

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا طی فرایند تصفیه

رضا اسماعیل زاده کناری^{۱*} و ندا مشتاق^۲

۱ و ۲- به ترتیب: استادا؛ و دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۲

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی اثر امواج فراصوت (اولتراسوند) در فرایند تصفیه روغن کلزا و کاهش دما و زمان مورد استفاده در مقایسه با روش متداول است. در این تحقیق برای صمغ‌گیری، خنثی‌سازی و رنگ‌بری روغن از حمام فراصوت استفاده شد. برای صمغ‌گیری دمای ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه، برای خنثی‌سازی روغن صمغ‌گیری شده دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه، و برای رنگ‌بری روغن خنثی‌شده دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ و ۳۰ دقیقه استفاده شد. در تمامی مراحل، از حمام فراصوت با توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز استفاده شد. اندیس اسیدی، اندیس پراکسید و ترکیب اسیدهای چرب روغن شاهد و اولتراسوند شده تعیین گردید. در فرایند صمغ‌گیری با اولتراسوند، اندیس اسیدی تغییر معنی‌داری ($P < 0.05$) نکرد ولی اندیس پراکسید افزایش یافت ($P < 0.05$). در فرایند خنثی‌سازی با اولتراسوند، میزان اسید چرب آزاد به طور معنی‌داری کاهش ولی اندیس پراکسید افزایش یافت ($P < 0.05$). در مرحله رنگ‌بری با اولتراسوند، میزان اسیدهای چرب آزاد و پراکسید افزایش معنی‌داری نسبت به مرحله قبل نداشتند. ترکیب اسیدهای چرب پس از سه فرایند تصفیه روغن با امواج فراصوت تغییر نکرد. امواج فراصوت می‌تواند به عنوان روشی کارآمد در فرایند تصفیه روغن استفاده شود و بر ترکیب اسیدهای چرب روغن اثری نداشته باشد.

واژه‌های کلیدی

امواج اولتراسونیک، خنثی‌سازی، صمغ‌گیری، رنگ‌بری، روغن‌های نباتی

مقدمه

بالا، استفاده از روغن کلزا در محصولات غذایی افزایش یافته است. روغن‌های خام گیاهی ناخالصی‌هایی دارند مانند فسفاتیدها، اسیدهای چرب آزاد، رنگدانه‌ها، موم‌ها، مواد حاصل از اکسایش و غیره که باید پیش از استفاده از روغن جدا شوند. وجود این ناخالصی‌ها در روغن سبب کاهش پایداری

از نظر حجم تولید، روغن‌های سویا، پالم، کلزا و آفتابگردان مهمترین روغن‌های خوراکی هستند. در میان روغن‌های خوراکی، روغن کلزا از اهمیت خاصی برخوردار است. دانه کلزا حاوی ۳۸ تا ۴۰ درصد روغن است. به دلایل متعدد، از جمله ارزش تغذیه‌ای

خارج می‌شود. پراکسیدها تجزیه می‌شوند و اندیس پراکسید کاهش می‌یابد (Doleschall *et al.*, 2002).

امروزه در روش‌های نوین سعی بر آن است تا با کاهش دما و زمان فرآیند تصفیه روغن، ضمن افزایش راندمان در مراحل مختلف تصفیه روغن (صمغ‌گیری، خنثی‌سازی و رنگ‌بری) و کاهش بیشتر فسفاتیدها و اسیدهای چرب آزاد و رنگدانه‌ها، کیفیت روغن در حد مطلوبی حفظ شود. روش فراصوت می‌تواند در صنایع غذایی برای انواع مواد غذایی جامد و مایع استفاده شود (Alouache *et al.*, 2015). یکی از کاربردهای فراصوت در صنایع غذایی استفاده از آن در صنعت روغن است (Javanaud & Rahalkar, 1988). فناوری اولتراسوند می‌تواند برای به حداقل رساندن فرآوری محصول مفید باشد. این فناوری، به دلیل انتقال لحظه‌ای صدا به مواد غذایی، باعث کاهش زمان، افزایش بازده و کاهش مصرف انرژی می‌شود (Jahouach-Rabai *et al.*, 2008). اولتراسوند روشی است ساده که در آن خطر زیست محیطی اندک است (Boey *et al.*, 2011). اولتراسوند می‌تواند ویژگی‌های عملکردی روغن را بهبود بخشد (Ye & Martini, 2014).

جیانگ و همکاران (Jiang *et al.*, 2014) اثر اولتراسوند روی فرایند صمغ‌گیری آنزیمی روغن کلزا را با استفاده از آنزیم فسفولیپاز بررسی کردند. این محققان برای این کار اثر مقدار آنزیم (۵۰-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، pH (۴-۶)، دما (۴۵-۶۵) درجه سلسیوس، مقدار آب (۳-۲ درصد) و زمان را روی صمغ‌گیری آنزیمی، با و بدون امواج فراصوت روغن کلزا بررسی کردند و نشان دادند بهینه دما برای صمغ‌گیری آنزیمی با امواج فراصوت ۵ درجه سلسیوس بالاتر از آن است که در روش

روغن در برابر اکسایش و دود کردن و نیز موجب تشکیل رسوب در هنگام حرارت دادن روغن، تیرگی و کف کردن روغن و در نتیجه کاهش کیفیت آن می‌شود (Shahidi, 2005). تصفیه روغن فرآیندی است که سبب خروج این ناخالصی‌ها از روغن می‌شود و شامل مراحل صمغ‌گیری، خنثی‌سازی، بی‌رنگ کردن و بی‌بو کردن است (Kaynak *et al.*, 2004). در مرحله صمغ‌گیری، فسفاتیدها و سایر مواد صمغی از روغن جدا می‌شوند. باقی ماندن فسفاتیدها (صمغ‌ها) باعث می‌شود مشکلاتی مانند ته‌نشین شدن آنها در تانک‌های نگهداری و هنگام حمل ایجاد شود (Akoh *et al.*, 2002). صمغ‌ها به دلیل داشتن گروه آمین و واکنش با آلدئیدهای حاصل از اکسایش، با شرکت در واکنش شبه میلارد باعث تیرگی رنگ روغن می‌شوند و با باقی ماندن در روغن، سبب غیر فعال شدن کاتالیزور نیکل در مرحله هیدروژنه کردن روغن می‌گردند (Belitz *et al.*, 2009). خنثی‌سازی مرحله‌ای است که NaOH با درصدهای مورد نظر به روغن خام اضافه می‌شود تا با تشکیل صابون، اسید چرب آزاد را خنثی کند (Dumont *et al.*, 2008). علت خارج کردن اسیدهای چرب آزاد از روغن در خنثی‌سازی این است که اسیدهای چرب آزاد ممکن است به عنوان پراکسیدان عمل کنند و باعث شتاب در تجزیه هیدروپراکسید شوند (Ghazani *et al.*, 2013). در مرحله رنگ‌بری، رنگدانه‌ها به صورت فیزیکی جذب خاک رنگ‌بر می‌شوند. حذف رنگدانه‌ها در مرحله رنگ‌بری به دلیل تأثیر منفی بر رنگ و ظاهر روغن و نیز به دلیل اینکه در مرحله بی‌بو کردن حذف نمی‌شوند ضروری است (Asgari *et al.*, 2017). صابون باقی‌مانده در روغن نیز همراه خاک رنگ‌بر

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا...

روغن پالم در یک سیستم مداوم بررسی و در این راه از میزان متفاوت قدرت (۷۵-۱۱۰-۱۸۰ وات) و طول پالس (۵-۱۰-۱۵ ثانیه) استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد کمترین سطح قدرت (۷۵ وات) بیشترین اثر را در کریستالیزاسیون روغن در ۳۵ درجه سلسیوس با بیشترین مقدار چربی جامد، بیشترین الاستیسیته و بالاترین پروفایل ذوب بعد از ۶۰ دقیقه را دارد.

در این تحقیق مراحل تصفیه روغن شامل صمغ‌گیری، خنثی‌سازی و رنگ‌بری با استفاده از روش‌های معمول و اولتراسوند روی روغن خام کلزا اجرا و اثر این دو روش بر کیفیت روغن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه روغن خام کلزا بدون آنتی‌اکسیدان از کارخانه کشت و صنعت شمال در ساری تهیه شد (کارخانه نیز روغن را خریداری می‌کند). مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شد. در مرحله اول، صمغ‌گیری به دو روش معمولی و اولتراسوند؛ در مرحله دوم، خنثی‌سازی (تصفیه قلیایی) به دو روش معمولی و اولتراسوند؛ و در مرحله سوم، رنگ‌بری به دو روش معمولی و اولتراسوند اجرا شد.

صمغ‌گیری با روش معمولی: در روش معمولی صمغ‌گیری، ۴۰۰ میلی‌لیتر روغن خام کلزا درون ظرف مناسب ریخته و دمای آن در حمام آب گرم به ۷۰ درجه سلسیوس رسانده شد. پنجاه و شش صدم (۵۶/۰) میلی‌لیتر اسید سیتریک ۴۵ درصد به روغن اضافه و به مدت یک دقیقه به شدت هم زده شد. پس از مخلوط شدن، از همزن مغناطیسی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه استفاده شد. سپس روغن تا دمای

مکانیکی - همزن در نظر گرفته می‌شود، اثر pH در هر دو روش یکسان بود، زمان و آب کمتری در روش فراصوت استفاده شد، و اکسایش روغن به دلیل اثر کاویتاسیون افزایش پیدا کرد.

عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2012) کاربرد امواج فراصوت در فرایند رنگ‌بری روغن سویا و شرایط دمایی و زمانی مورد استفاده در حمام فراصوت را بررسی کردند. این محققان با استفاده از ۱ درصد وزنی-وزنی خاک رنگ‌بر فعال شده با اسید، حمام فراصوت با توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سلسیوس و سه زمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه نشان دادند میزان رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید در تیمار فراصوت ۶۰ درجه و ۳۰ دقیقه به ترتیب ۹۴/۵ درصد و ۷۴/۷ درصد بوده است. زمان مقاومت به اکسایش افزایش یافت، اندیس اسیدی تغییر چندانی نکرد و ترکیب اسیدهای چرب تغییر نکرد.

آلوچ و همکاران (Alouache et al., 2015) از روش فراصوت و روش فیزیکی شیمیایی برای مشخص کردن و کنترل کیفیت روغن زیتون، با به‌کارگیری از یک مبدل ۲/۲۵ مگاهرتز، استفاده کردند. پارامترهای فراصوت مانند شدت و ضعف انتشار امواج برای روغن زیتون خالص و مخلوط شده با روغن آفتابگردان سنجیده شد. ویژگی‌های مکانیکی مانند ویسکوزیته و دانسیته نیز تعیین شد. نتایج بررسی فراصوت با نتایج روش فیزیکی شیمیایی مثل اندیس اسیدی و پراکسید سازگار بودند. این پژوهشگران نشان دادند روش فراصوت اجازه تشخیص بین مخلوط‌های روغن با نسبت‌های متفاوت را می‌دهد و این روش تکمیل‌کننده روش فیزیکی شیمیایی است.

یه و همکاران (Ye et al., 2015) امواج فراصوت با شدت بالا را برای تغییر رفتار کریستالیزاسیون

خنثی‌سازی با روش معمولی: در این مرحله، روغن صمغ‌گیری شده با روش معمولی در مرحله اول با ۱ درصد سود (۱۶ درجه بومه) مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) شد. روغن سه مرتبه با آب مقطر داغ شستشو داده شد و صابون تشکیل شده جدا و روغن به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) شد. پس از جداسازی صابون باقیمانده، روغن در آون ۸۰ درجه سلسیوس خشک و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی آن اجرا شد (Chew *et al.*, 2017).

خنثی‌سازی با اولتراسوند: خنثی‌سازی با اولتراسوند طبق روش چو و همکاران (Chew *et al.*, 2017) با کمی تغییر اجرا شد. در این مرحله، روغن صمغ‌گیری شده با اولتراسوند در مرحله اول با ۱ درصد سود (NaOH ۱۶ درجه بومه) مخلوط شد و در حمام آب گرم به دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس رسانده شد. نمونه‌ها در حمام اولتراسوند که به همان دما رسیده بود تحت امواج فراصوت (توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز) در دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. روغن سه مرتبه با آب مقطر داغ شستشو داده شد، صابون تشکیل شده جدا و روغن به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) شد. پس از جداسازی صابون باقیمانده، روغن در آون ۸۰ درجه سلسیوس خشک و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی آن اجرا شد.

رنگ‌بری با روش معمولی: در این مرحله، روغن خنثی‌شده به روش معمولی در مرحله دوم پس از رسیدن به دمای ۶۰ درجه سلسیوس در حمام آب گرم، با ۱ درصد وزنی-وزنی خاک رنگ‌بر و ۰/۵ درصد کمک‌صافی مخلوط شد. پس از ۳۰ دقیقه مخلوط کردن، فیلتراسیون برای جداسازی خاک رنگ‌بر با

۵۰ درجه سلسیوس سرد و ۲ درصد وزنی-وزنی آب مقطر به آن اضافه شد. پس از اینکه روغن به مدت یک دقیقه به شدت هم زده شد، از همزن مغناطیسی با دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه برای هم زدن روغن استفاده شد. نمونه روغن به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) و سپس از جداسازی صمغ حاصل، در آون با دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی روغن دنبال شد (Jiang *et al.*, 2014).

صمغ‌گیری با اولتراسوند: صمغ‌گیری با اولتراسوند طبق روش جیانگ و همکاران (Jiang *et al.*, 2014) با کمی تغییر اجرا شد. چهارصد (۴۰۰) میلی‌لیتر روغن خام کلزا درون ظرف مناسب اولتراسوند ریخته و دمای آن در حمام آب گرم به ۷۰ درجه سلسیوس رسانده شد. پنجاه و شش صدم (۰/۵۶) میلی‌لیتر اسید سیتریک ۴۵ درصد به روغن اضافه و به مدت یک دقیقه به شدت هم زده شد. سپس روغن تا دمای ۵۰ درجه سرد و ۲ درصد وزنی-وزنی به آن آب مقطر اضافه شد. روغن به مدت یک دقیقه به شدت هم زده شد. نمونه‌های روغن در حمام آب گرم به دو دمای ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس رسانده شدند و در حمام اولتراسوند (توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز) که به همان دما رسیده بود تحت امواج فراصوت در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) شدند و پس از جداسازی صمغ حاصل، در آون ۸۰ درجه سلسیوس خشک شدند. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی روغن اجرا شد.

اساس استاندارد AOCS به شماره ۹۶۹/۳۳ صورت گرفت و از دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) (Gc-fid) (shimadzu 2014) مجهز به آشکارساز شعله‌ای (Flame Ionization Detector) و ستون C18 مطابق استاندارد cele-91 استفاده شد (Jiang *et al.*, 2014). برای رنگ‌بری روغن از پمپ خلأ (C55JXHRL-4205) و برای تعیین می‌وزان رنگدانه‌های روغن از دستگاه اسپکتروفوتومتر (T80+UV/VIS-PG Instrument Ltd) با طول موج ۴۰۰ نانومتر استفاده شد (Pokorny *et al.*, 1995).

تجزیه و تحلیل آماری: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل اصلی در هر مرحله، نوع عملیات (صمغ‌گیری، خنثی‌سازی و رنگ‌بری) و دما و زمان عملیات بود. در هر مرحله، عملیات در دو سطح شاهد و اولتراسوند، دما در دو سطح و زمان در دو سطح بودند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل و میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

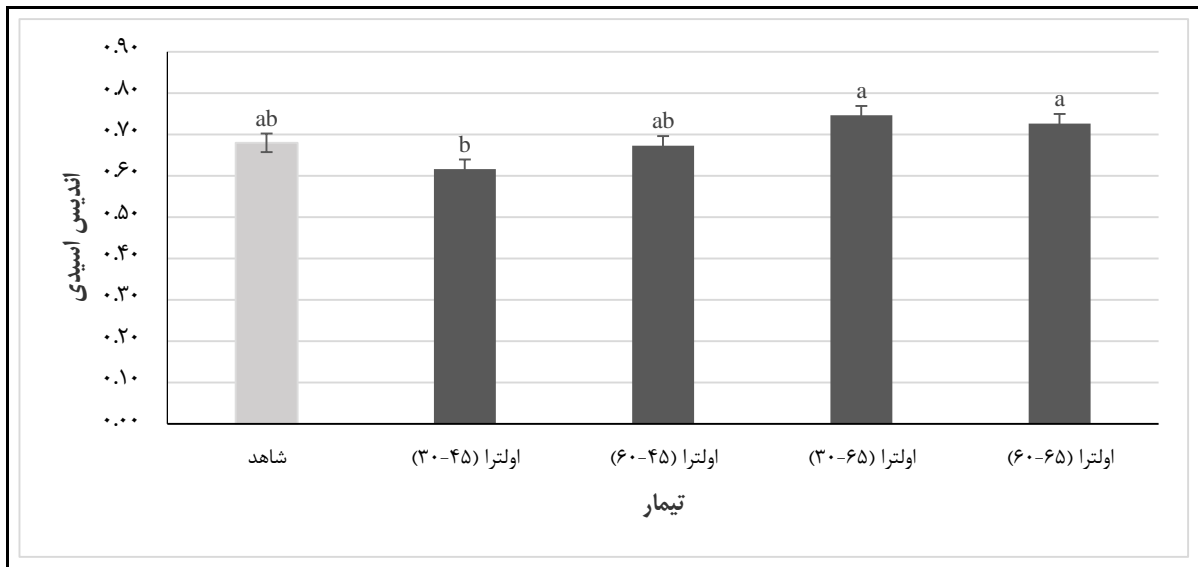
شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات اندیس اسیدی و پراکسید در نمونه شاهد (قبل از رنگ‌بری) و نمونه‌های رنگ‌بری شده با استفاده از امواج فراصوت در شرایط دمایی و زمانی مختلف هستند. نتایج تغییرات ترکیب اسیدهای چرب نمونه روغن کلزای خنثی‌شده قبل و پس از فرایند رنگ‌بری با امواج فراصوت در جدول ۱ نشان داده شده است.

الف - مرحله صمغ‌گیری

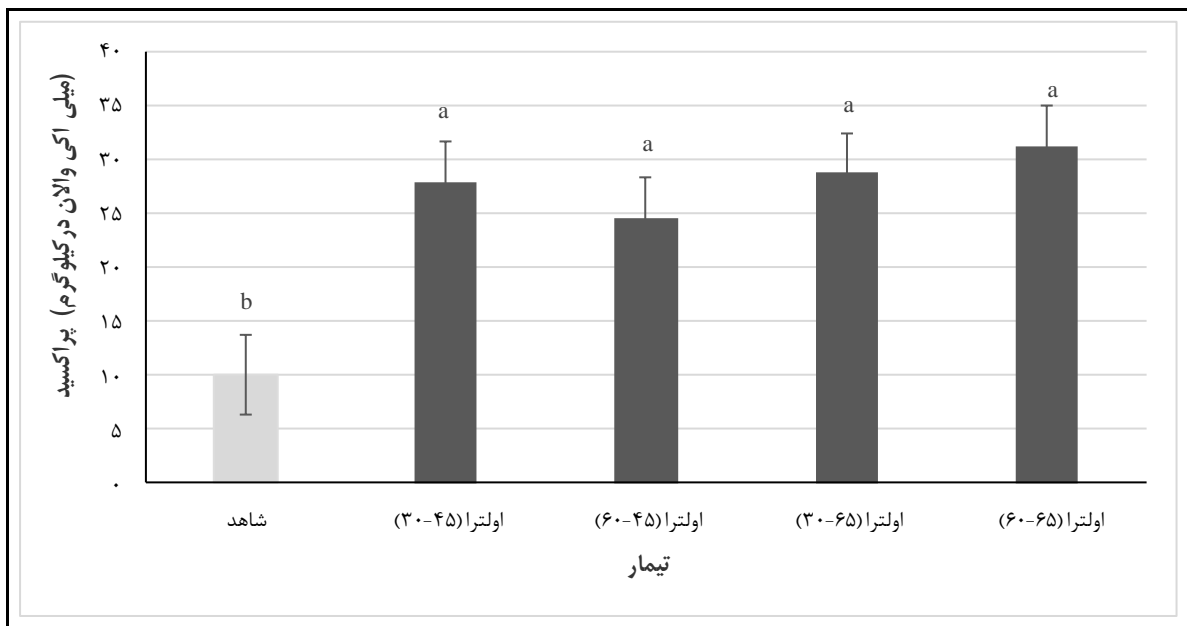
کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱ تحت خلأ با پمپ خلأ اجرا شد.

رنگ‌بری با اولتراسوند: در این مرحله، یک نمونه روغن خنثی‌شده با اولتراسوند در مرحله دوم در حمام آب گرم تا دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سلسیوس گرم شد. پس از آن، نمونه با ۱ درصد وزنی-وزنی خاک رنگ‌بر و ۰/۵ درصد وزنی-وزنی کمک‌صافی مخلوط شد و در حمام فراصوت (توان ۱۰۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز) که به همان دما رسیده در دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه قرار گرفت. فیلتراسیون برای جداسازی خاک رنگ‌بر با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱ تحت خلأ با پمپ خلأ اجرا شد. جذب نمونه‌های روغن با اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۰۰ نانومتر خوانده شد. کمترین جذب که در نمونه با تیمار ۶۰ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ دقیقه بود یادداشت گردید و تمامی نمونه‌ها با همین شرایط دمایی و زمانی رنگ‌بری شدند (Jahouach-Rabai *et al.*, 2008).

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی: پس از اجرای تیمارهای مورد نظر با حمام فراصوت (Elmasonic S 30 H)، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی روغن کلزا در مراحل مختلف صورت گرفت. درصد اسیدهای چرب به روش تیتراسیون روغن محلول در دی آتل اتر و اتانول در حضور معرف فنل فتالین با محلول هیدروکسید ۰/۱ نرمال طبق استاندارد AOAC به شماره ۹۴۰/۲۸ اندازه‌گیری شد. عدد پراکسید با روش یدومتری از طریق تیتراسیون روغن با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال در حضور یدید پتاسیم و معرف چسب نشاسته طبق استاندارد AOCS به شماره cd8-53 اندازه‌گیری شد (Jiang *et al.*, 2014). برای تعیین ترکیب اسیدهای چرب، آماده‌سازی نمونه به صورت مشتق متیل استر بر



شکل ۱- میزان اندیس اسیدی نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه در مرحله صمغ‌گیری
حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۲- میزان پراکسید در نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه در مرحله صمغ‌گیری
حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۱- تغییرات ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزای صمغ گیری شده (بر حسب درصد) به روش معمولی و اولتراسوند با کمترین (۳۰-۴۵) و بیشترین زمان و دمای فرایند (۶۵-۶۰)

اسیدهای چرب	کلزای صمغ گیری شده به روش معمولی	کلزای صمغ گیری شده با اولتراسوند (۳۰-۴۵)	کلزای صمغ گیری شده با اولتراسوند (۶۵-۶۰)
اسید پالمیتیک (C16:0)	۴/۴۸	۴/۵۲	۴/۵۷
اسید پالمیتولنیک (C16:1)	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۰
اسید استئاریک (C18:0)	۱/۸۶	۱/۸۷	۱/۸۷
اسید اولنیک (C18:1)	۶۲/۶۳	۶۲/۶۷	۶۲/۳۴
اسید لینولنیک (C18:2)	۲۰/۶۶	۲۰/۵۹	۲۰/۶۳
اسید لینولنیک (C18:3)	۶/۲۴	۶/۱۶	۶/۶۲
اسید آراشیدونیک (C20:0)	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۵۲
سایر اسیدهای چرب	۲/۴	۲/۵۶	۲/۲۵

افزایش اکسایش مربوط به اثر کاویتاسیون به دلیل امواج فراصوت است. همچنین فلزاتی که به طور طبیعی در روغن های خوراکی وجود دارند در همراهی با کاویتاسیون ناشی از اولتراسوند می توانند به عنوان مسئول تشکیل اکسی رادیکال ها، اکسایش روغن را افزایش دهند. همچنین می توان گفت فسفولیپیدها نوعی آنتی اکسیدان طبیعی هستند که می توانند اکسایش روغن را به تأخیر بیندازند و با جدا شدن مقدار بیشتری از آنها در نمونه های اولتراسوند پایداری اکسیداتیو به نسبت بیشتری کاهش پیدا می کند (Jiang et al., 2014).

به نظر می رسد اگر در هنگام آزمایش، روغن درون ظروف در بسته قرار می گرفت و ظرف کاملاً از روغن پر می شد و سپس در حمام فراصوت قرار می گرفت به میزان قابل توجهی از افزایش پراکسید جلوگیری می شد (Mahmood et al., 2016).

چیمت و همکاران (Chemat et al., 2004)، با بررسی اثرهای امواج فراصوت بر اکسایش لیپیدهای روغن آفتابگردان تصفیه شده مشاهده کردند که هیچ تغییر معنی داری در فاکتورهای کیفی و ترکیب اسیدهای چرب قبل و بعد از تیمار فراصوت ایجاد نشده و تنها مقدار جزئی اندیس پراکسید افزایش یافته است. جدول ۱ تغییرات ترکیب اسید چرب روغن کلزای صمغ گیری

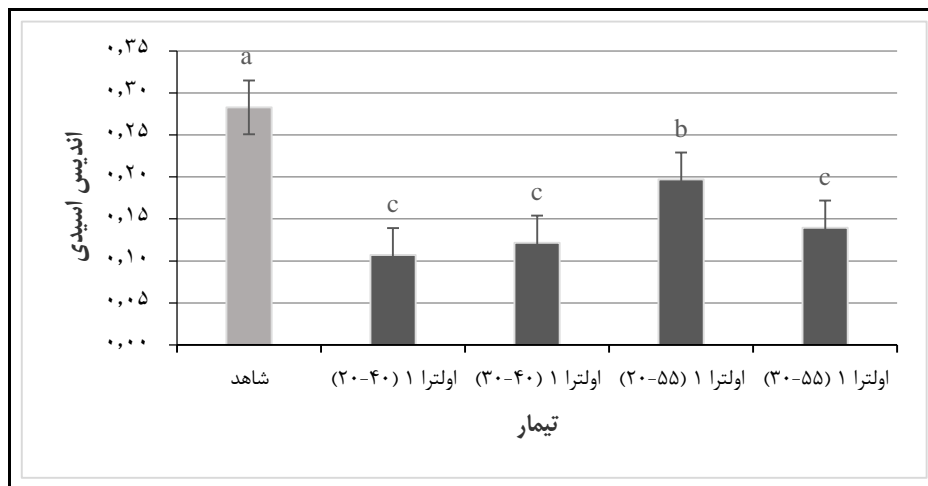
همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، در نمونه اولتراسوند شده (۳۰-۴۵) اسید چرب آزاد نسبت به نمونه شاهد به طور جزئی کاهش می یابد ولی اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) با نمونه شاهد ندارد. با افزایش زمان به ۶۰ دقیقه و دما به ۶۵ درجه، اسید چرب آزاد اندکی افزایش می یابد ولی نمونه های اولتراسوند شده (۳۰-۴۵)، (۶۰-۴۵) و (۶۰-۶۵) با هم و با نمونه شاهد اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) ندارد. فقط در نمونه های اولتراسوند (۳۰-۴۵) و (۶۰-۶۵)، نسبت به نمونه اولتراسوند شده (۳۰-۴۵) اسید چرب آزاد افزایش پیدا کرده است و با آن اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) دارند. با توجه به سیر صعودی میزان اسید چرب آزاد همراه با افزایش دما و زمان فرایند، به نظر می رسد شکسته شدن یک سری از پیوندهای تری گلیسرید و رهایی اسید چرب باعث افزایش اسید چرب آزاد در اثر افزایش دما و زمان شده است (Alouache et al., 2015).

شکل ۲ نشان می دهد با افزایش دما و زمان اولتراسوند، میزان اندیس پراکسید در این نمونه ها نسبت به نمونه شاهد با اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) افزایش پیدا کرده است. با توجه به اینکه میزان پراکسید روغن خام نسبتاً بالا (حدود ۲۰ میلی اکی والان در کیلوگرم) بود به نظر می رسد حضور هوا در سطح روغن در هنگام فراصوت باعث افزایش اکسایش در روغن شده است. علت دیگر

همان‌طور که مشاهده می‌شود اولتراسوند در دو حالت کمترین و بیشترین دما و زمان فرایند، هیچ تغییری در ترکیب و ساختار اسیدهای چرب ایجاد نمی‌کند و درصد اسیدهای چرب روغن کلزا در نمونه شاهد و اولتراسوند شده تقریباً برابر است و اختلاف معنی‌داری باهم ندارند (Chemat *et al.*, 2004).

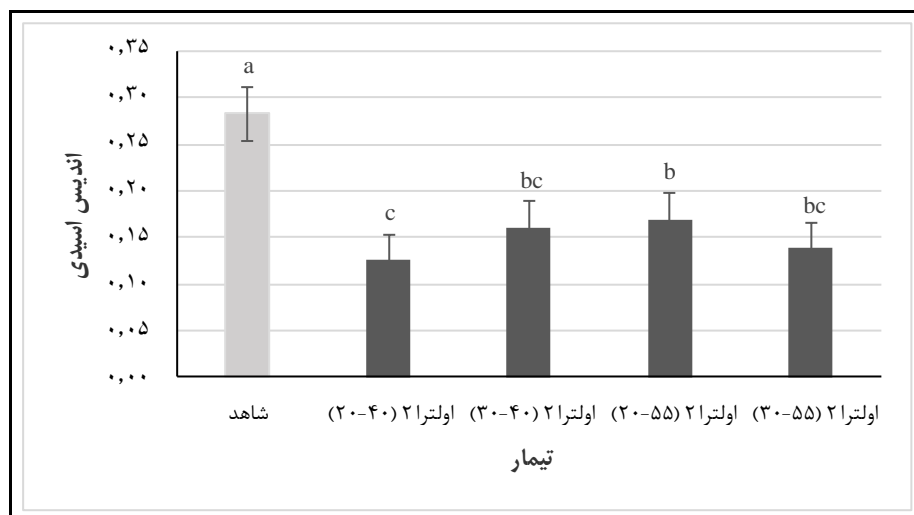
ب- مرحله خنثی‌سازی

شده به دو روش متداول و اولتراسوند شده را نشان می‌دهد. ترکیب و درصد اسیدهای چرب روغن کلزای صمغ‌گیری شده به روش متداول با درصد اسید چرب روغن‌هایی مقایسه شده است که با کمترین دما (۴۵ درجه سلسیوس) و زمان (۳۰ دقیقه) و بیشترین دما (۶۵ درجه سلسیوس) و زمان (۶۰ دقیقه) تحت امواج فراصوت قرار گرفته‌اند.



شکل ۳- میزان اندیس اسیدی در نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

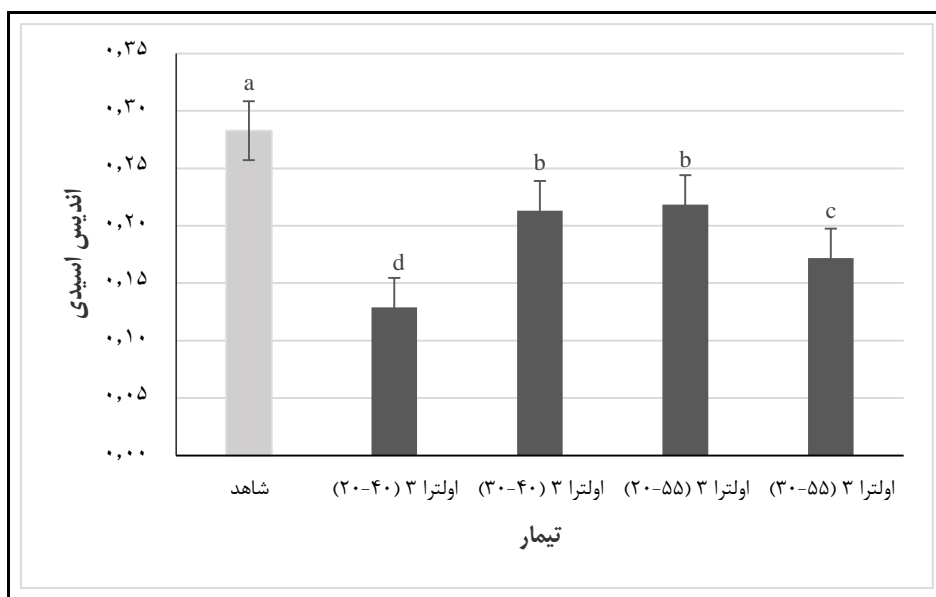
دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۴۵ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه بوده است (اولترا ۱). حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۴- میزان اندیس اسیدی نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

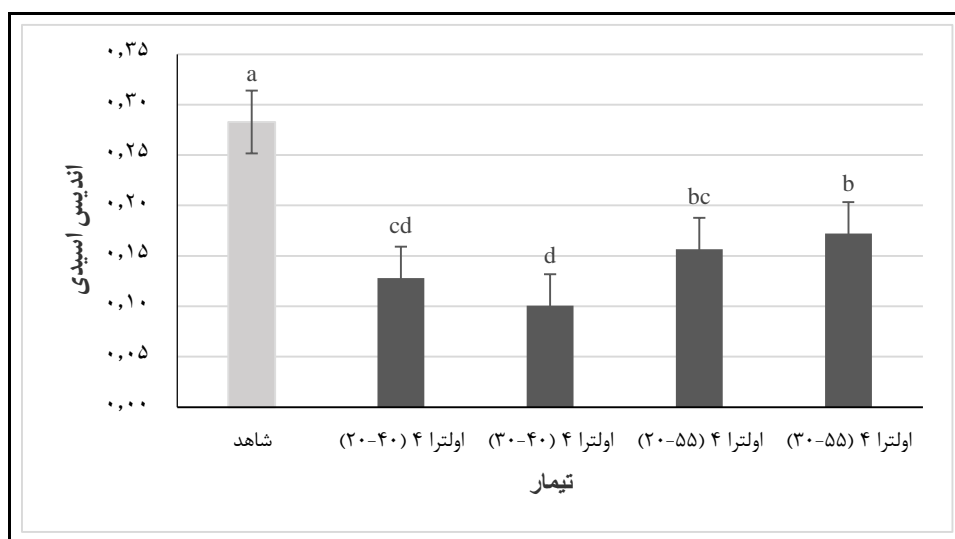
دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۴۵ درجه سلسیوس و ۶۰ دقیقه بوده است (اولترا ۲). حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا...



شکل ۵- میزان اندیس اسیدی نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۶۵ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه بوده است (اولترا ۳) حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۶- میزان اندیس اسیدی نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۶۵ درجه سلسیوس و ۶۰ دقیقه بوده است (اولترا ۴) حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

شکل (۳): میزان اسید چرب آزاد در نمونه‌های اولتراسوند شده با دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز نمونه شاهد مشخص است. نمونه‌ای که در این مرحله تحت شرایط فراصوت خنثی‌شده است در مرحله قبل با دمای ۴۵ درجه و زمان ۳۰ دقیقه تحت امواج

مرحله قبل با دمای ۴۵ درجه و زمان ۶۰ دقیقه تحت امواج فراصوت صمغ‌گیری شده است. این شرایط دمایی و زمانی مرحله صمغ‌گیری با عنوان اولترا ۲ مشخص شده است. مشاهده می‌شود که روش اولتراسوند سبب کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) اسیدهای چرب آزاد در تمام نمونه‌های اولتراسوند نسبت به نمونه شاهد شده است. در بین نمونه‌های اولتراسوندشده، نمونه‌های (۳۰-۴۰) و (۲۰-۵۵) و (۳۰-۵۵) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند ولی اختلاف آنها با نمونه (۲۰-۴۰) معنی‌دار ($P < 0.05$) است. در این مرحله نیز مانند مرحله قبل وجود امواج فراصوت سبب جذب بیشتر اسیدهای چرب به قلیا می‌شود و خروج آنها را راحت‌تر می‌کند. در اینجا مشخص است با افزایش زمان و دمای اولتراسوند مقداری اسید چرب افزایش پیدا کرده است که ممکن است به دلیل شکست تری‌گلیسیرید در اثر دمای بالا باشد. این افزایش جزئی است و همچنان اختلاف مشهودی با نمونه شاهد دارد (Bakhshabadi et al., 2016).

شکل ۵ میزان اسید چرب آزاد در نمونه‌های اولتراسوند شده با دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو دمای ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز نمونه شاهد را نشان می‌دهد. نمونه‌ای که در این مرحله تحت شرایط فراصوت خنثی شده است در مرحله قبل با دمای ۶۵ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت صمغ‌گیری شده است. این شرایط دمایی و زمانی مرحله صمغ‌گیری با عنوان اولترا ۳ مشخص شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که تمام نمونه‌های اولتراسوندشده از نظر کاهش میزان اسید چرب اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با نمونه شاهد دارند. همچنین، میزان اسید چرب در نمونه‌های اولتراسوندشده (۲۰-۴۰) و (۳۰-۵۵)

فراصوت صمغ‌گیری شده است. این شرایط دمایی و زمانی مرحله صمغ‌گیری با عنوان اولترا ۱ مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش اولتراسوند سبب کاهش معنی‌دار اسیدهای چرب آزاد در تمام نمونه‌های اولتراسوندشده، نسبت به نمونه شاهد، شده است ($P < 0.05$).

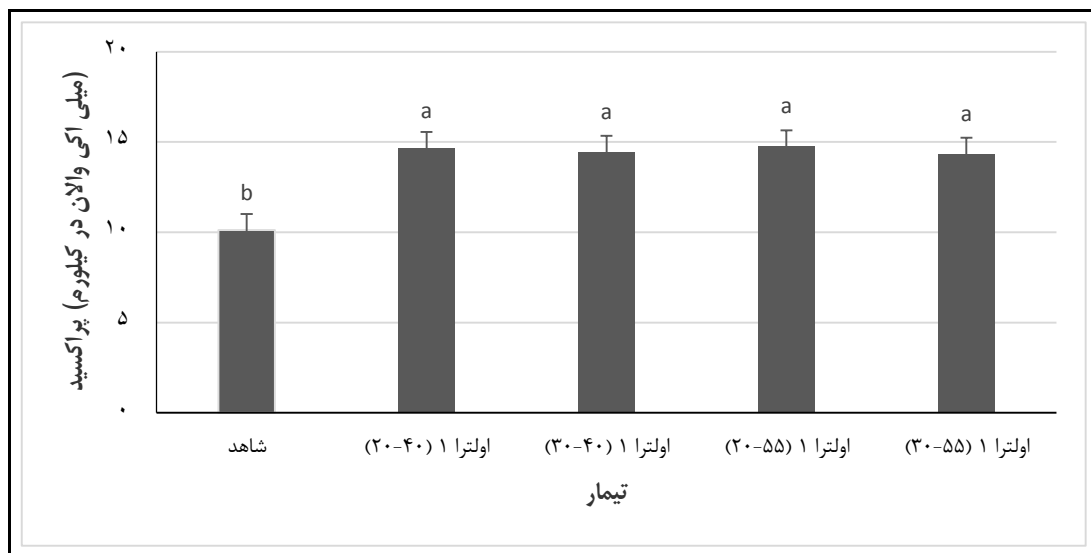
نمونه‌های اولتراسوندشده (۲۰-۴۰) و (۳۰-۴۰) و (۳۰-۵۵) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) ندارند ولی اسید چرب آزاد در این نمونه‌ها با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرده است. میزان اسید چرب آزاد در نمونه اولتراسوندشده (۲۰-۵۵) نسبت به سه نمونه دیگر اولتراسوندشده با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر است با این حال مانند سه نمونه دیگر اولتراسوندشده با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) از نمونه شاهد کمتر است. کاهش اسید چرب در نمونه‌های اولتراسوندشده، نسبت به شاهد، نشان‌دهنده جذب بیشتر اسیدهای چرب به قلیا توسط امواج فراصوت و خروج راحت‌تر آنها از روغن است. شاید وجود امواج فراصوت سبب افزایش سطح تماس قلیا می‌شود و جذب اسید چرب توسط قلیا را افزایش می‌دهد. با افزایش دما و زمان اولتراسوند مقداری اسید چرب در نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند که ممکن است به دلیل شکست تری‌گلیسیرید در اثر دمای بالا باشد. البته این افزایش جزئی است و همچنان اختلاف مشهودی با نمونه شاهد دارد (Bakhshabadi et al., 2016).

در شکل ۴ میزان اسید چرب آزاد در نمونه‌های اولتراسوند شده با دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو دمای ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز نمونه شاهد در شکل مشخص است. نمونه‌ای که در این مرحله تحت شرایط فراصوت خنثی شده است در

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا...

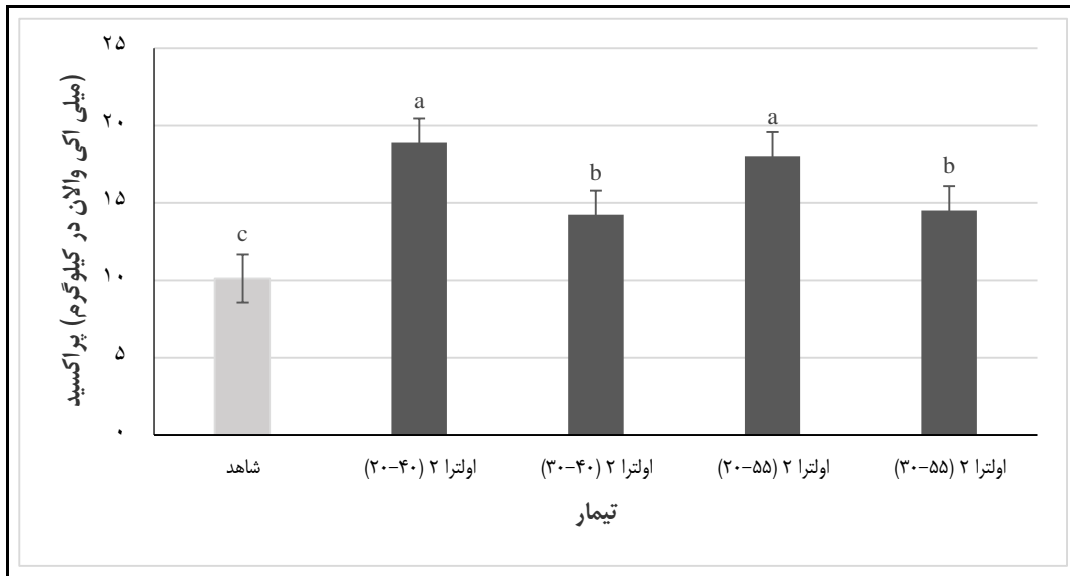
در شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ کاملاً مشخص است اسید چرب آزاد در نمونه‌های اولتراسوند شده به طور چشمگیری نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرده است. این امر نشان می‌دهد که امواج فراصوت باعث جذب حداکثر اسیدهای چرب آزاد به قلیا شده و کارایی فرایند تصفیه قلیایی و حذف اسیدهای چرب آزاد از روغن را دوچندان کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش دما و زمان مقداری اسید چرب آزاد افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل شکست جزئی تری‌گلیسیرید باشد (Bakhshabadi *et al.*, 2016). با توجه به اینکه هدف از آزمایش تعیین شرایط بهینه تصفیه است، مشخص شد با کمترین دما و زمان می‌توان به بهترین شرایط تولید برای حداکثر کاهش اسیدیته دست یافت. بنابراین، زمان ۲۰ دقیقه و دمای ۴۰ درجه سلسیوس بهترین شرایط زمانی و دمایی برای تصفیه قلیایی با امواج فراصوت است.

نسبت به دو نمونه اولتراسوندشده (۳۰-۴۰) و (۲۰-۵۵) با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) کمتر است. شکل ۶ میزان اسید چرب آزاد در نمونه‌های اولتراسوند شده با دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو دمای ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نیز نمونه شاهد را نشان می‌دهد. نمونه‌ای که در این مرحله تحت شرایط فراصوت خنثی شده است در مرحله قبل با دمای ۶۵ درجه و زمان ۶۰ دقیقه تحت امواج فراصوت صمغ‌گیری شده است. این شرایط دمایی و زمانی مرحله صمغ‌گیری با عنوان اولترا ۴ مشخص شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که تمام نمونه‌های اولتراسوندشده از نظر کاهش میزان اسید چرب اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با نمونه شاهد دارند. همچنین اسید چرب آزاد در نمونه اولتراسوندشده (۳۰-۴۰) با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) از دو نمونه (۲۰-۵۵) و (۳۰-۵۵) کمتر است (شکل ۶).



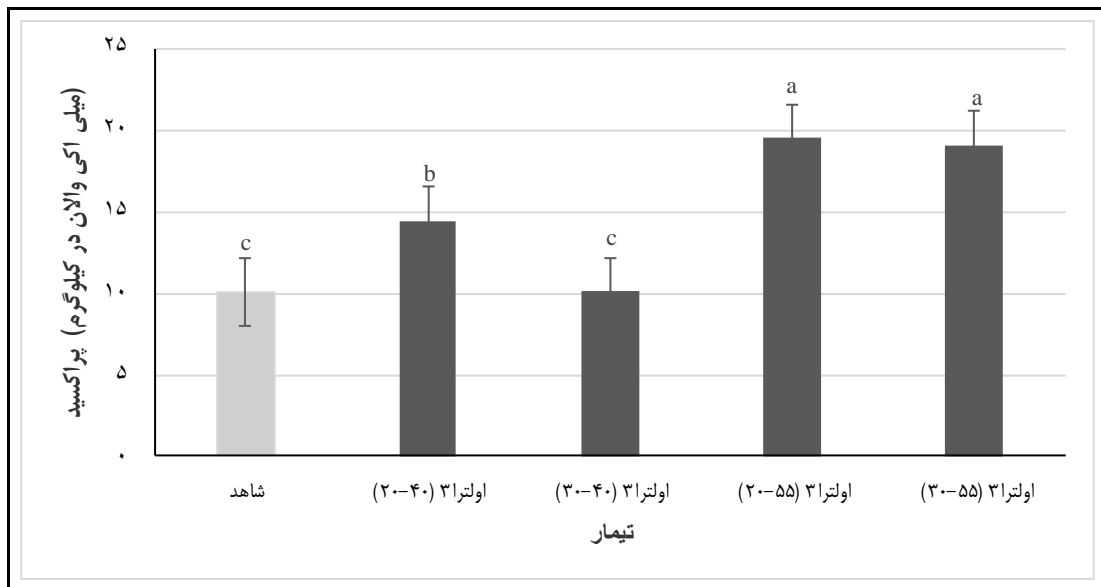
شکل ۷- میزان پراکسید نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۴۵ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه بوده است (اولترا ۱) حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۸- میزان پراکسید نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

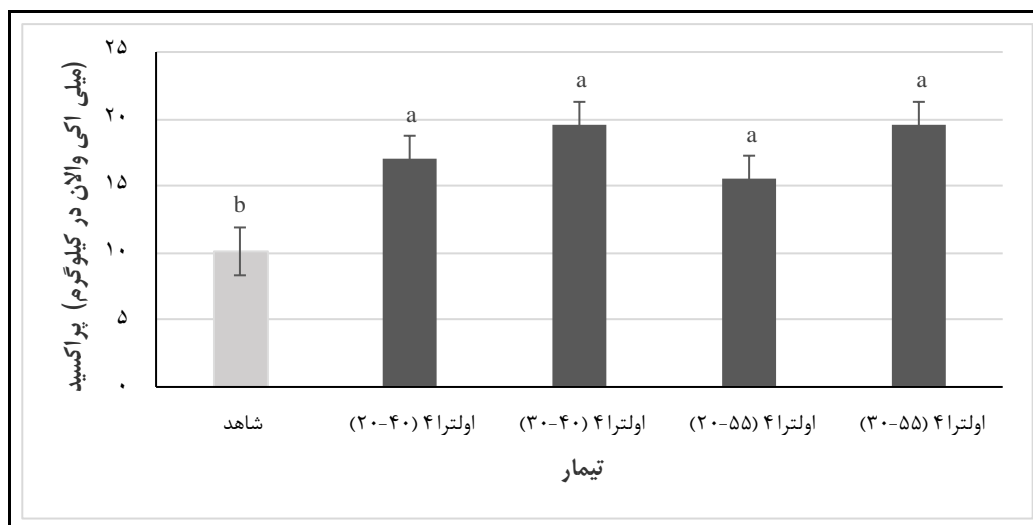
دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۴۵ درجه سلسیوس و ۶۰ دقیقه بوده است (اولترا ۲) حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۹- میزان پراکسید نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۶۵ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه بوده است (اولترا ۳) حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا...



شکل ۱۰- میزان پراکسید نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه در مرحله خنثی‌سازی

دما و زمان برای نمونه‌های اولتراسوند شده در مرحله صمغ‌گیری به ترتیب ۶۵ درجه سلسیوس و ۶۰ دقیقه بوده است (اولترا ۴) حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

استفاده شد (نمونه‌های این مرحله در مرحله صمغ‌گیری با دمای ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه صمغ‌گیری شده‌اند). در این شکل، میزان پراکسید در نمونه‌های اولتراسوند شده به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرده است. در اینجا نیز باید به اثر وجود هوا در فضای بالای ظرف‌های حاوی روغن اشاره کرد و اثر اکسیداسیون به علت حضور هوا و اثر کاویتاسیون به علت وجود امواج فراصوت و در نتیجه افزایش سطح تماس روغن و هوا را در افزایش پراکسید مؤثر دانست (Mahmood *et al.*, 2016). در شکل ۹ برای خنثی‌سازی از دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه استفاده شد (نمونه‌های این مرحله در مرحله صمغ‌گیری با دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه صمغ‌گیری شده‌اند). میزان پراکسید در تمام نمونه‌های اولتراسوند شده به جز نمونه (۳۰-۴۰) با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر از میزان پراکسید در نمونه شاهد است. این اختلاف نشان‌دهنده اکسیداسیون در نمونه‌های

در شکل ۷ برای خنثی‌سازی از دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه استفاده شد (نمونه‌های این مرحله، در مرحله صمغ‌گیری با دمای ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه صمغ‌گیری شده‌اند). همان‌طور که مشاهده می‌شود هیچ یک از نمونه‌های اولتراسوند شده از نظر میزان پراکسید اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هم ندارند ولی با نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) دارند. به نظر می‌رسد به دلیل اینکه نمونه‌ها در ظرف‌های بدون درپوش درون حمام اولتراسوند قرار داده شدند و روغن در معرض جریان هوا قرار داشته است باعث شده تا اکسایش در روغن اتفاق بیفتد و افزایش پراکسید در نمونه‌های اولتراسوند مشاهده شود (Mahmood *et al.*, 2016). البته دلیل دیگر افزایش پراکسید مانند مرحله قبل می‌تواند ناشی از اثر کاویتاسیون ایجاد شده به دلیل امواج فراصوت باشد (Jalili *et al.*, 2018).

در شکل ۸ برای خنثی‌سازی از دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه

اکسایش روغن و در نتیجه پراکسید را افزایش داده است (Mahmood *et al.*, 2016). در شکل ۱۰ مانند شکل ۹ میزان پراکسید از نمونه‌های ۷ و ۸ بیشتر است که می‌تواند به دلیل کاربرد دمایی بیشتر در مرحله صمغ‌گیری برای این نمونه‌ها و تولید پراکسید بیشتر باشد (Jalili *et al.*, 2018).

همان‌طور که در شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، با وجود بیشتر بودن میزان پراکسید در نمونه‌های اولتراسوندشده، نسبت به نمونه شاهد به دلیل اثر کاویتاسیون، به طور کلی میزان پراکسید نمونه‌های اولتراسوندشده در مرحله خنثی‌سازی کمتر از نمونه‌های اولتراسوندشده در مرحله صمغ‌گیری است. به نظر می‌رسد جذب ترکیبات پراکسید در صابون باعث کاهش میزان پراکسید در مرحله خنثی‌سازی شده است. در مقایسه این ۴ شکل، نمونه‌های اولترا ۱ پراکسید کمتری نسبت به نمونه‌های اولترا ۲، اولترا ۳ و اولترا ۴ دارند که به نظر می‌رسد به این دلیل است که این نمونه‌ها در مرحله صمغ‌گیری با دما و زمان کمتری تحت امواج اولتراسوند قرار گرفته‌اند.

اولتراسوند شده است که به دلیل حضور هوای محیط در مجاورت روغن اتفاق می‌افتد. امواج اولتراسوند می‌توانند تحرک مولکول‌های روغن را افزایش و سطح تماس آنها با هوا و در نتیجه اکسایش را افزایش دهند (Mahmood *et al.*, 2016). نمونه‌های این مرحله نسبت به مراحل ۷ و ۸ میزان پراکسید بیشتری نشان می‌دهند که ممکن به این دلیل باشد که این نمونه‌ها در مرحله صمغ‌گیری تحت دمایی بیشتری بودند و احتمالاً با میزان پراکسید بیشتری وارد مرحله خنثی‌سازی شده‌اند. در شکل ۱۰ برای خنثی‌سازی از دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سلسیوس و دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه استفاده شد (نمونه‌های این مرحله در مرحله صمغ‌گیری با دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه صمغ‌گیری شده‌اند). در اینجا میزان پراکسید در تمامی نمونه‌های اولتراسوندشده به دلیل اکسایش اسیدهای چرب روغن با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر از میزان پراکسید در نمونه شاهد است. در این مرحله نیز تماس بیشتر روغن با هوا بر اثر کاویتاسیون و نیز بدون درپوش بودن ظرف‌های حاوی روغن، میزان

جدول ۲- تغییرات ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزای خنثی شده (بر حسب درصد) به روش معمولی و اولتراسوند با کمترین (۲۰-۴۰) و بیشترین دما و زمان فرایند (۳۰-۵۵)

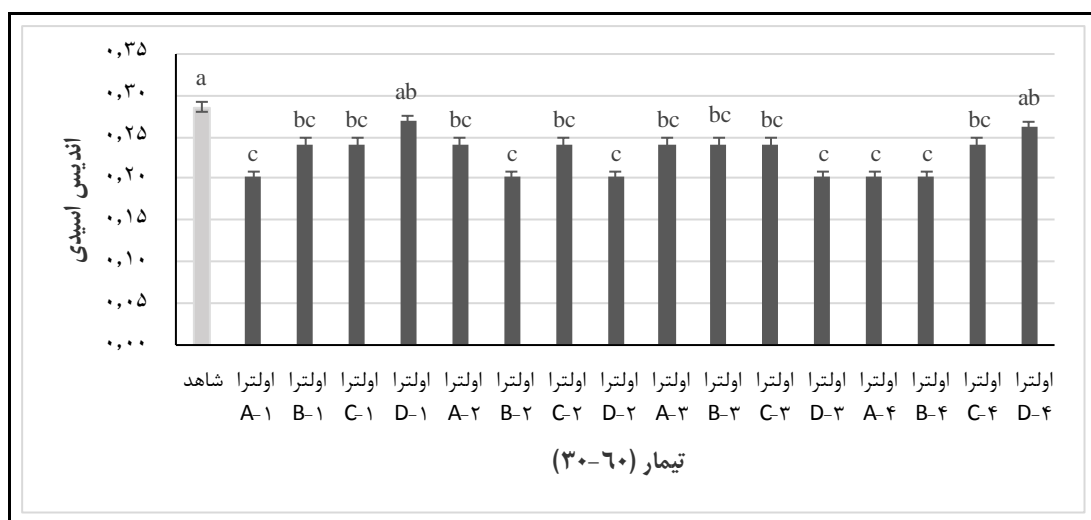
اسیدهای چرب	کلزای تصفیه شده به روش معمولی	کلزای تصفیه شده با اولتراسوند (۲۰-۴۰)	کلزای تصفیه شده با اولتراسوند (۳۰-۵۵)
اسید پالمیتیک (C16:0)	۴/۵۶	۳/۵۱	۴/۴۵
اسید پالمیتولئیک (C16:1)	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۱۸
اسید استئاریک (C18:0)	۱/۹۰	۱/۹۸	۱/۹۱
اسید اولئیک (C18:1)	۶۱/۹۵	۶۲/۲۰	۶۱/۸۸
اسید لینولئیک (C18:2)	۲۰/۷۷	۲۱/۴۴	۲۰/۲۸
اسید لینولئیک (C18:3)	۶/۱۱	۶/۴۵	۶/۰۴
اسید آراشیدونیک (C20:0)	۱/۵۴	۱/۶۲	۱/۶۱
سایر اسیدهای چرب	۲/۹۷	۲/۵۹	۳/۶۵

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا...

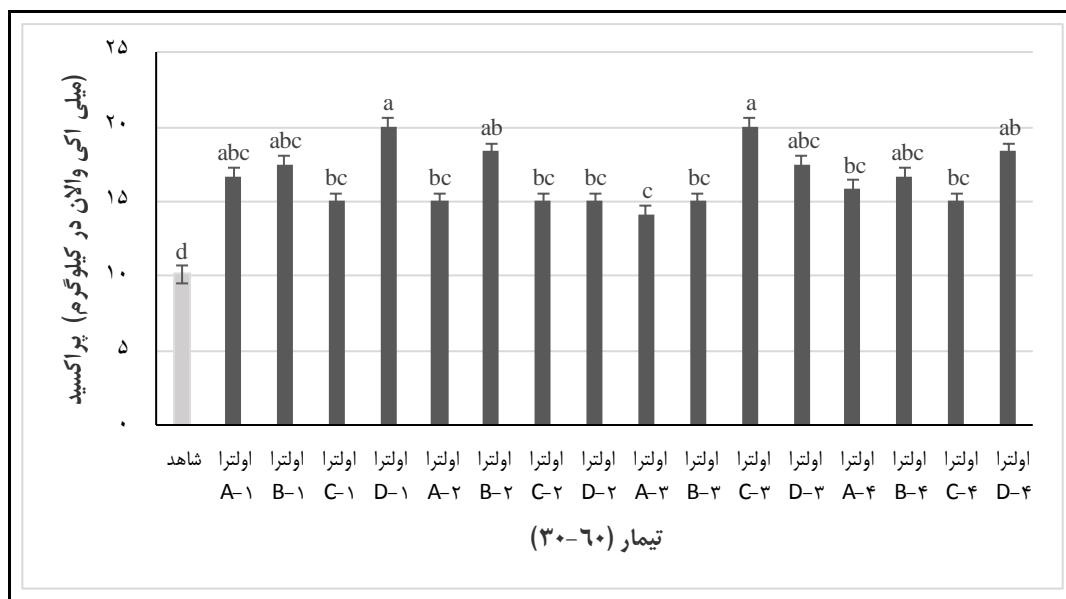
نمونه شاهد و اولتراسوند شده تقریباً برابر است و اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) باهم ندارند. تغییر نیافتن ترکیب اسیدهای چرب نشان می‌دهد امواج اولتراسوند می‌توانند بر خصوصیات شیمیایی روغن از جمله اسید چرب و پراکسید اثر داشته باشند و باعث تغییر مقادیر آنها در روغن شوند ولی قدرت این امواج حتی با وجود دمای بالای فرایند به حدی نیست که بتواند ترکیب اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده روغن و ساختار درونی و شیمیایی آن را تغییر دهد و از این نظر استفاده از این امواج در فرایند تصفیه مطلوب به نظر می‌رسد. مطابق با نتایج این تحقیق، محمود و همکاران (Mahmood *et al.*, 2016) و عباسی و همکاران (Abasi *et al.*, 2012) گزارش کرده‌اند که پس از صمغ‌گیری با امواج فراصوت، در ترکیب اسیدهای چرب روغن تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود.

ج- مرحله رنگ‌بری

جدول ۲ تغییرات ترکیب اسید چرب روغن کلزای خنثی‌شده به دو روش متداول و اولتراسوند را نشان می‌دهد. در این جدول، ترکیب و درصد اسیدهای چرب روغن کلزای خنثی‌شده به روش متداول با درصد اسید چرب روغن‌هایی مقایسه شده است که با کمترین دما (۴۰ درجه سلسیوس) و زمان (۲۰ دقیقه) و بیشترین دما (۵۵ درجه سلسیوس) و زمان (۳۰ دقیقه) تحت امواج فراصوت قرار گرفته‌اند (نمونه‌هایی که تحت کمترین دما و زمان فرایند بودند در مرحله صمغ‌گیری نیز تحت کمترین دما و زمان بودند و همین‌طور نمونه‌هایی که تحت بیشترین دما و زمان فرایند بودند در مرحله صمغ‌گیری نیز تحت بیشترین دما و زمان فرایند قرار گرفتند). همان‌طور که مشاهده می‌شود اولتراسوند در دو حالت کمترین و بیشترین دما و زمان فرایند هیچ تغییری در ترکیب و ساختار اسیدهای چرب ایجاد نمی‌کند و درصد اسیدهای چرب روغن کلزا در



شکل ۱۱- میزان اندیس اسیدی نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ دقیقه در مرحله رنگ‌بری نمونه‌های اولتراسوند شده در این مرحله، با دما و زمان مشخص شده با کدهای اولترا ۱، اولترا ۲، اولترا ۳ و اولترا ۴ در مرحله صمغ‌گیری اولتراسوند شدند و با زمان و دمای ۴۰-۲۰ (A)، ۴۰-۳۰ (B)، ۵۵-۲۰ (C) و ۵۵-۳۰ (D) در مرحله خنثی‌سازی اولتراسوند شدند. حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۱۲- میزان پراکسید نمونه‌های شاهد و اولتراسوند شده با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ دقیقه در مرحله رنگ‌بری نمونه‌های اولتراسوند شده در این مرحله، با دما و زمان مشخص شده با کدهای اولترا ۱، اولترا ۲، اولترا ۳ و اولترا ۴ در مرحله صمغ‌گیری اولتراسوند شدند و با دو زمان و دمای ۲۰-۴۰ (A)، ۳۰-۴۰ (B)، ۲۰-۵۵ (C) و ۳۰-۵۵ (D) در مرحله خنثی‌سازی اولتراسوند شدند. حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

اولتراسوند شده در این مرحله نسبت به مرحله قبل (خنثی‌سازی) به دلیل اثر امواج فراصوت بر روغن در حین رنگ‌بری است که باعث شکست بعضی از پیوندها در تری‌گلیسیرید و رهایی اسید چرب می‌شود. از طرفی، دمای به کار برده شده در این مرحله نسبتاً بالاست که این هم می‌تواند در شکست بعضی از پیوندها در روغن مؤثر باشد و افزایش اسیدیته را سبب شود (Bakhshabadi et al., 2016).

شکل ۱۲ نشان‌دهنده میزان پراکسید در نمونه‌های اولتراسوند شده و شاهد است. نمونه‌های خنثی‌شده اولتراسوند که با کدهای A (۲۰-۴۰)، B (۳۰-۴۰)، C (۲۰-۵۵) و D (۳۰-۵۵) مشخص شده‌اند، با دمای ۶۰ درجه و زمان ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت رنگ‌بری شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود پراکسید در تمام نمونه‌های اولتراسوند شده نسبت به نمونه شاهد با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) بیشتر است. در این مرحله نیز مانند مراحل قبلی،

شکل ۱۱ نشان‌دهنده اسید چرب آزاد در نمونه‌های شاهد و رنگ‌بری شده با امواج فراصوت است. نمونه‌های خنثی‌شده اولتراسوند شده که با کدهای A (۲۰-۴۰)، B (۳۰-۴۰)، C (۲۰-۵۵) و D (۳۰-۵۵) مشخص شده‌اند، با دمای ۶۰ درجه سلسیوس و زمان ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت رنگ‌بری شدند. همان‌طور که مشخص است، میزان اسید چرب آزاد در تمام نمونه‌های اولتراسوند شده (به جز دو نمونه اولترا ۱ و اولترا ۴) با اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) کمتر از میزان اسید چرب آزاد در نمونه شاهد است. دو نمونه اولترا ۱ و اولترا ۴ اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با نمونه شاهد ندارند. کمتر بودن اسید چرب آزاد در نمونه‌های اولتراسوند شده نسبت به نمونه شاهد ناشی از پشت سر گذاشتن مرحله قبل یعنی خنثی‌سازی با اولتراسوند است. هرچند به نظر می‌رسد افزایش جزئی اسیدهای چرب آزاد در نمونه‌های

تأثیر امواج فراصوت بر خصوصیات شیمیایی روغن کلزا...

تقریباً برابر با زمان استفاده شده در روش معمول و در عین حال با نتایج بهتر بود. در این تحقیق در مرحله صمغ‌گیری میزان پراکسید به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرد (البته باید در نظر داشت که روغن خام پراکسید بالایی داشت). بهترین دما و زمان برای صمغ‌گیری با اولتراسوند ۴۵ درجه سلسیوس و ۶۰ دقیقه است که اسید چرب آزاد و پراکسید در نمونه صمغ‌گیری شده در حداقل هستند. در مرحله خنثی‌سازی امواج اولتراسوند در ۴۰ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه سبب جذب حداکثر اسیدهای چرب آزاد به قلیا شده و در نتیجه باعث کاهش قابل توجه آنها نسبت به روش متداول می‌شود که نشان‌دهنده کفایت روش فراصوت در زمان کمتر فرایند خنثی‌سازی است. در این مرحله نیز میزان پراکسید نمونه‌های اولتراسوند شده به میزان چشمگیری کاهش پیدا کرده است که بعد از مرحله صمغ‌گیری روش مناسبی برای کاهش پراکسید است. در مرحله رنگ‌بری با توجه به نتایج اسپکتروفتومتر بهترین دما و زمان برای رنگ‌بری با اولتراسوند ۶۰ درجه سلسیوس و ۳۰ دقیقه است. امواج فراصوت بر جذب رنگدانه‌ها در سطح خاک رنگ‌بر اثر مثبت دارد و باعث جذب بیشتر رنگدانه‌ها در سطح خاک رنگ‌بر نسبت به روش متداول رنگ‌بری می‌شود. در این شرایط، اسید چرب آزاد و پراکسید نسبت به مرحله خنثی‌سازی تغییر چشمگیری نمی‌کنند. با وجود افزایش پراکسید در اثر کلویتاسیون، جذب ترکیبات پراکسید در خاک رنگ‌بر مانع از افزایش بیش از اندازه آن در روغن می‌شود. راندمان تصفیه با امواج فراصوت به دلیل خروج سریع‌تر و بیشتر ناخالصی‌ها از روغن، و در نتیجه کمتر قرار گرفتن روغن در معرض دمای بالا و آب (هنگام شستشوی روغن)، افزایش

روغن در هنگام استفاده از امواج فراصوت در معرض هوا قرار داشت که خود سبب اکسایش روغن می‌شود. همچنین، ایجاد کلویتاسیون در اثر امواج فراصوت و در نتیجه افزایش سطح تماس روغن و هوا اکسایش را بیشتر افزایش می‌دهد. بنابراین، افزایش پراکسید در نمونه‌های اولتراسوند شده نسبت به شاهد دور از انتظار نیست (Mahmood *et al.*, 2016). از طرفی، نمونه‌های اولتراسوند شده اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هم ندارند که به نظر می‌رسد به دلیل همپوشانی دما و زمان در دو مرحله قبل (صمغ‌گیری و خنثی‌سازی) برای نمونه‌های این مرحله است. تنها در نمونه‌های اولترا ۳-C، ۲-B، ۱-D و ۴-D میزان پراکسید به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) از نمونه اولترا ۳-A بیشتر است که ممکن است بر اثر افزایش دما یا زمان باشد. با توجه به اینکه پراکسید در اثر اکسایش حین رنگ‌بری افزایش پیدا می‌کند و ترکیبات پراکسید به وجود آمده در این مرحله می‌توانند جذب خاک رنگ‌بر شوند، به طور کلی مشاهده می‌شود در میزان پراکسید نمونه‌های اولترا در این مرحله نسبت به مرحله خنثی‌سازی تغییرات محسوسی رخ نمی‌دهد.

نتیجه‌گیری

تصفیه روغن با روش متداول فرایندی زمان‌بر است. استفاده از روش نوین فراصوت می‌تواند باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه فرایند طی زمان و حفظ کیفیت روغن شود و در عین حال تغییری در ترکیب روغن ایجاد نمی‌کند. در تحقیق حاضر، در هر مرحله اولتراسوند از دو زمان استفاده شده است، کمترین زمان استفاده شده کمتر از زمان استفاده شده در روش معمول و در عین حال با نتایج بهتر بود و بیشترین زمان استفاده شده در اولتراسوند

می‌یابد. با وجود هزینه اولیه نصب و راه‌اندازی زمان و کاهش افت روغن، به شرایط بهینه تولید تجهیزات، می‌توان زمان با صرفه‌جویی طی دست یافت.

قدردانی

از رئیس آزمایشگاه فایکولب پژوهشکده ژنتیک دانشگاه کشاورزی ساری و کارکنان شرکت کشت و صنعت شمال برای همکاری در اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- Abasi, R. Gharachorlo, M. Ghavami, M. and Asadi, GH. 2015. Application of ultrasonic waves in the process of coloring soy. *Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*. 2: 75-84 (In Persian)
- Akoh, C. C., and Min, D. B. 2002. Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology. *Annals of Microbiology*. 52(3): 354-356.
- Alouache, B. Khechena, F. K. Lecheb, F. and Boutkedjirt, T. 2015. Characterization of olive oil by ultrasonic and physico-chemical methods. *Physics Procedia*. 70:1061 – 1065.
- Asgari, S. Sahari, M. and Barzegar, M. 2017. Practical modeling and optimization of ultrasound-assisted bleaching of olive oil using hybrid artificial neural network-genetic algorithm technique. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*. 140:422-432.
- Bakhshabadi, H. Bozhmehrani, A. Rostami, M. Rashidzadeh, Sh. Dolatabadi, Z. and Shahinfar, R. 2016. Investigating the effect of operating parameters of the cooking pot during the extraction of soybean oil on an industrial scale on the chemical properties of the oil and its resulting meal, *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 9:100-109. (In Persian)
- Belitz, H. Grosch, W. and Schieberl, P. 2009. *J. Food Chemistry Springer*. 3: 162-245
- Boey, P. L., Ganesan, Sh. Maniam, G. and Hag Ali, D. 2011. Ultrasound aided in situ transesterification of crude palm oil adsorbed on spent bleaching clay. *Energy Conversion and Management*. 52(5):2081-2084.
- Chemat, F., Grondin, I., Sing, A. S. C. and Smadja, J. 2004. Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound. *Ultrasonic Sonochemistry*. 11(1):13-15.
- Chew, S. C., Tan, C. P., and Nyam, K. L. 2017. Optimization of neutralization parameters in chemical refining of kenaf seed oil by response surface methodology. *Industrial Crops and Products*. 95, 742-750.
- Doleschall, F. Kemeny, Z., Recseg, K. and Kóvári, K. 2002. A new analytical method to monitor lipid peroxidation during bleaching. *European journal of lipid science and technology*. 104(1), 14-18.
- Dumont, M. J., and Narine, S. S. 2008. Characterization of soapstock and deodorizer distillates of vegetable oils using gas chromatography. *Lipid Technology*. 20(6): 136-138.

- Ghazani, S. M., and Marangoni, A. G. 2013. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 90(7): 923-932.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2006. Oxidativ Resistance of Edible Oils and Fats. ISIRI No 3734. (In Persian).
- Jahouach-Rabai, W., Trabelsi, M., Van Hoed, V., Adams, A., Verhé, R., De Kimpe, N., and Frikha, M. H. 2008. Influence of bleaching by ultrasound on fatty acids and minor compounds of olive oil. Qualitative and quantitative analysis of volatile compounds (by SPME coupled to GC/MS). *Ultrasonics Sonochemistry*. 15(4): 590-597.
- Javanaud, C. and Rahalkar, R.R. 1988. Velocity of Sound in Vegetable Oils. *Lipid/Fett*. 90(2): 73-75.
- Jalili, F., Jafari, S. M., Emam-Djomeh, Z., Malekjani, N., Farzaneh, V. 2018. Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from canola seeds with the use of response surface methodology. *Food Analytical Methods*. 11(2): 598-612.
- Jiang, X., Chang, M., Wang, X., Jin, Q., and Wang, X. 2014. The effect of ultrasound on enzymatic degumming process of rapeseed oil by the use of phospholipase A1. *Ultrasonics Sonochemistry*. 21(1): 142-148.
- Kaynak, G., Ersoz, M., and Kara, H. 2004. Investigation of the properties of oil at the bleaching unit of an oil refinery. *Journal of colloid and interface science*. 280(1): 131-138.
- Mahmood-Fashandi. H., Ghavami, M., and Gharachorloo, M. 2016. Application of ultrasound in degumming of soybean and sunflower oils. *Journal of Food Research*. 26(1):13-21. (In Persian)
- Pokorny, J., Kalinova, L., and Dysseler, P. 1995. Determination of chlorophyll pigments in crude vegetable oils: Results of a collaborative study and the standardized method (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*. 67(10): 1781-1787.
- Shahidi, F. 2005. *Baileys Industrial Oil and Fat Products*. 6th Ed. Vo1, 2.5. Chichester. John Wiley and Sons.
- Ye, Y., and Martini, S. 2015. Application of high-intensity ultrasound to palm oil in a continuous system. *Journal of agricultural and food chemistry*. 63(1): 319-327.

The Effects of Ultrasonic Waves on Chemical Properties of Rapeseed Oil during Refining

R. Esmaeilzadehkenari* and N. Moshtagh

* Corresponding Author: Professor, Department of Food Industry Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: Reza_kenari@yahoo.com

Received: 23 October 2018, Accepted: 27 June 2021

<http://doi: 10.22092/fooder.2020.124185.1184>

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of ultrasonic waves, reducing the temperature and lowering the time in the refining of canola oil, compared to the conventional method. In this study, an ultrasonic bath was used for degumming, neutralizing and oil bleaching. The temperature of 45 and 65 °C and time of 30 and 60 min for degumming, the temperature of 40 and 55 °C and time of 20 and 30 min for neutralization of degumming oil, the temperature of 45 and 60 °C and time of 20 and 30 min for bleaching of neutralized oil were used. At all stages, an ultrasonic bath with 100 Watts power and a frequency of 20 kHz was used. The acid index, peroxide value, and fatty acid composition of oils were determined. The acid index did not change significantly ($p > 0.05$) in the degumming process, but the peroxide value was increased ($p < 0.05$). In the process of neutralizing with ultrasound, the free fatty acid content was significantly reduced ($p < 0.05$), but the peroxide index was increased ($p < 0.05$). In the bleaching process by ultrasound, the free fatty acids and peroxide levels did not increase significantly in this treatment. The combination of fatty acids did not change with the ultrasonic waves after three refining processes. Ultrasonic waves can be used as a safe method in the process of oil refining and do not affect the composition of oil fatty acids.

Keywords: Oil qualitative properties, Rapeseed oil, Ultrasonic waves.