکسیداتیو روغن مغز گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.) را مورد بررسی قرار دادند. این محققین نشان دادند که در اثر پیش تیمار مغز گردوی ایرانی توسط مایکروویو، میزان راندمان استخراج روغن، توسعه رنگ، نسبت اسیدهای چرب چند غیراشباع به اشباع (PUFA/SFA) و میزان فیتواسترول افزایش می یابد [۲۷].

روغن مغز فندق به واسطه خصوصیات تغذیه ای مطلوب با تقاضای فراوان مصرف کنندگان مواجهه است، اما به سهولت اکسید شده و دچار رنسدیتی و تغییر طعم می گردد. تحقیقات متعدد نشان می دهد برشته نمودن، پایداری اکسیداتیو روغن ها و چربی ها را افزایش می دهد، اما با این حال در مورد آثار پیش تیمار مایکروویو جهت برشته نمودن مغز فندق ایرانی قبل از استخراج با روش پرس سرد (به عنوان یک روش استخراج سبز و سازگار با محیط زیست) و تأثیر آن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی روغن به ویژه شاخص های مرتبط با فساد اکسیداتیو طی اکسیداسیون تسریع یافته، تحقیقاتی صورت نگرفته است. بنابراین هدف اصلی و ضرورت خاص انجام این پژوهش، بررسی و دستیابی به ادراک جامع در مورد آثار پیش تیمار مایکروویو بر راندمان استحصال روغن، توسعه رنگ، ترکیب اسیدهای چرب، اندیس یدی، اندیس صابونی، ترکیب استرول ها، فعالیت آنتی اکسیدانی مهار رادیکال DPPH، شاخص های فساد اکسیداتیو روغن طی آون گذاری (اکسیداسیون تسریع یافته) شامل اندیس پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس و شاخص پایداری اکسیداتیو (OSI) در نظر گرفته شد.

۲- مواد و روش ها

حلال ها و مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش دارای درجه خلوص آزمایشگاهی بودند.

W_2 : وزن روغن نمونه W_1 : وزن نمونه مغز فندق

۲-۲-۲-۲- توسعه رنگ

رنگ روغن به روش لایبباند با دستگاه Tintometer مدل F با سل یک اینچی ارزیابی گردید [۳۱].

۲-۲-۲-۳- ترکیب و میزان اسیدهای چرب

جهت تعیین میزان و ترکیب اسیدهای چرب ابتدا متیله کردن نمونه روغن انجام شد [۳۲]. سپس اسیدهای چرب روغن توسط کروماتوگرافی گازی شناسایی و تعیین مقدار گردید [۳۳]. مشخصات و شرایط دستگاه کروماتوگرافی گازی عبارت بود از: نام و مدل دستگاه (SHIMADZU Nexis 2030, Japan)، آشکار ساز یونیزاسیون شعله ای (FID)، ستون موئین Dikmacap-2330 از جنس شیشه به طول ۶۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر، گاز هیدروژن با خلوص ۹۹/۹۹۹٪ به عنوان گاز حامل و سرعت جریان ۲ میلی لیتر بر دقیقه، دمای محل تزریق 250°C ، دمای آشکار ساز 260°C ، میزان تزریق نمونه ۱ میکرولیتر، نسبت اسپیلت دستگاه ۱ به ۶۰ و برنامه دمایی دستگاه: دمای اولیه 60°C و باقی ماندن به مدت ۲ دقیقه در همان دما، سپس با گرادیان $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ رسیدن به دمای 200°C ، سپس با گرادیان $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ رسیدن به دمای 240°C ، باقی ماندن به مدت ۷ دقیقه در همان دما جهت خروج کلیه اسیدهای چرب از ستون.

۲-۲-۲-۴- اندیس یدی

اندیس یدی بر اساس ترکیب اسید های چرب روغن طبق معادله ۲ محاسبه شد [34].

$$IV = (\%C16:1 \times 0.95) + (\%C18:1 \times 0.860) + (\%C18:2 \times 1.732) + (\%C18:3 \times 2.616) + (\%C20:1 \times 0.785) + (\%C22:1 \times 0.723)$$

معادله ۲

۲-۲-۲-۵- اندیس صابونی

اندیس صابونی از طریق معادله ۳ محاسبه گردید [۳۵].

معادله ۳

$$S.V = \frac{3 \times 56.1 \times 1000}{[(mmw) + 92.02] - (3 \times 18)}$$

mmw: مجموع وزن مولکولی اسید های چرب در نمونه

56.1: وزن مولکولی هیدروکسید پتاسیم

92.02: وزن مولکولی گلیسرول

۲-۲-۲-۶- ترکیب و میزان استرول ها

ابتدا روغن توسط پتاس الکی صابونی شده، سپس ترکیبات غیرصابونی شونده آن توسط دی اتیل اتر استخراج گردید [۳۶]. شناسایی ترکیبات غیرصابونی شونده طبق روش AOAC شماره 970.51 با استفاده از روش کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) انجام شد [۳۷]. نهایتاً شناسایی و تعیین میزان ترکیبات استرولی صورت گرفت [۳۸]. مشخصات و شرایط دستگاه کروماتوگرافی گازی عبارت بود از: نام و مدل دستگاه (Younglin 6500, Korea)، آشکار ساز یونیزاسیون شعله ای (FID)، ستون موئین Equity-5 (SUPELCO)، از جنس شیشه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر، گاز هیدروژن با خلوص ۹۹/۹۹۹٪ به عنوان گاز حامل و سرعت جریان ۱/۵ میلی لیتر بر دقیقه، دمای محل تزریق 300°C ، دمای آشکار ساز 310°C ، میزان تزریق نمونه ۱ میکرولیتر، نسبت اسپیلت دستگاه ۱ به ۱۰ و برنامه دمایی دستگاه: دمای اولیه 240°C و باقی ماندن به مدت ۲ دقیقه در همان دما، سپس با گرادیان $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ رسیدن به دمای 300°C ، سپس با گرادیان $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ رسیدن به دمای 305°C ، باقی ماندن به مدت ۷ دقیقه در همان دما جهت خروج کلیه استرول ها از ستون.

۲-۲-۲-۷- فعالیت مهار رادیکال DPPH

فعالیت مهار رادیکال DPPH نمونه های روغن مطابق روش Brand-Williams و همکاران (1995) با برخی اصلاحات تعیین شد [۳۹]. ۰/۵ میلی لیتر از عصاره استخراجی با ۲/۵ میلی لیتر محلول ۰/۵ میلی مولار DPPH مخلوط و کاملاً همگن شد و برای ۳۰ دقیقه در تاریکی در درجه حرارت اتاق انکوباتورگذاری گردید. جذب نور در ۵۱۷ نانومتر در مقابل یک شاهد توسط اسپکتروفتومتر قرائت شده و نتایج برحسب درصد مهار رادیکال DPPH طبق معادله ۴ محاسبه گردید.

معادله ۴

$$\text{Inhibition DPPH \%} = \frac{(\text{Abs control} - \text{Abs sample})}{\text{Abs control}} \times 100$$

Abs control: جذب محلول DPPH فاقد عصاره (محلول شاهد)

شاهد

Abs sample: جذب در حضور عصاره مورد آزمایش

۲-۳- ارزیابی پایداری اکسیداتیو نمونه های

روغن

به منظور تسریع اکسیداسیون لیپید و تجزیه حرارتی آن (اکسیداسیون تسریع یافته)، ظروف شیشه ای درب دار آزمایش حاوی مقادیر معین (g ۸۰) نمونه روغن فندق شاهد (MW-) (0) و نمونه روغن فندق پیش تیمار شده MW-2.5 (دارای بالاترین فعالیت مهار رادیکال DPPH در بین پیش تیمارها) در آون الکتریکی با دمای °C ۱۶۰ نگهداری شدند. سپس پایداری روغن نسبت به اکسیداسیون در فواصل ۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت از طریق آنالیز شاخص های اکسیداسیون نظیر مقادیر اندیس پراکسید [۴۰]، اندیس پارا آنیزیدین [۴۰] و اندیس توتوکس [۴۱] محاسبه شد.

۲-۳-۱- ارزیابی اندیس پراکسید نمونه های روغن

ارزیابی اندیس پراکسید مطابق روش توصیه شده انجمن شیمیدانان آمریکا (AOCS, 1998) با شماره استاندارد cd 8-53 انجام شد [۴۰].

۲-۳-۲- ارزیابی اندیس پارا آنیزیدین نمونه های

روغن

اندیس پارا آنیزیدین طبق روش AOCS Official Method Cd18-90 طی یک دوره آون گذاری ۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت ارزیابی گردید [۴۰].

۲-۳-۳- ارزیابی اندیس توتوکس نمونه های روغن

وضعیت کلی اکسیداسیون نمونه های روغن توسط اندیس توتوکس طی یک دوره آون گذاری ۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت ارزیابی گردید. این اندیس بر اساس معادله ۵ محاسبه شد [۴۱].

$$\text{TV} = 2\text{PV} + \text{AV} \quad \text{معادله ۵}$$

AV: اندیس آنیزیدین

PV: اندیس پراکسید

۲-۳-۴- ارزیابی شاخص پایداری اکسیداتیو (OSI)

نمونه های روغن

شاخص پایداری اکسیداتیو نمونه ها توسط دستگاه

رنسیمت (Metrohm 743, Switzerland) تعیین شد. آزمایش با ۳ گرم نمونه روغن دارای بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی از نظر DPPH و نمونه شاهد در دمای °C ۱۲۰ و سرعت جریان هوای ۲۰ L/h انجام شد [۴۲].

۲-۴- آنالیز آماری

کلیه آزمایشات در ۳ تکرار انجام شد. نتایج به صورت میانگین سه تکرار و انحراف استاندارد بیان شد. سپس آنالیز واریانس (ANOVA) یک طرفه صورت گرفت و نهایتاً جهت تعیین اختلاف معنی دار در سطح $p < 0.05$ تست چند دامنه ای دانکن مورد استفاده قرار گرفت. آنالیزها با استفاده از نرم افزار SPSS 22 و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین میزان رطوبت نمونه مغز فندق، راندمان استخراج توسط روش سوکسله و

اندیس اسیدی روغن

میزان رطوبت نمونه مغز فندق $1/2 \pm 3/55$ ٪، میزان راندمان استخراج روغن آن توسط روش سوکسله $2/35 \pm 6/63$ ٪ و میزان اندیس اسیدی روغن آن $0/09 \pm \text{mg KOH/g of oil}$ تعیین شد. میزان رطوبت مغز فندق $1/4 - 2/7$ ٪ و میزان روغن آن $69 - 72$ ٪ تعیین شده است [۴۳]. لازم به ذکر است که پیشینه استاندارد میزان اندیس اسیدی روغن مغز فندق استخراج شده به روش پرس سرد $4 \text{ mg KOH/g of oil}$ تعیین شده است [44].

۳-۲- تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط

مایکروویو و شرایط آن بر خصوصیات

فیزیکوشیمیایی نمونه های روغن

۳-۲-۱- میزان روغن استخراج شده به روش پرس سرد

جدول ۱ تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و

شرایط آن (۴ بازه زمانی ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ دقیقه) بر میزان روغن نمونه های استخراج شده با پرس سرد را نشان می دهد. با توجه به نتایج، یک روند افزایشی معنی دار در میزان راندمان استخراج روغن با افزایش مدت زمان تیمار برشته نمودن ملاحظه شد ($p < 0.05$). بیشترین میزان راندمان استخراج

Table 1 Change in oil content of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel.

Sample	Roasting time (min)	Oil content (%)
Hazelnut-0	Unroasted (control) 0	50.17±0.24 ^c
Hazelnut- 2.5	Roasted 2.5	50.61±0.86 ^c
Hazelnut-5	Roasted 5	56.24±1.75 ^b
Hazelnut-7	Roasted 7	66.20±1.12 ^a

Each value is the mean ± standard deviation of triplicate determinations. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

این دلیل باشد که امواج مایکروویو به از دست دادن آب در سلول های گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی کمک می کند که این امر منجر به تجزیه مواد سلولی، شکستن غشاء سلولی و همچنین افزایش راندمان استخراج روغن می گردد[۲۵].

۳-۲-۲- توسعه رنگ روغن

جدول ۲ تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و شرایط آن بر توسعه رنگ روغن نمونه های مغز فندق استخراج شده به روش پرس سرد را نشان می دهد. با توجه به نتایج حاصل اختلاف معنی داری از نظر شاخص رنگی Y در نمونه ها مشاهده نشد ($p \geq 0.05$). در حالی که با افزایش زمان برشته کردن شاخص رنگی R افزایش یافت. بیشترین شاخص رنگی R در تیمار MW-7.5 (۳/۲۵) و کمترین شاخص رنگی R در MW-2.5 (۱/۲۰) تعیین شد ($p < 0.05$). با توجه به نتایج حاصل اختلاف معنی داری از نظر شاخص رنگی R بین نمونه MW-0 (۱/۲۵) و نمونه MW-2.5 (۱/۲۰) مشاهده نشد ($p \geq 0.05$).

راندمان استخراج روغن به روش پرس سرد تحت تاثیر پیش تیمار حرارتی به ویژه مایکروویو قرار می گیرد. در اثر پیش تیمار دانه های روغنی با مایکروویو، کارایی استخراج و ضریب انتقال جرم به دلیل متلاشی شدن غشاء های سلولی در دانه های روغنی افزایش می یابد. علاوه بر این به دلیل ایجاد منافذ در غشاء سلولی خروج روغن از دیواره نفوذ پذیر سلولی میسر می گردد [۱۸]. پیش تیمار با مایکروویو به واسطه انجام در مدت زمان کمتر منجر به حفظ مواد مغذی می شود [۱۹]. تفاوت های اساسی بین برشته کردن با مایکروویو و برشته کردن متداول وجود دارد. در برشته کردن متداول، انرژی حرارتی از طریق تابش^۳ و یا گرمایش به روش همرفت^۴ به سطح ماده رسیده سپس از طریق هدایت^۵ به تدریج به کل ماده منتقل می شود در صورتی که در روش مایکروویو، امواج مایکروویو به ماده نفوذ نموده و انرژی الکترومغناطیسی در سرتاسر ماده به انرژی حرارتی تبدیل می شود [۲۰]. Babiker و همکاران (2020) نشان دادند که افزایش توان و زمان برشته کردن توسط مایکروویو منجر به افزایش راندمان استخراج روغن می شود. افزایش استخراج روغن می تواند به

3. radiation
4. convection
5. conduction

Table 2 Change in color development of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel oil.

Sample	Roasting time (min)	yellow units	Red units
Unroasted Hazelnut (control)- MW-0	Unroasted (control)-0	20.16± 0.76376 ^a	1.25±0.35 ^c
Roasted Hazelnut- MW-2.5	Roasted-2.5	20.24± 0.69759 ^a	1.20±0.28 ^c
Roasted Hazelnut- MW-5	Roasted-5	20.26± 0.64291 ^a	2.35±0.49 ^a
Roasted Hazelnut- MW-7.5	Roasted-7	20.25± 0.57807 ^a	3.25±0.21 ^a

Each value is the mean ± standard deviation of triplicate determinations. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

توسعه رنگ شاخصی است که از طریق تعیین درجه برشته نمودن حاصل می شود [۴۵]. تحقیقات متعدد نشان داده است که افزایش زمان و دمای برشته سازی دانه هایی نظیر کنجد و نیز جوانه برنج سبب افزایش قابل توجه رنگ روغن می شود [۴۶]. رنگ یک معیار کیفی مهم برای مغزها و دانه های روغنی است. طی فرآیند تفت دادن و برشته کردن به واسطه واکنش های میلارد و کاراملیزاسیون، رنگ قهوه ای حاصل می شود. رنگ قهوه ای در فندق و بادام در اثر واکنش قندهای احیاء کننده با آمینو اسید ها تولید می شود. غلظت قندها و اسید های آمینه، رطوبت، دما و زمان، پارامترهای مؤثر در ایجاد رنگ قهوه ای و طعم مغزها و دانه های روغنی می باشد. معمولاً بین رنگ و شدت و درجه برشته نمودن، همبستگی خطی وجود دارد [۴۷]. معمولاً فرآیند برشته نمودن ملائم، طعم، مزه و رنگ مطلوب ایجاد می نماید. روغن استحصال شده از محصولات برشته شده نیز دارای رنگ، بو و طعمی مطلوب می باشند.

Table 3 Change in fatty acid profiles of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel oil.

fatty acid profile	7.5 min		5 min		2.5 min		0 min	
	%	%	%	%	%	%	%	%
C _{16:0}	7.03±0.1 ^b	7.02±0.15 ^b	7.33±0.12 ^a	6.87±0.17 ^b				
C _{16:1}	0.26±0.05 ^a	0.3±0.05 ^a	0.26±0.06 ^a	0.27±0.05 ^a				
C _{17:0}	0.06±0.025 ^a	0.1±0.05 ^a	0.09±0.05 ^a	0.07±0.04 ^a				
C _{17:1}	0.08±0.03 ^b	0.15±0.04 ^a	0.07±0.04 ^b	0.09±0.03 ^{ab}				
C _{18:0}	3.79±0.08 ^a	3.52±0.12 ^a	3.76±0.075 ^a	3.52±0.1 ^a				
C _{18:1c}	77.77±0.075 ^b	77.87±0.05 ^b	77.43±0.95 ^c	78.32±0.13 ^a				
C _{18:2c}	9.9±0.08 ^a	10.16±0.12 ^a	9.85±0.095 ^a	10.18±0.02 ^a				
C _{18:3n3}	0.09±0.05 ^a	0.08±0.06 ^a	0.08±0.052 ^a	0.12±0.1 ^a				
C _{20:0}	0.22±0.04 ^a	0.21±0.03 ^a	0.21±0.08 ^a	0.18±0.02 ^b				
C _{20:1}	0.16±0.06 ^a	0.16±0.1 ^a	0.15±0.08 ^a	0.16±0.06 ^a				
C _{22:0}	0.05±0.04 ^a	0.05±0.05 ^a	0.03±0.02 ^a	0.04±0.35 ^a				

Each value is the mean ± standard deviation of triplicate determinations. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

پروفاایل اسید چرب روغن می تواند به عنوان یک شاخص برای خصوصیات فیزیکی، میزان پایداری و ارزش تغذیه ای روغن در نظر گرفته شود. بنابراین می توان تأکید نمود که در کلیه نمونه ها، قسمت عمده اسیدهای چرب روغن مغز فندق را به ترتیب اسیدهای چرب تک غیر اشباع، اسید اولئیک C_{18:1c} (بیشترین میزان ۷۸/۳۲٪ در نمونه MW-0 و کمترین میزان ۷۷/۴۳٪ در نمونه MW-2.5)، اسید های چرب چند غیر اشباع با دو پیوند دو گانه، اسید لینولئیک C_{18:2c}

تعیین شد. در تیمار MW-2.5 مقدار SFA ۱۱/۴۲٪، MUFA ۷۷/۹۱٪ و PUFA ۹/۹۳٪ تعیین شد. مقادیر اسیدهای چرب غالب روغن مغز فندق استحصال شده به روش پرس سرد به ترتیب حاوی اسید اولئیک (۷۹/۴-۸۲/۱٪)، لینولئیک اسید (۷/۹-۱۳/۲٪)، اسید پالمیتیک (۴/۷-۷/۱٪) و اسید استئاریک (۱/۵-۳/۱٪) ذکر شده است [۵۵]. حدود استاندارد مقادیر اسیدهای چرب غالب روغن مغز فندق استحصال شده به روش پرس سرد به ترتیب اولئیک اسید (۷۱/۹-۸۴/۰٪)، لینولئیک اسید (۵/۷-۲۲/۲٪)، پالمیتیک اسید (۴/۷-۷/۲٪) و استئاریک اسید (۱/۵-۲/۴٪) تعیین شده است [۴۴].

۳-۲-۴- ترکیب و میزان استرول ها

جدول ۴ تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و شرایط آن (۴ بازه زمانی ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ دقیقه) بر ترکیب و میزان استرول های نمونه های روغن مغز فندق را نشان می دهد. با توجه به نتایج حاصل β -سیتواسترول جزء اصلی تشکیل دهنده استرول های روغن مغز فندق می باشد. استرول های عمده روغن مغز فندق شامل β -سیتواسترول (ppm ۹۸/۵۳-۱۳۰۷/۴۲)، Δ -۵-اونا استرول (ppm ۶۱/۳۹-۷۷/۱۹)، Δ -۷-استیگمااستانول (ppm ۴۰/۷۲-۵۸/۱۹) و سیتواسترول (ppm ۵۴/۴۰-۴۴/۵۰) تعیین شد.

(بیشترین میزان ۱۰/۱۸٪ در MW-0 و کمترین میزان ۹/۸۵٪ در MW-2.5) و اسیدهای چرب اشباع، اسید پالمیتیک C₁₆: (بیشترین میزان ۷/۳۳٪ در تیمار MW-2.5 و کمترین میزان ۶/۸۷٪ در تیمار MW-0) تشکیل می دهد. نتایج نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب روغن مغز فندق به واسطه پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو متحمل تغییرات نگردید که با نتایج محققین دیگر مطابقت داشت [۲۵ و ۲۷]. Babiker و همکاران (2020) نشان دادند که تیمار با مایکروویو سبب ایجاد تغییرات جزئی در محتوای اسیدهای چرب روغن فندق می شود. اسیدهای چرب عمده روغن وارسته های فندق به ترتیب اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید پالمیتیک تعیین شد [۲۵]. Ahmadi Kamazani و Jelokhani Niaraki (2022) نشان دادند که در اثر پیش تیمار مغز گردوی ایرانی توسط مایکروویو، ترکیب اسید چرب تغییر نمی کند [۲۷]. در پژوهش انجام شده توسط Ji و همکاران (2019) نیز در ترکیب اسیدچرب روغن کنجد استحصال شده از نمونه های برشته و غیر برشته تغییری حاصل نشد [۴۹]. همچنین در پژوهش های صورت گرفته توسط سایر محققین، تغییراتی در ترکیب اسید های چرب روغن جوانه برنج [۵۰]، روغن زیتون [51]، روغن فندق [۵۲] و روغن کنجد [۵۳ و ۵۴]، استخراج شده از نمونه های برشته و غیر برشته (خام) مشاهده نشد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود، مقادیر کل SFA، MUFA و PUFA در MW-0 به ترتیب ۱۰/۶۸٪، ۷۸/۸۴٪ و ۹/۹۹٪ و در MW-7.5 ۱۱/۱۵٪، ۷۸/۲۷٪ و ۹/۹۹٪.

Table 4 Change in sterol profiles of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel oil.

	7.5 min	5 min	2.5 min	0 min	Sterol
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	sterol
4.16±0.9 ^a	2.66±0.8 ^b	0.84±0.02 ^c	1.82±0.5 ^b		Cholesterol
77.19±1.1 ^a	61.39±1.18 ^b	64.26±1.2 ^b	64.9±1.3 ^b		Campesterol
3.5±0.15 ^a	3.03±1.1 ^a	3.23±0.8 ^a	4.38±1.1 ^a		Campestanol
23.86±0.85 ^a	19.7±0.79 ^b	19.76±0.9 ^b	18.81±0.5 ^b		Stigmasterol
28.85±0.19 ^a	1.74±0.5 ^c	13.14±0.3 ^b	1.65±0.18 ^c		Δ 5-campesterol
29.01±0.26 ^a	19.41±0.96 ^c	22.64±1.15 ^b	19.41±1.1 ^c		clerosterol
1307.42±0.52 ^a	1141.31±0.89 ^d	1231.34±1.71 ^b	1200±1.88 ^c		β -sitosterol
54.4±0.28 ^a	45.96±0.98 ^c	44.5±1.46 ^c	50.08±1.35 ^b		Sitostanol
98.53±0.28 ^a	80.8±0.24 ^c	93.97±0.45 ^a	89.76±1.38 ^b		Δ -5-avenasterol
27.14±0.35 ^b	15.31±0.54 ^d	30.98±0.29 ^a	18.32±1.56 ^c		Δ -5,24-stigmastadienol
40.72±0.26 ^d	44.59±0.38 ^c	58.19±0.28 ^a	48.4±1.46 ^b		Δ -7-stigmastenol
24.28±0.26 ^b	19.4±0.96 ^c	23.78±0.15 ^b	31.18±1.1 ^a		Δ -7-avenasterol
0.04±0.05 ^c	0.03±0.01 ^c	3.88±0.9 ^b	45.31±0.9 ^a		Other sterols

Each value is the mean $\pm$ standard deviation of triplicate determinations. Values in each heating time with different letters, are significantly different (p<0.05).

پلیمرزاسیون یا تجزیه اسیدهای چرب طویل زنجیر باشد. زیرا اندیس یدی معرف درجه غیر اشباعیت می باشد. این شاخص ارتباط ویژگی های فیزیکی و شیمیایی را با اسیدهای چرب روغن ها نشان داده و به وزن مولکولی و نیز درجه غیراشباعیت اسیدهای چرب در روغن ها بستگی دارد [۵۹]. حدود استاندارد تعیین شده اندیس یدی روغن مغز فندق استحصال شده به روش پرس سرد $I_2/100 \text{ g oil}$ ۸۳-۹۰ تعیین شده است [۴۴]. Javidipour و همکاران (2017) تغییرات اکسیداتیو در روغن فندق، زیتون، سویا و آفتابگردان در طول حرارت دادن با مایکروویو را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که اندیس یدی در نمونه های روغن مذکور کاهش می یابد [۶۰].

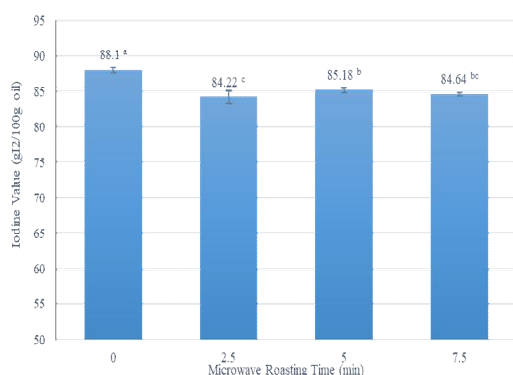


Fig 1 Change in Iodine Value of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel oil. Each value is the mean of triplicate determinations. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

۳-۲-۶- تغییرات اندیس صابونی

شکل ۲ تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و شرایط آن (۴ بازه زمانی ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ دقیقه) بر اندیس صابونی نمونه های روغن فندق را نشان می دهد. اندیس صابونی نمونه های روغن $mg \text{ KOH/gOil}$ ۱۸۸-۱۹۱ تعیین شد. با توجه به نتایج حاصل بین نمونه ها اختلاف معنی دار مشاهده نشد ($p \geq 0.05$). دلیل این امر، می تواند مرتبط با عدم تغییرات قابل ملاحظه در ترکیب اسیدهای چرب روغن و بالطبع عدم تغییر در اندیس صابونی در اثر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو باشد. اندیس صابونی یکی از خصوصیات تشخیص انواع روغن ها محسوب شده و متوسط وزن مولکولی یا طول زنجیره اسیدهای چرب

بیشترین میزان استرول کل در روغن MW-7.5 و کمترین میزان آن در روغن شاهد MW-0 تعیین گردید. تغییر در میزان استرول ها به واسطه تغییر در میزان رطوبت طی برشته سازی می باشد که منجر به تسهیل در استخراج استرول ها می گردد [۱۴]. حدود استاندارد تعیین شده میزان استرول کل روغن مغز فندق استحصال شده به روش پرس سرد ppm ۱۲۰۰-۳۴۶۹ می باشد [۴۴]. فیتواسترول ها، استروئیدهای لیپوفیلک سنتز شده در گیاهان می باشند که از جمله گروه های مهم ترکیبات زیست فعال در روغن های گیاهی محسوب می شوند [۵۶] که به دلیل آثار سلامت بخش به ویژه خصوصیت کاهش دهنده کلسترول خون، مورد توجه مصرف کنندگان واقع شده اند. ضمناً ترکیبات مذکور از اجزاء مهم مواد غیر صابونی شونده روغن های گیاهی می باشند [۵۷]. تحقیقات نشان می دهد که در بازه زمانی تیمار برشته نمودن، مقدار فیتواسترول را می توان با تنظیم مدت زمان برشته نمودن تغییر داد [۵۸]. Gao و همکاران (2019) تأثیر برشته کردن به وسیله مایکروویو بر روی ترکیبات استرولی در روغن مغز گردو را ارزیابی نموده و نشان دادند که برشته کردن مغز دانه های گردو و متعاقب آن استخراج توسط پرس سرد باعث افزایش مقدار فیتو استرول می شود [۱۴]. Jelokhani و Niaraki (2022) Ahmadi Kamazani نشان دادند که در اثر پیش تیمار مغز گردوی ایرانی توسط مایکروویو، میزان فیتواسترول کل در نمونه روغن MW-0 از ppm ۱۱۸۴/۰۹ به ppm ۱۳۴۲/۵ در نمونه روغن MW-7.5 تغییر می نماید که بیانگر افزایش میزان فیتو استرول کل پس از برشته نمودن گردواست [۲۷].

۳-۲-۵- تغییرات اندیس یدی

شکل ۱ تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و شرایط آن (۴ بازه زمانی ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ دقیقه) بر اندیس یدی نمونه های روغن مغز فندق را نشان می دهد. اندیس یدی نمونه های روغن $I_2/100 \text{ g oil}$ ۸۴/۲۲-۸۸/۱ تعیین شد. با توجه به نتایج حاصل بین نمونه شاهد و نمونه های تیمار شده با مایکروویو، اختلاف معنا دار وجود دارد ($p < 0.05$). نتایج این تحقیق نشان می دهد که پیش تیمار مایکروویو قبل از استخراج روغن مغز فندق، منجر به کاهش اندیس یدی روغن می گردد که دلیل این امر می تواند مرتبط با کاهش تعداد باند های دوگانه غیراشباع ناشی از اکسیداسیون،

اختلاف معنی دار مشاهده شد ($p < 0.05$). ضمن اینکه بیشترین فعالیت مهار رادیکال های DPPH در MW-0 ($90/4\%$) و MW-2.5 ($89/94\%$) کمترین فعالیت مهار رادیکال های DPPH در MW-5 ($86/68\%$) و MW-7.5 ($60/82\%$) تعیین شد. Özcan و همکاران (2018) تأثیر عملیات حرارتی بر فعالیت آنتی اکسیدانی آجیل برزیلی و فندق را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه های تیمار نشده بیشتر از نمونه های برشته شده می باشد [61].

۳-۳- ارزیابی پایداری اکسیداتیو نمونه های روغن فندق

۳-۳-۱- اندیس پراکسید نمونه های روغن فندق

نمونه های روغن فندق دارای بیشترین DPPH (زمان برشته نمودن ۰ دقیقه و زمان ۲/۵ دقیقه) جهت آون گذاری در ۴ بازه زمانی ۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت با دمای 160°C انتخاب گردید. منحنی تغییرات شاخص پراکسید نمونه های روغن فندق بر حسب تابعی از پیش تیمار MW-0 و MW-2.5 و زمان گرمخانه گذاری (۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت در دمای 160°C) تحت شرایط اکسایش تسریع یافته در شکل ۴ ارائه شده است. میزان اندیس پراکسید طی زمان ۰ تا ۹ ساعت آون گذاری در دمای 160°C در نمونه روغن MW-0 از $0.21\text{ meqO}_2/\text{kg oil}$ تا $0.53\text{ meqO}_2/\text{kg oil}$ تغییر کرد در حالی که این تغییر در نمونه MW-2.5 از $0.21\text{ meqO}_2/\text{kg oil}$ تا $0.81\text{ meqO}_2/\text{kg oil}$ تعیین شد ($p < 0.05$).

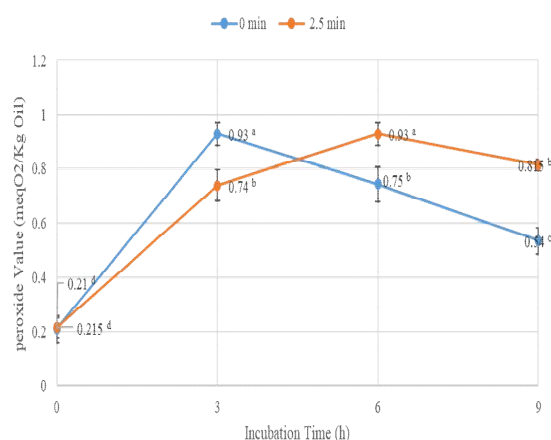


Fig 4 Change in peroxide Value (PV) of unroasted (MW-0 min) and roasted (MW-2.5 min) Hazelnut kernel oil.

تشکیل دهنده روغن را نشان می دهد. حدود استاندارد تعیین شده اندیس صابونی روغن مغز فندق استحصال شده به روش پرس سرد $188-191\text{ mg KOH/g oil}$ تعیین شده است [44].

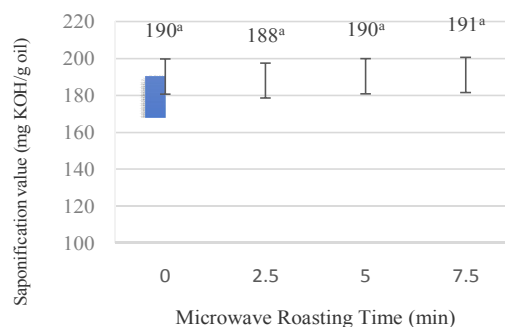


Fig 2 Change in Saponification Value of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel oil. Each value is the mean of triplicate determinations. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

۳-۳-۲- تغییرات فعالیت مهار رادیکال DPPH

شکل ۳ تأثیر پیش تیمار برشته نمودن توسط مایکروویو و شرایط آن را بر فعالیت مهار رادیکال DPPH نمونه های روغن فندق نشان می دهد.

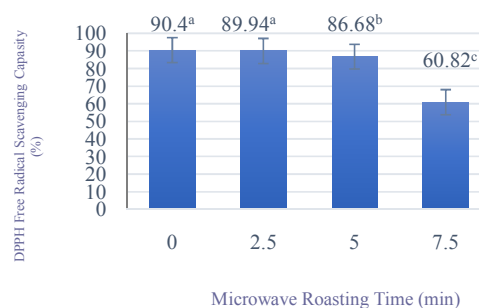


Fig 3 Change in DPPH free radical scavenging capacity of unroasted (MW-0) and roasted (MW-2.5, roasted at 2.5 min; MW-5, roasted at 5 min and MW-7.5, roasted at 7.5 min) Hazelnut kernel oil. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

با توجه به نتایج حاصل با گذشت زمان فعالیت مهار رادیکال های DPPH یک روند کاهشی را نشان داده است و بین پیش تیمار MW-0 و MW-2.5 با MW-5 و MW-7.5

های بکر در استاندارد کدکس، $15 \text{ meqO}_2/\text{kg oil}$ ، کلیه نمونه ها دارای مقادیر پراکسید کمتر از حد مجاز بودند [۶۴].

۳-۳-۲- اندیس پارا آنیزیدین نمونه های روغن فندق
منحنی تغییرات اندیس پارا آنیزیدین نمونه های روغن فندق بر حسب تابعی از تیمار (MW-0 و MW-2.5) و زمان گرمخانه گذاری (۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت در دمای 160°C) تحت شرایط اکسایش تسریع یافته در شکل ۵ ارائه شده است. تغییرات اندیس آنیزیدین طی ۹ ساعت گرمخانه گذاری در دمای 160°C در نمونه های MW-0 و MW-2.5 با روند افزایشی معنی دار نسبت به زمان صفر آن همراه می باشد ($p < 0.05$). این روند افزایشی با نتایج Anjum و همکاران (2006)، Ali و همکاران (2017) و Yoshida و همکاران (2003) مطابقت دارد [۴۶، ۵۴، ۲۰]. میزان اندیس آنیزیدین طی زمان صفر تا ۹ ساعت گرمخانه گذاری در دمای 160°C برای نمونه MW-0 از ۱/۱۵ تا ۲۵/۶۲ تغییر می یابد، در حالی که این تغییرات در نمونه MW-2.5 از ۱/۲۵ تا ۴۶/۲۱ تعیین گردید ($p < 0.05$). نتایج نشان دهنده روند کندتر افزایش اندیس پارا آنیزیدین طی ۹ ساعت آون گذاری در نمونه MW-0 می باشد. دلیل این امر می تواند با میزان پایین تر اندیس یدی در نمونه MW-0 در قیاس با نمونه MW-2.5 مرتبط باشد.

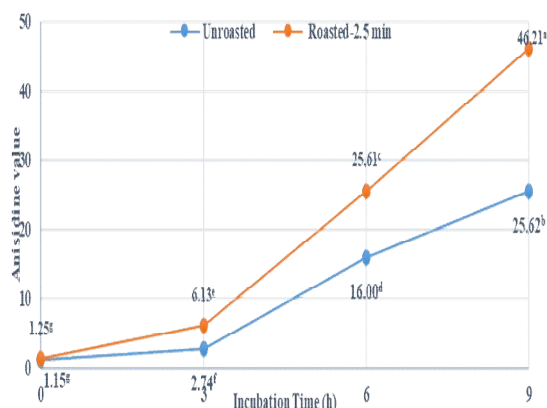


Fig 5 Change in Anisidine Value (AV) of unroasted (MW-0 min) and roasted (MW-2.5 min) Hazelnut kernel oil.

اندیس پراکسید به تنهایی مشخص کننده اکسیداسیون روغن نمی باشد، زیرا این اندیس شاخصی از وجود محصولات اولیه اکسیداسیون بوده و تولید محصولات ثانویه اکسیداسیون را مشخص نمی کند. لذا تعیین اندیس آنیزیدین که شاخصی از میزان توسعه اکسیداسیون و تولید محصولات ثانویه این واکنش

تغییرات اندیس پراکسید تا ۶ ساعت آون گذاری در دمای 160°C برای نمونه MW-2.5 با روند افزایشی نسبت به زمان ۰ آون گذاری توأم بوده و پس از آن تا پایان زمان آون گذاری روند مذکور با اختلاف معنی داری کاهش می یابد. ضمن آن که تغییرات اندیس پراکسید تا ۳ ساعت آون گذاری در دمای 160°C برای نمونه MW-0 با روند افزایشی نسبت به زمان ۰ آون گذاری همراه بوده و پس از آن تا پایان زمان آون گذاری روند مذکور با اختلاف معنی داری کاهش می یابد. شایان ذکر است که در نمونه MW-2.5، افزایش اندیس پراکسید تا ۳ ساعت اولیه آون گذاری با شیب کندتری در قیاس با نمونه MW-0 صورت گرفت و پس از آن برخلاف MW-0 تا پایان زمان آون گذاری، تغییرات اندیس پراکسید با روند کاهشی ضعیف تر همراه بود. دلیل این امر می تواند با میزان پایین تر اندیس یدی در نمونه MW-0 در قیاس با نمونه MW-2.5 مرتبط باشد. در مرحله آغازین اکسیداسیون، سرعت تشکیل هیدروپراکسیدها از سرعت تجزیه شدن آن ها بیشتر است و این در مرحله بعدی عکس می شود. بنابراین اندیس پراکسید نشانه ای از مرحله آغازین تغییرات اکسیداتیو می باشد. اندیس پراکسید، معیاری جهت اندازه گیری هیدروپراکسیدها است. هیدروپراکسیدها به عنوان محصولات اولیه اکسایش شناسایی شده و می توانند به فراورده های ثانویه فرار و غیرفرار تجزیه شوند [۶۲]. اندیس پراکسید در نتیجه فرآیند اکسیداسیون به واسطه تجزیه سریع هیدروپراکسیدها کاهش می یابد [۲۰] که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد. روند مذکور با نتایج پژوهش Vaidya و Eun (2013) و Ji و همکاران (2019) مطابقت داشت [۴۹ و ۶۳]. Javidipour و همکاران (2017) تغییرات اکسیداتیو در روغن فندق، زیتون، سویا و آفتابگردان در طول حرارت دادن با میکروویو را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که اندیس پراکسید در کلیه نمونه های روغن طی ۳ دقیقه حرارت دهی به صورت معنی داری افزایش یافته، سپس تا زمان ۶ دقیقه روند کاهشی داشته و پس از آن تا زمان ۹ دقیقه به شدت افزایش می یابد [۶۰]. Shafiei و همکاران (2020) شاخص های اکسیداتیو در فندق خام و برشته را از طریق آزمایش ماندگاری تسریع یافته برآورد نموده و نشان دادند که اندیس پراکسید روغن استخراج شده از فندق برشته بیشتر از روغن فندق خام می باشد [۲۶]. با توجه به مقدار مجاز اندیس پراکسید روغن

۱/۵۸ به ۲۶/۶۹ افزایش می یابد، در حالی که این افزایش در نمونه روغن MW-2.5، از ۱/۶۸ تا ۴۷/۸۴ تعیین گردید ($p < 0.05$). این نتایج نشان دهنده روند کندتر افزایش اندیس توتوکس طی ۹ ساعت آون گذاری در نمونه MW-0 می باشد. دلیل این امر می تواند با میزان پایین تر اندیس یدی در نمونه MW-0 در قیاس با نمونه MW-2.5 مرتبط باشد. این تغییرات با نتایج Anjum و همکاران (2006)، Ali و همکاران (2017) و Yoshida و همکاران (2003) مطابقت دارد [۲۰، ۵۴، ۴۶].

اندیس توتوکس معیاری از اکسیداسیون کل است که شامل محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون می باشد و ترکیبی از اندیس آنیزیدین و اندیس پراکسید است. اندیس توتوکس به منظور بیان اکسایش کامل نمونه با استفاده از مقادیر پراکسید و آنیزیدین به کار می رود. با توجه به اینکه در ارزیابی اندیس پراکسید، مقدار هیدروپراکسیدها (ابتدا دارای روند افزایشی سپس کاهشی) و در ارزیابی اندیس پارآنیزیدین مقدار آلدئیدها (محصولات حاصل از تجزیه هیدروپراکسیدها دارای روند افزایشی پیوسته) تعیین می شود، به طور معمول اندیس توتوکس طی اکسایش روغن ها و چربی ها افزایش می یابد. دلیل این امر می تواند با میزان پایین تر اندیس یدی در نمونه MW-0 در قیاس با نمونه MW-2.5 مرتبط باشد. Ali و همکاران (2017) نشان دادند که پایداری اکسیداتیو روغن مغز بادام زمینی در معرض مایکروویو در دمای 170°C تغییر نموده و شاخص های فساد اکسیداتیو نظیر اسیدهای چرب آزاد، اندیس پراکسید، اندیس توتوکس، اندیس پارآنیزیدین و اسید تیوباربتوریک افزایش می یابد [۲۰]. Shafiei و همکاران (2020) شاخص های اکسیداتیو در فندق خام و برشته را از طریق آزمایش ماندگاری تسریع یافته برآورد نموده و نشان دادند که اندیس توتوکس روغن استخراج شده از فندق برشته بیشتر از روغن فندق خام می باشد [۲۶].

۳-۳-۴- شاخص پایداری اکسیداتیو (OSI) نمونه های روغن فندق

شاخص پایداری اکسیداتیو به روش رسیمت در نمونه های روغن فندق MW-0 و MW-2.5 در شکل ۷ آورده شده است. میزان این شاخص در دمای 120°C در نمونه های MW-0 (۱۴/۹۷ ساعت) و MW-2.5 (۱۴/۵۶ ساعت) تعیین شد ($p < 0.05$). دلیل این امر می تواند با میزان پایین تر

است ضروری به نظر می رسد. در سنجش اندیس آنیزیدین مقادیر آلفا و بتا-آلدئیدهای غیر اشباع به طور عمده ۲-آلکانال ها و ۲، ۴- دی انال ها تعیین می گردد که محصولات ثانویه اکسایش چربی ها و روغن ها می باشند. آلدئیدها با واکنشگر آنیزیدین وارد واکنش می شوند تا یک ترکیب رنگی تشکیل گردد، سپس میزان جذب ترکیبات رنگی با روش های طیف سنجی ارزیابی می شود. Javidipour و همکاران (2017) تغییرات اکسیداتیو در روغن فندق، زیتون، سویا و آفتابگردان در طول حرارت دادن با مایکروویو را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که اندیس پارآنیزیدین در کلیه نمونه های روغن افزایش می یابد [۶۰]. Shafiei و همکاران (2020) شاخص های اکسیداتیو در فندق خام و برشته را از طریق آزمایش ماندگاری تسریع یافته برآورد نموده و نشان دادند که اندیس پارآنیزیدین روغن استخراج شده از فندق برشته بیشتر از روغن فندق خام می باشد [۲۶].

۳-۳-۳- اندیس توتوکس نمونه های روغن فندق

منحنی تغییرات اندیس توتوکس نمونه های روغن فندق بر حسب تابعی از پیش تیمار (MW-0 و MW-2.5) و زمان آون گذاری (۰، ۳، ۶ و ۹ ساعت در دمای 160°C) تحت شرایط اکسایش تسریع یافته در شکل ۶ ارائه شده است.

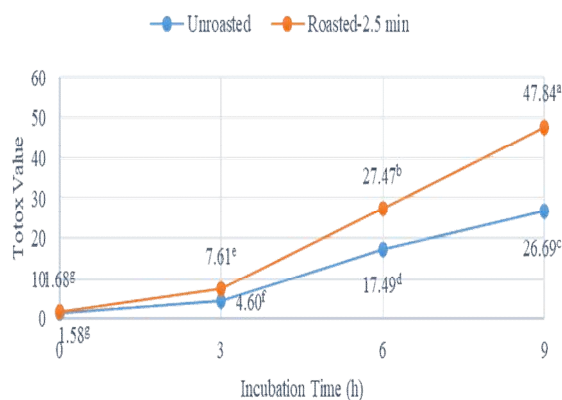


Fig 6 Change in TOTOX Value (TV) of unroasted (MW-0 min) and roasted (MW-2.5 min) Hazelnut kernel oil.

تغییرات اندیس توتوکس طی ۹ ساعت آون گذاری در دمای 160°C در هر دو نمونه روغن MW-0 و MW-2.5 با روند افزایشی معنی دار نسبت به زمان آون گذاری همراه بود ($p < 0.05$). میزان اندیس توتوکس طی زمان ۰ تا ۹ ساعت آون گذاری در دمای 160°C در نمونه روغن MW-0 از

پیش تیمار توسط مایکروویو (۷/۵ دقیقه) راندمان استخراج روغن را افزایش می دهد، اما در راستای پیشگیری از آثار منفی طولانی بودن زمان تیمار و به لحاظ آن که بین فعالیت آنتی اکسیدانی نمونه پیش تیمار MW-2.5 و MW-0 اختلاف معنا دار وجود ندارد، مدت زمان ۲/۵ دقیقه برشته کردن مغز فندق با مایکروویو قبل از استحصال روغن توصیه می شود. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که برشته نمودن با مایکروویو، به عنوان یک راهکار مؤثر جهت بهبود راندمان استخراج روغن و نیز افزایش محتوای مواد مغذی نظیر فیتواسترول ها در نظر گرفته می شود.

۵- منابع

- [1] Ojeda-Amador, R. M., Salvador, M. D., Gómez-Alonso, S., & Fregapane, G. (2018). Characterization of virgin walnut oils and their residual cakes produced from different varieties. Food research international, 108, 396-404.
- [2] Martínez, M.L., Labuckas, D.O., Lamarque, A.L., & Maestri, D.M. (2010). Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products. Journal of the Science of Food Agriculture, 90, 1959-1969.
- [3] FAO, FAOSTAT Data, Ed. Food and Agriculture Organisation, Rome (2015).
- [4] Pollegioni, P., Woeste, K.E., Chiocchini, F., Del Lungo, S., Olimpieri, I., Tortolano, V., Clark, J., Hemery, G.E., Mapelli, S. & Malvolti, M.E. (2015). Ancient humans influenced the current spatial genetic structure of common walnut populations in Asia. PLoS One, 10, e0135980.
- [5] Chen, L., Ma, Q., Chen, Y., Wang, B., & Pei, D. (2014). Identification of major walnut cultivars grown in China based on nut phenotypes and SSR markers. Scientia Horticulturae, 168, 240-248.
- [6] Martinez, M. L., Mattea, M. A., & Maestri, D. M. (2006). Varietal and crop year effects on lipid composition of walnut (*Juglans regia*) genotypes. Journal of the American Oil Chemists' Society, 83, 791-796.
- [7] Gharibzadeh, S. M. T., Mousavi, S. M., Hamed, M., & Khodaiyan, F. (2014). Determination and characterization of kernel biochemical composition and functional compounds of Persian walnut oil. Journal of food science and technology, 51, 34-42.

اندیس یدی در نمونه MW-0 در قیاس با نمونه MW-2.5 مرتبط باشد.

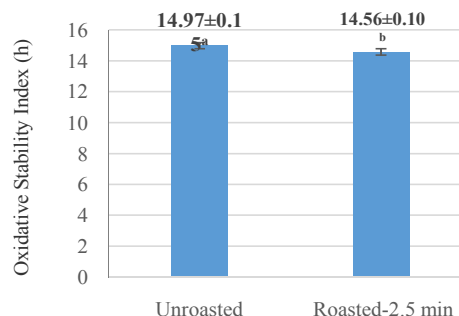


Fig 7 Change in oxidative stability index of unroasted (MW-0 min) and roasted (MW-2.5 min) Hazelnut kernel oil. Values in each heating time with different letters, are significantly different ($p < 0.05$).

شاخص پایداری اکسیداتیو، مقاومت روغن در برابر اکسیداسیون را مشخص می کند و یک پارامتر مهم جهت تشخیص شرایط حفظ کیفیت روغن است. پایداری اکسیداتیو زمان لازم برای رسیدن به نقطه ای است که در آن شاخص های اکسیداسیون نظیر مقدار هیدروپراکسید یا ترکیبات کربونیل به طور ناگهانی افزایش می یابد و باعث عطر و طعم نامطلوب در روغن می شود. عوامل مختلفی نظیر ترکیب اسیدهای چرب، ترکیب تری آسید گلیسرول، وجود ترکیبات آنتی اکسیدانی نظیر توکوفرول ها و کاروتنوئیدها، وجود ترکیبات پرواکسیدان مانند فلزات سنگین و... در پایداری اکسیداتیو روغن ها مؤثر هستند. در روش نسیمت محصولات ثانویه حاصل از اکسایش روغن ها و چربی ها شامل آلدئیدها، کتون ها و الکل ها ارزیابی می شوند [۶۴].

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که برشته نمودن منجر به ایجاد تغییراتی در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی روغن فندق می شود. پیش تیمار توسط مایکروویو منجر به افزایش راندمان استخراج روغن، توسعه رنگ، میزان فیتواسترول ها، اندیس پراکسید، اندیس آنیزیدین و اندیس توتوکس و کاهش میزان OSI گردید. اسیدهای چرب غالب غیر اشباع در کلیه نمونه های روغن به ترتیب اسید لینولئیک C_{18:2c} و اسید اولئیک C_{18:1c} تعیین شد. با وجود آن که افزایش مدت زمان

- sesame seed's oil using response surface method on the industrial scale. *Industrial Crops and Products*, 58, 160-165.
- [18] Azadmard-Damirchi, S., Habibi-Nodeh, F., Hesari, J., Nemati, M., & Achachlouei, B. F. (2010). Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. *Food Chemistry*, 121, 1211-1215.
- [19] Juhaimi, F. AL, Özcan, M.M., Ghafoor, K., & Babiker, E.E. (2018). The effect of microwave roasting on bioactive compounds, antioxidant activity and fatty acid composition of apricot kernel and oils. *Food Chemistry*, 243, 414-419.
- [20] Ali, M. A., Islam, M. A., Othman, N. H., & Noor, A. M. (2017). Effect of heating on oxidation stability and fatty acid composition of microwave roasted groundnut seed oil. *Journal of food science and technology*, 54, 4335-4343.
- [21] Güneşer, B. A., & Yilmaz, E. (2017). Effects of microwave roasting on the yield and composition of cold pressed orange seed oils. *Grasas y Aceites*, 68(1), 175.
- [22] Potočnik, T., Cizej, M.R. and Košir, I.J. (2018). Influence of seed roasting on pumpkin seed oil tocopherols, phenolics and antiradical activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 69, 7-12.
- [23] Fathi-Achachlouei, B., Azadmard-Damirchi, S., Zahedi, Y. & Shaddel, R. (2019). Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed. *Industrial crops and products*, 128, 527-533.
- [24] Hayat, K., Abbas, S., Hussain, S., Shahzad, S. A., & Tahir, M. U. (2019). Effect of microwave and conventional oven heating on phenolic constituents, fatty acids, minerals and antioxidant potential of fennel seed. *Industrial Crops and Products*, 140, 111610.
- [25] Babiker, E. E., Almusallam, I. A., Uslu, N., Al-Juhaimi, F. Y., Özcan, M. M., Ghafoor, K., & Ahmed, I. A. M. (2020). Effect of Microwave Treatment on Oil Contents, Fatty Acid Compositions and Mineral Contents of Hazelnut Varieties. *Journal of Oleo Science*, 2020, 20037.
- [26] Shafiei, G., Ghorbani, M., Hosseini, H., Sadeghi Mahoonak, A., Maghsoudlou, Y., & Jafari, S. M. (2020). Estimation of oxidative indices in the raw and roasted hazelnuts by accelerated shelf-life testing. *Journal of Food*
- [8] Pereira, J. A., Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I. C., Bento, A., & Estevinho, L. (2008). Bioactive properties and chemical composition of six walnuts (*Juglans regia* L.) cultivars. *Food and chemical toxicology*, 46, 2103-2111.
- [9] Greve, L. C., McGranahan, G., Hasey, J., Snyder, R., Kelly, K., Goldhamer, D., & Labavitch, J. M. (1992). Variation in polyunsaturated fatty acids composition of Persian walnut. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117, 518-522.
- [10] Goldberg, G. (2003). Plants: diet and health. The report of a British nutrition foundation task force. Blackwell Science, Oxford.
- [11] 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. *Food chemistry*, 108(3), 1122-1132.
- [12] Vavpot, V. J., Williams, R. J., & Williams, M. A. (2014). Extrusion/Expeller® pressing as a means of processing green oils and meals. In *Green Vegetable Oil Processing* (pp. 1-17). AOCS Press.
- [13] Savoie, R., Lanoisellé, J. L., & Vorobiev, E. (2013). Mechanical continuous oil expression from oilseeds: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1-16.
- [14] Gao, P., Cao, Y., Liu, R., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Phytochemical content, minor-constituent compositions, and antioxidant capacity of screw-pressed walnut oil obtained from roasted kernels. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121, 1800292.
- [15] Vetrimani, R., Jyothirmayi, N., Haridas Rao, P., & Ramadoss, C. S. (1992). Inactivation of lipase and lipoxygenase in cereal bran, germ and soybean by microwave treatment. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 25(6), 532-535.
- [16] Farzaneh, V., Bakhshabadi, H., Gharekhani, M., Ganje, M., Farzaneh, F., Rashidzadeh, S., & Carvalho, I.S. (2017). Application of an adaptive neuro_fuzzy inference system (ANFIS) in the modeling of rapeseeds' oil extraction. *Journal of Food Process Engineering*, 40(6), e12562.
- [17] Rostami, M., Farzaneh, V., Boujmehrani, A., Mohammadi, M., & Bakhshabadi, H. (2014). Optimizing the extraction process of

- Chemists' Society, AOCS, Champaign, Ill, USA, 4th edition, 1990.
- [41] Serjouie, A., Tan, C.P., Mirhosseini, H. and Che Man, Y.B. (2010). Effect of vegetable-based oil blends on physicochemical properties of oils during deep-fat frying. *American journal of food technology*, 5(5), 310-323.
- [42] Farhoosh, R. (2007). Shelf-life prediction of edible fats and oils using Rancimat. *Lipid technology*, 19(10), 232-234.
- [43] Fregapane, G., Ojeda-Amador, R. M., & Salvador, M. D. (2019). Virgin Walnut (*Juglans regia* L.) Oil. In *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 133-147). Springer, Cham.
- [44] ISIRI 13392, (2015). Edible cold pressed oils – Specifications & Test methods. 1st. revision. Iranian National Standardization Organization. (In Farsi).
- [45] Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C., & Lerici, C. R. (2000). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 11(9-10), 340-346.
- [46] Anjuma, F., Anwara, F., Jamila, A. & Iqbal, M. (2006). Microwave roasting effects on the physic chemical composition & oxidative stability of sunflower seed oil. *Departments of a Chemistry and Botany, University of Agriculture, Faisalabad-38040, Pakistan*.
- [47] Durmaz, G., Karabulut, İ., Topçu, A., Asiltürk, M. and Kutlu, T. (2010). Roasting-related changes in oxidative stability and antioxidant capacity of apricot kernel oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(4), 401-409.
- [48] Durmaz, G. & Gökmen, V. (2010). Impacts of roasting oily seeds and nuts on their extracted oils. *Lipid Technology*, 22(8), 179-182.
- [49] Ji, J., Liu, Y., Shi, L., Wang, N., & Wang, X. (2019). Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil. *LWT*, 101, 191-200.
- [50] Kim, I. H., Kim, C. J., You, J. M., Lee, K. W., Kim, C. T., Chung, S. H., et al. (2002). Effect of roasting temperature and time on the chemical composition of rice germ oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79, 413-418.
- [51] Blasi, F., Rocchetti, G., Montesano, D., Lucini, L., Chiodelli, G., Ghisoni, S., Baccolo, Science and Technology, 57(7), 2433-2442.
- [27] Jelokhani Niaraki, K., Ahmadi Kamazani, N. (2022). The effect of microwave roasting on physicochemical properties and oxidative stability Index of Persian Walnut (*Juglans regia* L.) Kernel Oil. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 123, (19), 257-274.
- [28] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC (18th ed.), Association of Official Analytical Chemists, AOAC International, Gaithersburg, MD, USA (2006).
- [29] ISO 659: 2009. (2009). Oilseeds—Determination of oil content (Reference method).
- [30] ISO, E. 660. 1996. Animal and vegetable fats and oils—determination of acid value and acidity. International Standards Organization, Geneva, Switzerland.
- [31] ISO 15305. Animal and vegetable fats and oils: determination of lovibond colour. Geneva: International Organization for Standardization (ISO), 1998.
- [32] ISO, E. 5509: 2000 (2000) Animal and vegetable fats and oils—Preparation of methyl esters of fatty acids. Geneva: International Organization for Standardization.
- [33] ISO, E. (2000). 5508. 1990. Animal and vegetable fats and oils—Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids. European Standard ISO, 5508.
- [34] Firestone, D. (1997). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 4th ed. AOCS Press, IL, USA.
- [35] ISO, A., Fats, V. and Oils, I. (2002). ISO 3657: Determination of Saponification Value. International Organisation for Standardisation.
- [36] ISO, E. 3596: 2000: Animal and vegetable fats and oils. Determination of unsaponifiable matter. Method using diethyl ether extraction. Geneva, Switzerland.
- [37] Firestone, D. (1999a). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Arlington, USA.
- [38] ISO 12228. (1999). Animal and vegetable fats and oils—determination of individual and total sterols contents gas chromatographic method.
- [39] Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- [40] AOCS, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil

- Kubzdela, E., Ratusz, K., & Rudzińska, M. (2017). Roasting pumpkin seeds and changes in the composition and oxidative stability of cold-pressed oils. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 16, 293-301.
- [59] Zhou, Y., Fan, W., Chu, F., & Pei, D. (2016). Improvement of the flavor and oxidative stability of walnut oil by microwave pretreatment. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93, 1563-1572.
- [60] Javidipour, I., Erinç, H., Baştürk, A., & Tekin, A. (2017). Oxidative changes in hazelnut, olive, soybean, and sunflower oils during microwave heating. *International Journal of Food Properties*, 20(7), 1582-1592.
- [61] Özcan, M. M., Juhaimi, F. A., & Uslu, N. (2018). The effect of heat treatment on phenolic compounds and fatty acid composition of Brazilian nut and hazelnut. *Journal of food science and technology*, 55(1), 376-380.
- [62] Shahidi, F., & Zhong, Y. (2005). Antioxidants: regulatory status. *Bailey's industrial oil and fat products*, 1, 491-512.
- [63] Vaidya, B., & Eun, J. B. (2013). Effect of roasting on oxidative and tocopherol stability of walnut oil during storage in the dark. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115, 348-355.
- [64] Codex Alimentarius Commission, 2013. Codex Standard for Named Vegetable Oils Codex-Stan 210 issued by the Joint FAO/WHO Food Standards Program, Via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.
- G., Simonetti, M.S. & Cossignani, L. (2018). Changes in extra-virgin olive oil added with *Lycium barbarum* L. carotenoids during frying: Chemical analyses and metabolomic approach. *Food Research International*, 105, 507-516.
- [52] Alasalvar, C., Pelvan, E., & Topal, B. (2010). Effects of roasting on oil and fatty acid composition of Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 61, 630-642.
- [53] Yen, G. C. (1990). Influence of seed roasting process on the changes in composition and quality of sesame (*Sesame indicum*) oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50, 563-570.
- [54] Yoshida, H. (1994). Composition and quality characteristic of sesame seed (*Sesame indicum*) oil roasted at different temperature in an electric oven. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65, 331-336.
- [55] Lee, J., Kim, M., & Choe, E. (2007). Antioxidant activity of lignan compounds extracted from roasted sesame oil on the oxidation of sunflower oil. *Food Science and Biotechnology*, 16, 981-987.
- [56] Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56(8), 365-379.
- [57] Kris-Etherton PM, Taylor DS, Yu-Poth S, Huth P, Moriarty K, Fishell V, Etherton TD (2000) Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71,179S-188S.
- [58] Raczky, M., Siger, A., Radziejewska-



Evaluation of Physicochemical Properties and Oxidative Stability of Persian Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Kernel Oil Under Different Microwave Roasting Conditions

Siadati, S. S.¹, Ahmadi Kamazani, N.^{2*}

1. MSc. Graduated of the Department of Food Science and Technology, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

2. Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received 2021/ 08/ 03 Accepted 2022/ 12/ 21 Keywords: Microwave roasting, Cold press, Oxidative stability, Hazelnut kernel oil, Phytosterols. DOI: 10.22034/FSCT.19.132.117 DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.9.2 *Corresponding Author E-Mail: ahmadi.academic@gmail.com	The aim of this study was to evaluate the physicochemical characteristics (extraction yield, color development, fatty acid profile, iodine value, saponification value, phytosterol profile, DPPH radical scavenging activity and oxidative stability) of cold pressed hazelnut oil extracted from microwave pretreated kernels (0, 2.5, 5 and 7.5 min, 600 W). The results showed that microwave pretreatment of persian hazelnut kernel increased the oil extraction yield, color development and phytosterol contents of all oil samples. Also, no significant differences ($p \geq 0.05$) were observed during microwave pretreatment in saponification value (188-191 mg KOH/g oil) and fatty acids profile of hazelnut kernel oil samples. The predominant unsaturated fatty acids in oil samples in all treatments were determined as oleic acid C18:1c (77.43-78.32%) and linoleic acid C18:2c (9.85-10.18%), respectively. The predominant phytosterols in oil samples in all treatments were determined as β-sitosterol, Δ-5-Avenasterol, Campesterol, Δ-7-stigmastanol and sitostanol. The highest DPPH radical scavenging activity were observed in oil samples of MW-0 (90.62%) and MW-2.5 (89.94%), respectively. In addition, peroxide value, anisidine value and totox value of control hazelnut oil (MW-0) and pretreated hazelnut oil (MW-2.5) at an oven temperature of 160 ° C at 0, 3, 6 and 9 h intervals were determined. Also oxidative stability index (OSI) was determined by rancimat test at 120 ° C. The results indicated that microwave pretreatment is a promising strategy for amplification of oil extraction yield and phytosterol contents in obtained oil from persian hazelnut kernels.