



مقاله پژوهشی

امکان‌سنجی تولید سس مایونز بدون نگهدارنده به کمک فراصوت: بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی محصول در زمان نگهداری

روژین توکلی^۱، مصطفی کریمی^{۲*}، سمیرا بهرامیان^۳، آریو امامی^۴

۱. دانشجوی دکترای تخصصی، گروه آموزش علوم و صنایع غذایی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۲. دانشیار، گروه آموزشی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان

۳. استادیار، گروه آموزشی علوم و صنایع غذایی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۴. دانشیار، گروه آموزشی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۹)

چکیده

در این پژوهش اثر فراصوت با شدت ۲۰ KHz، قدرت ۷۵۰W و دمای ۲۰ °C به مدت ۵min بر سس مایونز کم چرب مورد مطالعه قرار گرفت، با این هدف که آیا و تا چه اندازه‌ای این اثر می‌تواند تغییراتی در اسیدهای چرب و اکسایش چربی آن ایجاد کند. پارامترهای اصلی اکسایش (پراکسید، اسیدپتیه روغن، تیوباریتوریک اسید، عدد توتوکس و پروفایل اسیدهای چرب) و همچنین ویژگی‌های حسی بر اساس آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای و آزمون پایداری امولسیون در دمای ۴ °C و در حالت تسریع شده در دمای ۵۰ °C در تیمارهای سس مایونز (فراصوت شده و بدون نگهدارنده)، (فراصوت نشده و بدون نگهدارنده) و (فراصوت نشده و با نگهدارنده) ۱، ۹۰ و ۱۸۰ روز بعد از تولید مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمام تیمارها دارای ثبات ظاهری مناسبی بودند و آثاری از جدا شدن روغن مشاهده نشد. نتایج آزمون کروماتوگرافی گازی بیانگر این بود که تیمار فراصوت مقادیر اسیدهای چرب پالمیتیک ۷/۳۳٪، آلفا لینولنیک ۲/۳۶٪ و استئاریک ۳/۹۱٪ و همچنین مقدار کل اسیدهای چرب چند غیراشباع روغن سویا ۵۸/۱۴۸٪ که به ترتیب در نمونه‌های شاهد (۹/۴۴٪، ۴/۸۱٪، ۴/۲۷٪، ۵۹/۰۹٪) بودند را به طور معناداری کاهش داده است و برعکس در نمونه‌های تیمار شده با فراصوت اسیدهای چرب اولئیک ۲۵/۲۶٪ و لینولئیک ۵۵/۹۱٪ در مقایسه با تیمارهای شاهد که به ترتیب ۲۲/۰۴۷٪ و ۵۳/۹۳٪ بودند افزایش یافت. همچنین تیمار فراصوت عدد پراکسید و عدد اسیدپتیه را افزایش داد بطوریکه در روز اول بیشترین مقدار پراکسید ۳/۵۴ meq O₂/kg oil در نمونه شاهد ۲/۲۶ meq O₂/kg oil بود و بیشترین مقدار اسیدپتیه روغن مایونز تیمار شده با فراصوت ۰/۱۸۹ که در نمونه شاهد ۰/۱۱۳ بود و این مقادیر طی زمان نگهداری افزایش پیدا کردند. در روز اول کمترین مقدار تیوباریتوریک اسید ۲۶/۰۳ و عدد توتوکس ۳۳/۱۱ که به عنوان نشان دهنده روند اکسایش کلی محصول، در تیمار فراصوت بود در مقایسه با تیمارهای شاهد که به ترتیب ۴۵/۱۳ و ۱۱۸/۸۳ بودند کاهش چشمگیری داشت این مقادیر با افزایش زمان نگهداری روند صعودی داشتند. در آزمون‌های حسی بیشترین امتیاز ۴ از نظر پذیرش کلی و بافت، با افزایش مدت زمان نگهداری مربوط به تیمار فراصوت بود.

واژه‌های کلیدی: مایونز کم چرب، فراصوت، اکسایش، پروفایل اسیدهای چرب، زمان نگهداری

۱. مقدمه

طرف دیگر امواج فراصوت قابلیت تغییر در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی را در مواد غذایی دارد [۱۱]. به دلایل محدودیت‌هایی که برای بنزوات سدیم ذکر شد، تولیدکنندگان مواد غذایی به دنبال یافتن جایگزین‌هایی مناسب برای بنزوات سدیم در مواد غذایی بوده‌اند. با این وجود، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص امکان‌سنجی جایگزینی بنزوات سدیم و سوربات پتاسیم با فراصوت در سس مایونز صورت نگرفته است. از طرفی تغییرات پروفایل لیپیدی با افزایش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی رابطه مستقیم و قوی دارد [۱۲]. طی چند دهه گذشته، کاهش مصرف چربی، عمده‌ترین توصیه تغذیه‌ای برای کاهش احتمال ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی بوده است، اما مطالعات زیادی اخیراً نشان داده که نوع چربی مصرفی اهمیت بیشتری نسبت به مقدار چربی مصرف شده دارد [۱۳]. فرآیند اکسایش یک فرایند نامطلوب است که ممکن است در هنگام تولید و یا در مدت زمان نگهداری اتفاق بیفتد، بنابراین پایداری اکسایش در ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی حیاتی است [۱۴]. پژوهش‌های زیادی در مورد اثر فراصوت با قدرت بالا بر روی میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌ها و ترکیبات مواد غذایی مانند پروتئین‌ها و نشاسته انجام شده است [۱۵، ۱۶]، اما در مورد شکستن لیپیدها و اکسایش مواد غذایی توسط فراصوت تحقیقات بسیار کمی انجام شده است [۱۷]؛ بنابراین نگرانی اصلی در استفاده از فراصوت با شدت بالا، افزایش سرعت تخریب روغن در مواد غذایی است [۱۸]. در راستای این تحقیق اثر فراصوت بر میکروارگانیسم‌های سس مایونز کم چرب با هدف حذف نگهدارنده‌های آن انجام شد که نتایج، بسیار اثر بخش بود، فرایند فراصوت بر ویژگی‌های روغن سس مایونز کم چرب است لذا در این مطالعه تأثیر فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی سس مایونز کم چرب مورد بررسی قرار گرفت تا در کنار نتایج مؤثر آن بر کاهش بار میکروبی تأثیر آن به ویژه بر چربی سس مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. تهیه مواد اولیه

تولید سس مایونز کم چرب با همکاری شرکت صنایع

نگهدارنده‌ها موادی هستند که پس از افزودن به مواد غذایی، از تغییرات نامطلوب و فساد آن‌ها که به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌گردد جلوگیری کرده و باعث افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌شوند [۱]. به‌طور متداول، به منظور ایجاد پایداری میکروبی در سس‌ها، از مواد نگهدارنده شیمیایی نظیر سوربات پتاسیم و بنزوات سدیم استفاده می‌شود. طی تحقیقات انجام شده در ارتباط با عوارض ناشی از مصرف بنزوات سدیم در جنین موش‌های صحرایی، افزایش مرگ و میر جنین، ناهنجاری مادرزادی در ستون مهره‌ها و سلول‌های شبکه چشم، نواقص جنینی در ناحیه مغز و صورت، تغییرات مخرب در سلول‌های کبدی و کلیوی، بی‌نظمی در سیستم عصبی و تغییر سلول‌های مغزی مشاهده شده است [۲-۳]. در سال‌های اخیر استفاده از سس‌ها به عنوان چاشنی در بهبود عطر و طعم، مزه، رنگ و به عنوان عامل اشتهاآور در کنار غذاها، بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ بنابراین ارتقاء سطح سلامت و کیفیت این فرآورده از اهداف تولیدکنندگان می‌باشد [۴]. در سس‌ها انواع اصلی فساد شامل جدا شدن امولسیون، اکسایش و هیدرولیز روغن از طریق عوامل شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین تولید گاز و طعم نامطلوب در اثر رشد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد [۵]. از جمله روش‌هایی که امروزه برای تهیه امولسیون‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند، استفاده از امواج فراصوت می‌باشد. در صنایع غذایی تولید امولسیون توسط امواج فراصوت برای محصولاتمانند آبمیوه، مایونز و کچاب [۶]، هموژن کردن شیر [۷] و ریزپوشانی کردن طعم [۸] بکار برده شده است. مزایای استفاده از این روش در تولید امولسیون، مصرف انرژی کمتر، استفاده از مقادیر کمتر امولسیفایر و تولید امولسیون یکنواخت‌تر با اندازه قطرات کوچک‌تر نسبت به روش‌های مکانیکی است [۹]. هر چه اندازه قطرات یک امولسیون کوچک‌تر باشد، پایداری آن در برابر ته‌نشینی یا خامه‌ای شدن افزایش می‌یابد؛ زیرا با کوچک شدن اندازه قطرات، تأثیر نیروی جاذبه و حرکت براونی کاهش پیدا کرده و در نتیجه احتمال فلوک‌های شدن و بهم‌پیوستن آن‌ها به میزان قابل توجهی کم می‌شود [۱۰]. از

مورد استفاده ۱۳/۵ mm و عمق نفوذ ۵۰mm است. برای جلوگیری از افزایش دمای نمونه طی فراصوت، از حمام آب یخ استفاده شد و هر بار از اتانول ۷۰٪ برای استریل کردن محیط درونی اتاقک دستگاه استفاده گردید. کلیه نمونه‌ها کدگذاری و در یخچال در دمای ۴ °C نگهداری شدند [۱۹].

۴.۲. استخراج روغن

مخلوطی از حلال‌های کلروفرم و متانول به نسبت ۱:۱ به نمونه سس اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۱ دقیقه در ۵۰۰ rpm روی همزن قرار گرفت. سپس ۱ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. حلال در بالا و روغن در قسمت پایین قرار گرفت، سپس حلال از قسمت فوقانی حذف شده و فاز روغن در قسمت پایین جمع‌آوری شد، مقدار حلال ناچیز باقی مانده در روغن توسط اواپراتور تحت خلاء بخار شد تا روغن خالص به دست آید [۲۰].

۵.۲. ویژگی‌های فیزیکی و فیزیکی

۱.۵.۲. پایداری فیزیکی و حرارتی

در این پژوهش، جهت اندازه‌گیری پایداری فیزیکی، ۱۵g نمونه درون لوله‌های سانتریفیوژ توزین شد (F_0) و لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند. پس از این مرحله لایه روغن تشکیل شده در سطح جدا شده و دور ریخته می‌شود و نمونه مجدداً توزین می‌گردد (F_1). پایداری امولسیون بر حسب درصد با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود [۲۱].

$$(۱) \quad (\%) = (F_1 / F_0) \times 100$$

که در این رابطه، (F_0) وزن اولیه نمونه و (F_1) وزن نمونه پس از سانتریفیوژ و جدا شدن لایه رویی روغن می‌باشد. جهت تعیین ثبات مایونز در برابر حرارت، مراحل قبل تکرار و نمونه‌ها قبل از سانتریفیوژ، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰°C قرار داده شد و سپس با سرعت ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. ثبات مایونز در برابر حرارت نیز با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد [۲۱].

۲.۵.۲. تعیین پروفایل اسیدهای چرب

با دستگاه کروماتوگرافی گازی شیمادزو مدل

غذایی سحر همدان صورت گرفت. کلیه مواد اولیه برای تهیه مایونز از خط تولید سس مایونز کارخانه دریافت شد. کلیه نمونه‌ها در پایلوت تحقیق و توسعه کارخانه توسط دستگاه هموژنایزر تحت خلاء آزمایشگاهی (پارسیان طرح سینا) ساخت کشور ایران تهیه شد.

۲.۲. فرمولاسیون نمونه‌های مایونز

روغن مایع سویا (۲۱٪)، تخم مرغ کامل (۱/۴۷٪) با نسبت سفیده به زرده ۶۰ به ۴۰، آب (۵۹/۰۲٪)، شکر (۴/۶۵٪)، نمک (۱/۹٪)، پودر خردل (۰/۵٪)، سرکه (۰/۵٪)، اسید سیتریک (۰/۱۳٪)، گوار (۰/۵٪)، کربوکسی متیل سلولز (۰/۵٪)، گزانتان (۰/۲٪)، سوربات پتاسیم (۰/۳۷٪)، نشاسته (۳/۹۱٪) و بنزوات سدیم (۰/۳۷٪)، آلبیمو (۰/۴۸٪). در این تحقیق از دو نوع فرمولاسیون برای نمونه‌های شاهد استفاده شد:

۱- نمونه‌های شاهدی که در فرمولاسیون آنها از نگهدارنده‌های سوربات پتاسیم و بنزوات سدیم استفاده شده است (مانند فرمولاسیون کارخانه)

۲- نمونه‌های شاهدی که در فرمولاسیون آنها هم نگهدارنده‌ها حذف شدند و هم روی آنها فرایند فراصوت انجام نشد. در واقع فرمولاسیون نمونه‌های شاهد دو سوپه یا دو طرفه بود.

در نمونه‌هایی که نگهدارنده حذف شد، به میزان درصد آنها به مقدار آب اضافه شد. تهیه مایونز در دستگاه هموژنایزر تحت خلاء به مدت ۱۳ دقیقه انجام شد تا بافت کاملاً یکنواختی ایجاد شود. پس از کامل شدن مراحل تولید و پر کردن در ظروف شیشه‌ای (۲۵۰g) بسته‌بندی و با درب فلزی پلمپ شدند.

۳.۲. فرآیند فراصوت

نمونه‌های مایونز در دستگاه هموژنایزر فراصوت مدل (JY92-IIDN, Co. Ltd., Ningbo) ساخت کشور چین که پروب آن از قبل اتوکلاو شده بود منتقل شده و هر نمونه به مدت ۵ min با فرکانس ۲۰ KHz، قدرت ۷۵۰W و دمای ۲۰°C تحت فرایند فراصوت قرار گرفت. قطر پروب تیتانیوم

SGE-BPX70 ساخت کشور ژاپن، پروفایل اسیدهای چرب اندازه‌گیری شد. بدین صورت که ۰/۵ g روغن استخراج شده را با ۷ml N هگزان حل کرده، سپس ۴ml پتاس متانولی اشباع به آن اضافه شده و در داخل بن ماری °C ۴۹ به مدت ۱۰ دقیقه قرار دادیم تا فاز صابونی تشکیل شود. بعد از گذشت این زمان، از فاز رویی که شامل N هگزان و اسید چرب است ۱ میکرولیتر با سرنگ مخصوص برداشته و به دستگاه تزریق کرده و سپس پروفایل اسیدهای چرب تحلیل شد [۲۲].

۳.۵.۲. عدد پراکسید

تعیین عدد پراکسید نمونه‌های روغن استخراج شده از مایونز مطابق روش AOCs به شماره Cd8-53 [۲۳] انجام گرفت و نتایج برحسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم روغن گزارش شد.

۴.۵.۲. اسیدیته روغن

تعیین عدد اسیدی نمونه‌های روغن استخراج شده از مایونز مطابق روش AOCs به شماره Cd3d-63 [۲۳] انجام گرفت و نتایج برحسب درصد اسید اولئیک روغن گزارش شد.

۵.۵.۲. اندیس تیوباربتوریک اسید

میزان ۲۰۰ mg روغن را داخل یک بالن حجمی ۲۵ ml ریخته و با ۱-بوتانول به حجم ۲۵ ml رسانده سپس ۵ ml از محلول نمونه را به یک لوله آزمایش خشک انتقال داده و ۵ml محلول واکنشگر را به آن اضافه کرده سپس لوله آزمایش را به مدت ۲ ساعت در بن ماری °C ۹۵ درجه قرار داده و میزان جذب محلول را در یک سل ۱۰ ml در طول موج ۵۳۰nm با استفاده از آب مقطر به عنوان شاهد اندازه گرفته و از رابطه (۲) برای محاسبه استفاده شد [۲۴].

$$(2) \quad \text{میزان جذب } 50 \times \frac{\text{عدد تیوباربتوریک اسید}}{\text{وزن نمونه}}$$

۶.۵.۲. محاسبه عدد توتوکس

برای محاسبه عدد توتوکس برحسب اسید تیوباربتوریک

اسید از رابطه (۳) استفاده شد [۲۵].

$$(3) \quad \text{اسید تیوباربتوریک} + (\text{عدد پراکسید} \times 2) = \text{عدد توتوکس}$$

۶.۲. آزمون حسی

خصوصیات ارگانولپتیکی سس مایونز بر اساس روش هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام شد که در این میان گزینه خیلی خوب دارای امتیاز ۵ و گزینه بد دارای امتیاز ۱ بود. امتیازهای داده شده توسط ۳۰ نفر ارزیاب آموزش دیده پس از ثبت شدن با نرم افزار مورد آزمون نرمال بودن قرار گرفتند و مشخص شد که داده‌های حسی این آزمایش نرمال نبودند، بنابراین از انجام عملیات آمار پارامتری تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون‌های معمول (مانند توکی و...) خودداری گردید و داده‌های حسی تحت عملیات آنالیز با آمار غیرپارامتری قرار گرفته و بدین منظور داده‌های حسی با آزمون غیرپارامتریک فریدمن مورد آنالیز قرار گرفتند [۲۶].

۷.۲. آنالیز آماری

این پژوهش بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- نمونه فراصوت شده بدون نگهدارنده ۲- نمونه بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۳- نمونه با نگهدارنده و بدون فراصوت (شاهد) بود که در سه مرحله زمانی (تاریخ انقضاء سس مایونز شش ماه است)، شامل ابتدای آزمایش (روز اول)، مراحل میانی (روز ۹۰) و مرحله پایانی (روز ۱۸۰) پارامترهای فیزیکیوشیمیایی و حسی اندازه گیری شد. داده‌های گردآوری شده در طول دوره آزمایش توسط نرم افزار آماری Minitab ورژن ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌های صفات با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون فیشر (LSD) انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. پایداری امولسیون در دمای °C ۴

امولسیون پایدار، به امولسیونی اطلاق می‌شود که هم آمیختگی، رونشینی و خامه‌ای شدن در آن رخ ندهد. پدیده خامه‌ای شدن در نمونه‌های سس مایونز پرچرب که حاوی مقادیر بالای روغن هستند کم‌تر اتفاق می‌افتد، به این دلیل

دست می‌داد. در طول دوره نگهداری هیچ گونه روغن زدگی در سطح هیچکدام از نمونه‌های سس مشاهده نشد (شکل ۱) که نشان دهنده‌ی پایداری مطلوب نمونه‌های تهیه شده می‌باشد.

که قطرات روغن به شدت با یکدیگر تماس داشته و اصطکاک حاصل بین آن‌ها مانع از خامه‌ای شدن می‌گردد. مایونز کم چرب دارای ویسکوزیته پایینی است. به همین دلیل امکان خامه‌ای شدن در دمای یخچال به عنوان شاخصی از فساد فیزیکی وجود داشت و در این صورت مقبولیت خود را از



شکل (۱) پایداری امولسیون در دمای ۴°C

Fig 1. Emulsion stability at 4°C

تغییر در فرمول سس مایونز در این امر به میزان زیادی دخیل خواهد بود. علاوه بر اندازه ذرات و اختلاف دانسیته اجزای فرمول، دو عامل مهم دیگر در پایداری امولسیون، گرانی و فشرده بودن ذرات امولسیون هستند که تأثیری بسزا در پایداری سس مایونز دارند [۲۷].

۳.۲. پایداری امولسیون در دمای ۵۰°C

یکی از شاخص‌های مهم در مورد سس مایونز پایداری امولسیونی در دماهای بالا است. نتایج آزمون پایداری در دمای تسریع ۵۰°C نشان داد که در هیچ کدام از تیمارها اثر روغن زدگی حتی در روز ۱۸۰ وجود نداشت (شکل ۲).



شکل (۲) پایداری امولسیون در دمای ۵۰°C

Fig1. Emulsion stability at 50°C

جدول (۱) علائم اختصاری مورد استفاده برای تیمارهای مختلف

Table 1. Symbols used for different treatments

علامت اختصاری Symbol	تیمار Treatment
Control	شاهد (با نگهدارنده و بدون فراصوت) Control (With preservatives and without ultrasonication)
W	بدون نگهدارنده و بدون فراصوت Without preservatives and without ultrasonication
US	بدون نگهدارنده و تیمار شده با فراصوت Without preservatives and with ultrasonication

و (۹/۸۳ - ۰/۷/۳۳)، اسید آلفا لینولنیک (۰/۲/۰۴ - ۵/۰۴) و اسید استئاریک (۰/۳/۶۶ - ۴/۲۷) قرار دارند. از طرفی دیگر، اسیدهای چرب جزئی (کمتر از ۰/۲) اسید میریستیک، پالمیتولئیک، مارگاریک، آراشیدونیک، اروسیک و لیگنوسریک تغییرات جزئی و نامنظم می‌یافتند. پروفایل‌های مورد مطالعه در همه تیمارها مطابق با مقالات محققین و الزامات قانونی و استاندارد ملی ایران بود [۲۸، ۲۹].

۳.۳. ساختار اسیدهای چرب روغن سویای استخراج شده از سس مایونز کم چرب
ساختار اسید چرب روغن سویای استخراج شده از مایونز در (جدول ۲) نشان داده شده است. در همه تیمارها بیش از ۵۰٪ اسیدهای چرب روغن سویا را اسید لینولئیک تشکیل داده است. در بین اسیدهای چرب در همه تیمارها در طی زمان نگهداری، اسید اولئیک دومین فراوانی را به خود اختصاص می‌دهد (۰/۲۲/۰۴ - ۲۷/۲۴) و به دنبال آن اسید پالمیتیک

جدول (۲) مقایسه میانگین‌های تیمارها در زمان‌های متفاوت از لحاظ پروفایل اسیدهای چرب (%) سس مایونز کم چرب
Table 2. Comparison of mean of treatments at different times in terms of Fatty acid profile (%) of low-fat mayonnaise

روز ۱۸۰ Day180	روز ۹۰ Day90	روز ۱ Day1	اسید چرب Fatty acid
0.074±0.009 ^{Aa} 0.072±0.0026 ^{Aa} 0.080±0.010 ^{Aa}	0.078±0.009 ^{Aa} 0.076±0.002 ^{Aa} 0.073±0.002 ^{Aa}	0.072±0.003 ^{Aa} 0.071±0.002 ^{Ba} 0.073±0.007 ^{Aa}	اسید میریستیک (C14:0) <i>Myristic acid (C14:0)</i> Control W US
9.83±0.01 ^{Aa} 9.69±0.02 ^{Ab} 7.73±0.01 ^{Ac}	9.60±0.04 ^{Ba} 9.52±0.01 ^{Bb} 7.59±0.01 ^{Bc}	9.44±0.010 ^{Ca} 9.4 ±0.001 ^{Ca} 7.33±0.010 ^{Cb}	اسید پالمیتیک (C16:0) <i>Palmitic acid (C16:0)</i> Control W US
0.980±0.010 ^{Aa} 0.961±0.003 ^{Aa} 0.115±0.001 ^{Bb}	0.951±0.008 ^{Ba} 0.952±0.002 ^{Ba} 0.118±0.001 ^{Ab}	0.948±0.001 ^{Ba} 0.948±0.001 ^{Ba} 0.115±0.001 ^{Bb}	اسید پالمیتولئیک (C16:1) <i>Palmitoleic acid (C16:1)</i> Control W US
0.086±0.003 ^{Ab} 0.091±0.002 ^{Aa} 0.053±0.001 ^{Bc}	0.088±0.004 ^{Aa} 0.087±0.001 ^{Ba} 0.060±0.001 ^{Ab}	0.082±0.004 ^{Ab} 0.085±0.001 ^{Ba} 0.058±0.001 ^{Ac}	اسید مارگاریک (C17:0) <i>Margaric acid (C17:0)</i> Control W US

4.168±0.001 ^{Ba} 4.160±0.020 ^{Ba} 3.660±0.070 ^{Cb}	4.194±0.04 ^{Bb} 4.290±0.04 ^{Aa} 3.838±0.01 ^{Cc}	4.27±0.010 ^{Aa} 4.25±0.040 ^{Ab} 3.91±0.009 ^{Ca}	اسید/استئاریک (C18:0) <i>Stearic acid</i> (C18:0) Control W US
24.227±0.11 ^{Ac} 24.740±0.04 ^{Ab} 27.240±0.09 ^{Aa}	23.292±0.130 ^{Bc} 23.560±0.050 ^{Bb} 26.210±0.010 ^{Ba}	22.047±0.003 ^{Cc} 23.040±0.004 ^{Cb} 25.260±0.003 ^{Ca}	اسید/ولئیک (C18:1) <i>Oleic acid</i> (C18:1) Control W US
54.29±0.02 ^{Ab} 54.37±0.14 ^{Ab} 56.94±0.3 ^{Ca}	54.01±0.14 ^{Bb} 54.03±0.03 ^{Bb} 56.55±0.08 ^{Ca}	53.93±0.05 ^{Bb} 53.97±0.01 ^{Bb} 55.91±0.03 ^{Ca}	اسید لینولئیک (C18:2) <i>Linoleic acid</i> (C18:2) Control W US
0.39 ±0.002 ^{Ca} 0.39 ±0.003 ^{Ca} 0.20±0.001 ^{Bb}	0.44±0.030 ^{Ba} 0.40±0.003 ^{Ba} 0.27±0.050 ^{Ab}	0.51±0.001 ^{Aa} 0.48±0.001 ^{Ab} 0.31±0.004 ^{Ac}	اسید گاما لینولئیک (C18:3) <i>Linolenic acid</i> (C18:3) Control W US
5.04±0.05 ^{Aa} 5.03 ±0.03 ^{Aa} 2.13±0.03 ^{Ab}	5.02±0.05 ^{Aa} 4.89±0.26 ^{Aa} 2.11±0.07 ^{Ab}	4.81±0.01 ^{Ba} 4.10±0.01 ^{Bb} 2.04±0.01 ^{Ac}	اسید آلفا لینولئیک (C18:3) <i>Alpha Linolenic acid</i> (C18:3) Control W US
0.401±0.005 ^{Aa} 0.40±0.005 ^{Aa} 0.209±0.007 ^{Ab}	0.394±0.009 ^{Aa} 0.387±0.010 ^{Aa} 0.204±0.007 ^{Ab}	0.356±0.001 ^{Ba} 0.347±0.010 ^{Bb} 0.195±0.001 ^{Bc}	اسید آراشیدونیک (C20:0) <i>Arachidonic acid</i> (C20:0) Control W US
0.210 ±0.010 ^{Ba} 0.219±0.010 ^{Ba} 0.215±0.002 ^{Aa}	0.221±0.001 ^{Bb} 0.23±0.004 ^{Ba} 0.22±0.005 ^{Ab}	0.30 ±0.001 ^{Aa} 0.24±0.005 ^{Ab} 0.25±0.041 ^{Ab}	اسید/روسیک (C22:0) <i>Erucic acid</i> (C22:1) Control W US
0.15±0.007 ^{Ab} 0.15±0.007 ^{Ab} 0.19±0.010 ^{Ba}	0.13±0.007 ^{Bc} 0.15±0.003 ^{Ab} 0.21±0.011 ^{Aa}	0.13±0.001 ^{Bb} 0.13±0.003 ^{Bb} 0.18±0.003 ^{Ba}	اسید لیگنوسریک (C24:0) <i>Lignoceric acid</i> (C24:0) Control W US

اعداد واقع در هر ردیف با حروف متفاوت بزرگ و در هر ستون با حروف متفاوت کوچک بر اساس آزمون فیشر (LSD) دارای تفاوت آماری معنی دار هستند ($P < 0.01$).

Numbers in each row with different capital letters and in each column with different small letters based on Fisher's exact test (LSD) showed a statistically significant difference ($P < 0.01$).

میانگین اعداد ± انحراف معیار
Means ± standard deviation

بررسی اسیدهای چرب غالب مذکور در طی فرآیند از اهمیت بیشتری برخوردار است. کمترین مقدار اسید پالمیتیک مربوط به تیمار فراصوت شده بود ۷/۳۳٪ که این مقدار در طی مدت زمان نگهداری افزایش یافت ۷/۷۳٪ و مقدار اسید پالمیتیک تیمار فراصوت نشده و بدون نگهدارنده ۹/۴۴٪ تفاوت معناداری با تیمار شاهد (بانگهدارنده و بدون فراصوت)

و استتاریک روغن سویای استخراج شده از مایونز کم چرب را کاهش داد. بیشترین مقدار اسید اولئیک ۲۵/۲۶٪ در بین تیمارها در روز اول مربوط به تیمار فراصوت شده بود و کمترین مقدار ۲۲/۰۴۷٪ مربوط به تیمار شاهد بود. در طی مدت زمان نگهداری، مقدار اسید اولئیک در همه تیمارها به ترتیب در نمونه شاهد ۲۴/۲۲٪، در تیمار بدون فراصوت و بدون ماده نگهدارنده ۲۴/۷۴٪ و در تیمار فراصوت شده ۲۷/۲۴٪ افزایش یافت. همچنین در روز اول تیمار فراصوت بیشترین مقدار اسید لینولئیک ۵۵/۹۱٪ را داشت و تفاوت معناداری با نمونه‌های شاهد ۵۳/۹۳٪ و تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۵۳/۹۰٪ دارد. طی زمان نگهداری، اسید لینولئیک همه تیمارها به ترتیب شاهد ۵۴/۲۹٪، بدون فراصوت و بدون ماده نگهدارنده ۵۴/۳۷٪ و فراصوت شده ۵۶/۹۴٪ افزایش یافت. بدین ترتیب تیمار با فراصوت، مقدار اسید اولئیک و لینولئیک روغن سویا را افزایش داد.

نداشت. ۹/۴۴٪ طی زمان نگهداری این مقادیر به ترتیب به ۹/۶۹٪ و ۹/۸۳٪ افزایش یافت که با تیمار فراصوت شده تفاوت معناداری داشتند. همچنین بیشترین مقدار اسید آلفالینولئیک در روز اول در نمونه شاهد ۴/۸۱٪ و در نمونه بدون فراصوت و بدون ماده نگهدارنده ۴/۱۰٪ بود. این دو تیمار با تیمار فراصوت شده تفاوت معنادار داشتند و کمترین مقدار اسید آلفا لینولئیک در روز اول مربوط به تیمار فراصوت شده به میزان ۲/۳۶٪ بود. در تمامی تیمارها در طی مدت زمان نگهداری مقادیر اسید آلفا لینولئیک به ترتیب (۵/۰۴٪، ۵/۰۳٪، ۲/۱۳٪) افزایش یافت. بیشترین مقدار اسید استتاریک در روز اول مربوط به نمونه‌های شاهد ۴/۲۷٪ و نمونه‌های بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۴/۲۵٪ بود که با نمونه‌های فراصوت شده که کمترین مقدار اسید استتاریک را در روز اول داشتند (۳/۹۱٪) تفاوت معناداری مشاهده شد. در طی مدت زمان نگهداری مقدار اسید استتاریک تمامی تیمارها به ترتیب (۴/۱۶٪، ۴/۱۶٪ و ۳/۶۶٪) کاهش یافت. بدین ترتیب تیمار با فراصوت، اسید پالمیتیک، آلفا لینولئیک

جدول (۳) مقایسه میانگین تیمارها در زمان‌های متفاوت از لحاظ پروفایل اسیدهای چرب کلی (٪) سس مایونز کم چرب

Table 3. Comparison of mean of treatments at different times in terms of main fatty acid profile (%) of low-fat mayonnaise.

روز ۱۸۰ Day180	روز ۹۰ Day90	روز ۱ Day1	اسیدهای چرب کلی Main fatty acids
14.804±0.012 ^{Aa} 14.690±0.050 ^{Aa} 12.119±0.04 ^{Bb}	14.696±0.033 ^{Ba} 14.693±0.017 ^{Aa} 11.988±0.079 ^{Ab}	14.535±0.018 ^{Ca} 14.472±0.016 ^{Bb} 11.877±0.027 ^{Cc}	اسید چرب اشباع Saturated fatty acids Control W US
25.417±0.100 ^{Ab} 25.630±0.441 ^{Ab} 27.570±0.096 ^{Aa}	24.401±0.135 ^{Bc} 24.741±0.050 ^{Bb} 26.550±0.108 ^{Ba}	23.297±0.003 ^{Cc} 24.23±0.006 ^{Bb} 25.63±0.040 ^{Ca}	اسید چرب تک غیر اشباع Mono-Unsaturated fatty acids Control W US
59.738±0.132 ^{Aab} 59.809±0.110 ^{Aa} 59.270±0.372 ^{Ab}	59.416±0.191 ^{Ba} 59.315±0.313 ^{Bab} 58.890±0.165 ^{Ab}	59.099±0.055 ^{Ca} 58.417±0.022 ^{Cb} 58.148±0.149 ^{Bc}	اسید چرب چند غیر اشباع Poly-Unsaturated fatty acids Control W US
85.100±0.177 ^{Ab} 85.445±0.340 ^{Ab} 86.840±0.320 ^{Aa}	83.877±0.20 ^{Bb} 84.062±0.35 ^{Bb} 85.451±0.05 ^{Ba}	82.397±0.070 ^{Cb} 82.657±0.027 ^{Cb} 83.780±0.080 ^{Ca}	اسید چرب غیر اشباع Unsaturated fatty acid Control W US

4.035±0.007 ^{Bc} 4.071±0.010 ^{Ab} 4.940±0.010 ^{Aa}	4.043±0.022 ^{ABb} 4.036±0.010 ^{Bb} 4.850±0.020 ^{Ba}	4.065±0.004 ^{Ab} 4.036±0.004 ^{Bc} 4.890±0.001 ^{Ba}	اسید چرب چند غیر اشباع / اسید چرب اشباع Poly Unsaturated fatty acids/ Saturated fatty acids Control W US
5.75±0.01 ^{Ac} 5.81±0.02 ^{Ab} 7.24±0.03 ^{Aa}	5.70±0.03 ^{Bb} 5.72±0.01 ^{Bb} 7.05±0.03 ^{Ba}	5.66±0.005 ^{Bc} 5.71±0.005 ^{Bb} 7.05±0.010 ^{Ba}	اسید چرب غیر اشباع / اسید چرب اشباع Unsaturated fatty acids/ Saturated fatty acids Control W US
0.42 ±0.002 ^{Ab} 0.42±0.008 ^{Ab} 0.480±0.004 ^{Aa}	0.41 ±0.002 ^{Bc} 0.41±0.001 ^{Bb} 0.465±0.002 ^{Ba}	0.39 ±0.0004 ^{Cb} 0.41±0.0006 ^{Bb} 0.45±0.0004 ^{Ca}	اسید چرب تک غیر اشباع / اسید چرب چند غیر اشباع Mono Unsaturated fatty acids/ Poly Unsaturated fatty acids Control W US
0.473 ±0.009 ^{Ab} 0.467±0.005 ^{Ab} 0.536±0.003 ^{Aa}	0.309 ±0.037 ^{Bb} 0.281±0.005 ^{Bb} 0.397±0.042 ^{Ba}	0.113 ±0.001 ^{Cb} 0.112±0.003 ^{Cb} 0.189±0.005 ^{Ca}	اسید چرب آزاد (اسیدیته روغن برحسب اسید اولئیک) Free fatty acids (Acidity of oil (% oleic acid)) Control W US

اعداد واقع در هر ردیف با حروف متفاوت بزرگ و در هر ستون با حروف متفاوت کوچک بر اساس آزمون فیشر (LSD) دارای تفاوت آماری معنی دار هستند ($P < 0.01$).

Numbers in each row with different capital letters and in each column with different small letters based on Fisher's exact test (LSD) showed a statistically significant difference ($P < 0.01$).

میانگین اعداد ± انحراف معیار
Means ± standard deviation

فراصوت شده ۱۲/۱۱٪ بیشتر شد. بیشترین مقدار اسیدهایی چرب تک غیراشباع در روز اول مربوط به تیمار فراصوت ۲۵/۶۳٪ و کمترین مقدار در نمونه شاهد ۲۳/۲۹٪ بود که با گذشت زمان در همه تیمارها مقدار آن افزایش پیدا کرد. محققین نشان دادند که مقدار اسید چرب چند غیراشباع از مهمترین عوامل در حساسیت به اکسایش محسوب می‌گردد [۳۰-۳۳]. همچنین وجود مقدار زیاد اسید چرب چند غیراشباع در ساختارتری گلیسریدها منجر به کاهش مدت زمان نگهداری می‌شود [۳۴]. کمترین مقدار اسید چرب چند غیراشباع در روز اول ۵۸/۱۴۸٪ مربوط به تیمار فراصوت می‌باشد، این بدان معنا است که در اثر فراصوت، تعداد پیوندهای دوگانه در اسیدهایی چرب چند غیراشباع ۱۸ کربنه کاهش و مقدار اسید چرب تک غیراشباع خصوصاً اسید اولئیک افزایش یافت. نتایج محققین بروی روغن آفتابگردان نشان می‌دهد که فراصوت مقدار اسید اولئیک روغن را نسبت به نمونه شاهد بدون فراصوت افزایش داد [۱۷]. همچنین

ساختار اسید چرب روغن سویا را نیز می‌توان بر اساس درجه غیراشباعیت زنجیره هیدروکربنی به انواع اشباع همچون اسید میریستیک (C14:0)، اسید پالمیتیک (C16:0)، اسید مارگاریک (C17:0)، اسید استئاریک (C18:0)، اسید آراشیدونیک (C20:0)، اسید بهنیک (C22:0) و اسید لیگنوسریک (C24:0) و اسیدهایی چرب غیراشباع تقسیم کرد. اسیدهایی چرب غیراشباع شامل اسیدهایی چرب تک غیراشباع مانند اسید پالمیتولئیک (C16:1)، اسید اولئیک (C18:1) و چند غیراشباع همچون اسید لینولئیک (C18:2) و اسید آلفا-لینولئیک (C18:3) هستند. با توجه به (جدول ۳) مقدار اسیدهایی چرب اشباع در روز اول در تیمار فراصوت شده کمترین مقدار ۱۱/۸۷٪ را نسبت به تیمار شاهد ۱۴/۵۳٪ و تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۱۴/۴۷٪ داشت و در طی مدت زمان نگهداری در همه تیمارها، مقدار اسیدهایی چرب اشباع به ترتیب در نمونه شاهد ۱۴/۸۰٪، تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۱۴/۶۹٪ و تیمار

که مقدار کل پراکسیدهای موجود در روغن را به عنوان فرآورده‌های اولیه حاصل از اکسایش را نشان می‌دهد. بر اساس عدد پراکسید، اکسایش در سه مرحله انجام می‌شود. مرحله کند که عدد پراکسید $0_2/kg\ oil$ ۱-۰، مرحله متوسط که مقدار پراکسید $0_2/kg\ oil$ ۵-۱ و مرحله تند بالاتر از $0_2/kg\ oil$ ۱۰ است [۳۶]. نتایج مربوط به مقادیر عدد پراکسید طی مدت زمان ۱۸۰ روز در شکل (۳) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار پراکسید مربوط به تیمارهای فراصوت شده بود که در روز اول $0_2/kg\ oil$ ۳/۵۴، در روز ۹۰ $0_2/kg\ oil$ ۸/۴۶ و تا روز ۱۸۰ این مقدار به $0_2/kg\ oil$ ۱۵/۶۶ افزایش یافت. تیمارهای بدون نگهدارنده و بدون فراصوت و تیمار شاهد با هم از نظر آماری اختلاف معنی داری نداشتند و کمترین مقدار پراکسید را نشان دادند اما مقدار عدد پراکسید هر کدام در طی مدت زمان نگهداری افزایش یافت، به طوری که در تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت در روزهای ۱، ۹۰ و ۱۸۰ به ترتیب $0_2/kg\ oil$ (۲/۴۶، ۵/۷۶ و ۱۲/۶۳) و در شاهد به ترتیب $0_2/kg\ oil$ (۲/۲۶، ۵/۵۳ و ۱۲/۴۳) افزایش یافت.

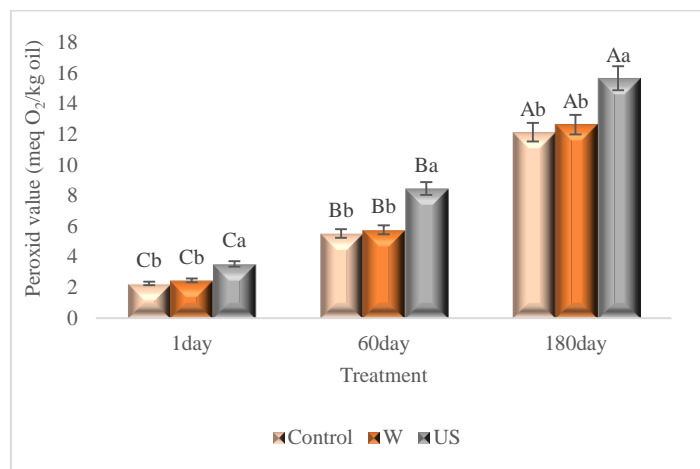
جانا و همکاران (۱۹۹۰) اثر فراصوت را بر میزان پراکسید غشای لیپیدها بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که فراصوت با قدرت ۲۰ KHZ اثر سینرژیستی بر روی عدد پراکسید غشا لیپیدها ایجاد می‌کند [۳۷]. در تحقیق دیگری که اثر فراصوت را در تخریب روغن‌های آفتابگردان و پالم بررسی کردند، نتایج نشان داد که با افزایش محصولات اولیه اکسایش، مقدار پراکسید هم در روغن آفتابگردان و هم در روغن پالم که با فراصوت تیمار شده بودند افزایش یافت که علت آن به اثر کاویتاسیون تولید شده در طی فرایند فراصوت نسبت داده شده است. متلاشی‌شدن حباب‌های کاویتاسیون، مقدار زیادی اکسیژن آزاد در فضا تولید می‌کند که موجب افزایش تولید رادیکال در تیمار فراصوت می‌شود که القاء یا تحریک اکسایش را افزایش می‌دهد. همچنین در این تحقیق مشخص گردید که مقدار پراکسید در تیمار فراصوت در مقایسه با مقدار پراکسید در تیمار شاهد تا روز ۲۴ تفاوت معنی‌داری نداشته است، یعنی تیمار با فراصوت با گذشت

بیشترین مقدار اسیدهای چرب چند غیراشباع مربوط به نمونه شاهد ۵۹/۰۹٪ بود و در تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۵۸/۴۱٪ بوده و به طور کلی با افزایش زمان، این مقادیر در همه تیمارها به ترتیب در تیمار شاهد ۵۹/۷۴٪، در تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۵۹/۸۱٪ و در تیمار فراصوت شده ۵۹/۲۷٪ افزایش یافت. بیشترین مقدار اسیدهای چرب غیر اشباع در روز اول مربوط به تیمار فراصوت شده ۸۳/۷۸٪ بود اما بین دو تیمار دیگر تفاوت معناداری وجود نداشت. همچنین با گذشت زمان مقادیر اسیدهای چرب غیراشباع برای همه تیمارها افزایش یافت. در نسبت‌های اسید چرب چند غیر اشباع/ اسید چرب اشباع، اسید چرب غیر اشباع/ اسید چرب اشباع و اسید چرب تک غیر اشباع/ اسید چرب چند غیر اشباع بیشترین مقدار مربوط به تیمار فراصوت شده است که به ترتیب نسبت‌ها ۴/۸۹٪، ۷/۰۵٪ و ۰/۴۵٪ است و کمترین مقدار به ترتیب نسبت‌ها مربوط به تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت ۴/۰۳۶٪، شاهد ۵/۶۶٪ و شاهد ۰/۳۹٪ است. اسید لینولئیک و اسید آلفا-لینولئیک به ترتیب با داشتن دو و سه پیوند دوگانه، غیراشباعیت بالایی دارند لذا می‌توانند پارامترهایی همچون اسید چرب چند غیر اشباع، اسید چرب غیر اشباع و نسبت‌های آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند [۲۹]. نتایج حاصل از اسیدهای چرب آزاد برحسب درصد اسید اولئیک نشان می‌دهد که بیشترین مقدار اسید چرب آزاد در روز اول (۰/۱۸۹٪) مربوط به تیمار فراصوت شده است که با گذشت زمان در روز ۱۸۰ این مقدار به ۰/۵۳٪ افزایش یافت. کمترین مقدار اسید چرب آزاد در روز اول مربوط به تیمار شاهد (۰/۱۱۳٪) و تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت (۰/۱۱۲٪) بود که تفاوت معناداری بین این دو تیمار وجود نداشت اما با گذشت زمان مقادیر آنها به ترتیب به ۰/۴۷٪ و ۰/۴۶٪ افزایش یافت. براساس یافته‌های محققین دیگر که اثر فراصوت را بر روی روغن آفتابگردان بررسی کردند، مقدار اسید چرب آزاد روغن تیمار شده با فراصوت در مقایسه با نمونه فراصوت‌نشده افزایش یافته بود [۳۵].

۴.۳. عدد پراکسید روغن

عدد پراکسید یکی از پرکاربردترین شاخصهای کیفی است

زمان، مقدار هیدروپراکسیدهای تولید شده را افزایش نمی‌دهد بلکه فقط سرعت اکسایش را زیاد می‌کند [۳۸].



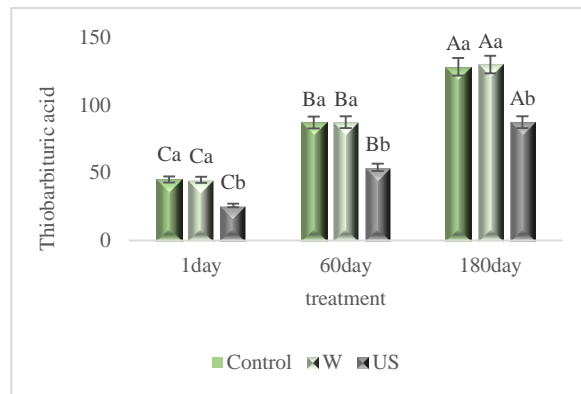
شکل (۳) مقایسه میانگین‌های تیمارها در مدت زمان نگهداری از لحاظ پراکسید (meq O₂/kg oil) در سس مایونز کم چرب حروف متفاوت کوچک دارای تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارهای متفاوت و حروف بزرگ متفاوت دارای تفاوت آماری معنی‌دار در مدت زمان نگهداری (P < 0.01).

Fig3. Comparison of means of treatments during the shelf life in terms of Peroxide value (meq O₂/kg oil) of low-fat mayonnaise. Different small letters show a statistically significant difference between classes with different treatments and capital letters show a statistically significant difference within classes during the shelf life (P < 0.01).

خواص امولسیون تهیه شده از روغن سویا و کازئینات سدیم انجام شد، نتایج آنها نشان داد که با وجود این‌که در تیمار فراصوت عدد پراکسید افزایش یافته بود اما عدد تیوباربتوریک تیمارهای فراصوت شده نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت، همچنین در مدت زمان نگهداری امولسیون، اندیس تیوباربتوریک اسید در همه تیمارها مقدار بسیار کمی افزایش پیدا کرد [۴۱]، این گزارش با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. محصولات ثانویه اکسایش پایدارتر از محصولات اولیه هستند و موجب تولید بوی نامطبوع و بد طعمی و تندی در روغن‌های خوراکی می‌شوند [۳۸-۴۰]. مقدار محصولات ثانویه تولید شده از محصولات اولیه در انواع روغن‌ها متفاوت است. در روغن کلزا و روغن زیتون، بسیار سریع بعد از تولید هیدروپروکسیدها تولید می‌شوند اما در روغن آفتابگردان بعد از افزایش غلظت زیادی از هیدروپروکسیدها، این محصولات ثانویه تولید می‌شوند [۳۹-۴۰].

۵.۳. عدد تیوباربتوریک اسید

عدد پراکسید به عنوان شاخص اولیه اکسایش است و به سهولت به مخلوطی از ترکیبات فرار مانند آلدئیدها و کتون‌ها، هیدروکربن‌ها و آلفاتیک‌ها تبدیل می‌شود، بنابراین عدد پراکسید نمی‌تواند معیار مناسبی جهت تعیین پیشرفت واقعی اکسایش باشد [۱۴، ۳۸، ۳۹]. عدد تیوباربتوریک اسید، یک روش مرسوم برای اندازه‌گیری محصولات ثانویه اکسایش روغن‌ها است که مقدار مالون‌دی‌آلدهید موجود در ۱۰۰۰g روغن را نشان می‌دهد [۴۰]، در شکل (۴) مشاهده می‌شود که کمترین مقدار اسید تیوباربتوریک در بین تیمارها مربوط به تیمار فراصوت شده بود که در روزهای ۱، ۹۰ و ۱۸۰ به ترتیب (۲۶/۰۳، ۵۴/۰۰ و ۸۷/۵۰) و بیشترین مقدار اسید تیوباربتوریک در شاهد (۴۵/۱۳، ۸۷/۱۳ و ۱۲۸/۳۳) و در تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت (۴۴/۸۷، ۸۷/۳۳ و ۱۲۹/۹۲) بود که بین این دو تیمار از نظر آماری تفاوت معناداری وجود نداشت. در تحقیقی که توسط کی لی و همکاران (۲۰۲۰) در خصوص اثر فراصوت بر بهبود



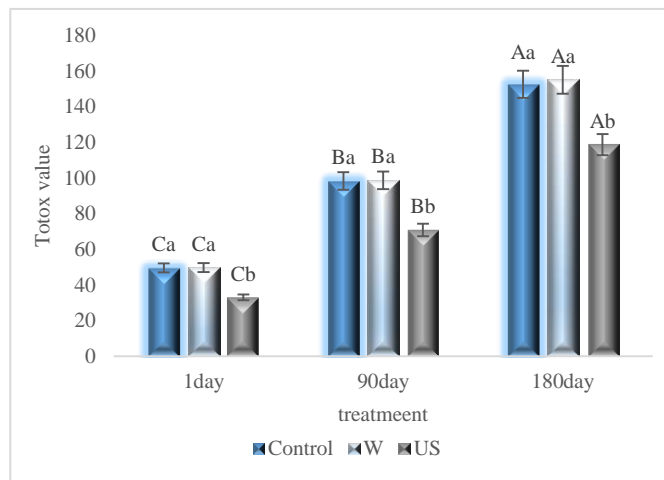
شکل (۴) مقایسه میانگین تیمارها در مدت نگهداری از لحاظ تیوباربیتوریک در سس مایونز کم چرب
حروف متفاوت کوچک دارای تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارهای متفاوت و حروف بزرگ متفاوت دارای تفاوت آماری معنی‌دار در مدت زمان نگهداری ($P < 0.01$).

Fig4. Comparison of mean of treatments during the shelf life in terms of Thiobarbituric acid of low-fat mayonnaise
Different small letters show a statistically significant difference between classes with different treatments and capital letters show a statistically significant difference within classes during the shelf life ($P < 0.01$)

شکل شماره (۵) نتایج نشان می‌دهد که کمترین مقدار عدد توتوکس در بین تیمارها مربوط به تیمار فراصوت بود که با گذشت زمان این مقدار بیشتر شد.

۶.۳. عدد توتوکس

عدد توتوکس مجموع هیدروپراکسیدها و محصولات ثانویه را اندازه‌گیری می‌کند و ارزیابی بهتری از پیشرفت اکسایش چربی‌ها و روغن‌ها را تعیین می‌کند. عدد توتوکس پایین‌تر نشان دهنده کیفیت بهتر روغن است [۲۵، ۳۸]. با توجه به



شکل (۵) مقایسه میانگین تیمارها در مدت نگهداری از لحاظ عدد توتوکس در سس مایونز کم چرب
حروف متفاوت کوچک دارای تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارهای متفاوت و حروف بزرگ متفاوت دارای تفاوت آماری معنی‌دار در مدت زمان نگهداری ($P < 0.01$).

Fig 5. Comparison of means of treatments during the shelf life in terms of TOTOX value of low-fat mayonnaise.
Different small letters show a statistically significant difference between classes with different treatments and capital letters show a statistically significant difference within classes during the shelf life ($P < 0.01$).

شده است، مثلاً شوک‌های مکانیکی بسیار ریز که بر روی ساختار و ترکیبات عملگر اثر می‌گذارد و نقطه اکسایش را تا تخریب روغن بالا می‌برد. وقتی امواج فراصوت در یک مایع انتشار می‌یابد کاویتاسیون تشکیل شده، سپس بزرگ می‌شود و بعضی اوقات موجب انفجار حباب‌های بسیار کوچکی می‌شود. فروپاشی حباب‌ها منجر به تجمع انرژی در نقاط داغ می‌شود، جایی که دما بالای 5000°C و فشار 500 مگاپاسکال است [۶]. این اثرات می‌تواند منجر به اکسایش چربی شود که سه مکانیسم اصلی دارد، اولین مکانیسم گرمای بوجود آمده به علت افزایش دما در طی کاویتاسیون، مرحله دوم رادیکال‌های تشکیل شده بوسیله سونی لایزر و سومین مرحله نیروهای مکانیکی بوجود آمده که توسط جریان‌های بسیار ریز و شوک امواج بوجود می‌آید [۱۷].

۷.۳. نتایج آزمون حسی

تخریب لیپیدها می‌تواند توسط هیدرولیز یا اکسایش اتفاق بیافتد. تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها ممکن است در داخل اسیدهای چرب هیدرولیز شوند، این واکنش به عنوان تندشدگی آبکافتی^۱ شناخته شده است. تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها و اسیدهای چرب آزاد می‌توانند به ترکیبات فرار که موثر بر افزایش بو هستند و ترکیبات غیر فرار که بر مزه تأثیر می‌گذارند تجزیه شوند [۱۷]. نتایج حاصل از آزمون فریدمن (جدول ۴) نشان دهنده معنی‌دار بودن تفاوت تیمارها از لحاظ حسی بودند. از نظر طعم، نمونه‌های سس مایونز با توجه به مقدار معناداری آماری (p-value) در روز اول و روز ۹۰ تفاوت معناداری بین تیمارها وجود نداشت اما در روز ۱۸۰ بیشترین امتیاز طعم در نمونه‌های فراصوت شده بود. در مورد بوی سس مایونز روز اول، کمترین امتیاز مربوط به نمونه‌های فراصوت شده بود اما با افزایش زمان نگهداری، این امتیاز بیشتر شد به طوری که در روز ۹۰ و ۱۸۰ تفاوت معناداری از نظر بو بین تیمارها مشاهده نشد. دلیل آن ممکن است به علت وجود ترکیبات دیگری مانند آلبیمو و سرکه در سس باشد که روی عطر و طعم بسیار اثرگذار هستند. در روز اول به دلیل تیمار با فراصوت، مقداری بوی

در روزهای ۱، ۹۰ و ۱۸۰ در تیمار فراصوت به ترتیب (۳۳/۱۱، ۷۰/۹۳ و ۱۱۸/۸۳) و بیشترین عدد توتوکس در شاهد (۴۹/۶۷، ۹۸/۴۰ و ۱۵۲/۶۲) و در تیمار بدون نگهدارنده و بدون فراصوت (۴۹/۸۰، ۹۸/۷۸ و ۱۵۵/۱۸) مشاهده شد و بین این دو تیمار از نظر آماری تفاوت معنی داری وجود نداشت.

هالیم و تهو (۲۰۱۸) که اثر فراصوت را روی تخریب روغن آفتابگردان و پالم بررسی کردند، گزارش دادند که روغن آفتابگردان فراصوت شده و روغن پالم فراصوت شده از نظر مقدار شاخص عدد توتوکس افزایش نیافتند و هیچ تفاوت معناداری با تیمار فراصوت نشده آنها وجود نداشت اما در مدت زمان ۲۴ روز این مقادیر مقدار کمی افزایش پیدا کردند؛ بنابراین تیمار روغن با فراصوت مقدار کل محصولات اکسایش را در مدت زمان نگهداری افزایش نمی‌دهد [۳۸]. در مطالعاتی که در این زمینه انجام شده، نتایج گویای این مطلب است که با افزایش سرعت تولید پراکسیدها، همیشه سرعت تولید محصولات ثانویه افزایش نمی‌یابد [۳۹]. در تحقیقی دیگر که توسط لی و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد و اثر فراصوت را روی تغییرات اکسایش و خواص فیزیکوشیمیایی روغن سویا بررسی کردند، نتایج نشان داد که فراصوت اثری بر اکسایش روغن سویا نداشت اما مقدار پراکسید را در نمونه‌های روغن سویای مایع افزایش داد [۴۲]. بر اساس نتایج محققان دیگر، زمان فراصوت می‌تواند بر اکسایش اثر بگذارد. یکی دیگر از فاکتورهای مهم که می‌تواند بر پایداری اکسایش اثر بگذارد، ترکیبات شیمیایی مواد خام اولیه محصول مواد غذایی است و همچنین اکسایش لیپیدها فقط در مرحله تولید اتفاق نمی‌افتد و ممکن است در طی مدت زمان نگهداری ایجاد شود و اکسیژن و نور، اکسیداسیون را تسریع می‌کنند [۴۳]. خود روغن حاوی فلزاتی مانند آهن، نیکل و مس است که می‌تواند اکسایش را تسریع کند. تماس بین فلز پروب هموژنایزر فراصوت و روغن می‌تواند موجب افزایش اکسایش شود. چیمت و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که که مکانیسم اکسایش بسیار متفاوتی برای روغن‌های خوراکی که با فراصوت تیمار شده‌اند در مقایسه با مکانیسم اکسایش حرارتی وجود دارد. اکسایش فراصوت روغن‌های خوراکی به کاویتاسیون آن‌ها نسبت داده

بیشترین امتیاز مربوط به تیمار فراصوت بود که ممکن است به دلیل جریان پذیری بیشتر و بافت منسجم و یکنواخت‌تر امتیاز بیشتری گرفته است. نتایج حاصل از پذیرش کلی نمونه‌ها نشان می‌دهد که در روز اول کمترین امتیاز به تیمار فراصوت داده شد، اما با افزایش مدت زمان نگهداری، این امتیاز بیشتر شد به طوری که در روزهای ۹۰ و ۱۸۰، بیشترین امتیاز به تیمار فراصوت داده شد.

فلزی به مشام می‌رسید اما چون این ترکیبات فرار هستند، با گذشت زمان بوی تندی و فلزی کاملاً از بین رفت و بوی آلبیمو بر سس غالب شده بود. در مورد ویژگی بافت، قاشق پذیری سس مایونز به هنگام برداشتن مد نظر بود. بدین صورت که نمونه‌ای که پس از برداشتن با قاشق دارای بافت باثبات‌تری باشد دارای نمره بالاتری بود. نتایج حاصل نشان داد که از لحاظ بافت، در روز اول تفاوت معناداری بین تیمارهای مایونز وجود نداشت اما در روز ۹۰ و روز ۱۸۰

جدول (۴) مقایسه میانگین تیمارها در زمان‌های متفاوت از لحاظ خواص حسی سس مایونز کم چرب

Table 4. Comparison of mean of treatments at different times in terms of sensory properties of low-fat mayonnaise

مقدار کای اسکوار S	معناداری آماری P-value	US	W	Control	تیمار Treatment	آزمون حسی
2.16	0.34	3.66	4	3.88	روز ۱ Day1	طعم Flavor
2.82	0.244	4	3.33	3.66	روز ۹۰ Day 90	
15.72	0.00	4	3	3	روز ۱۸۰ Day 180	
7.04	0.030	3	4	4	روز ۱ Day 1	بو Odor
1.77	0.413	4	4	4	روز ۹۰ Day 90	
0.614	0.97	3	3	3	روز ۱۸۰ Day 180	
2.76	0.251	4	3.83	3.67	روز ۱ Day1	بافت Texture
14.60	0.001	4	3	3	روز ۹۰ Day90	
29.45	0.00	4	3	3	روز ۱۸۰ Day 180	
16.19	0.00	3	4	4	روز ۱ Day1	پذیرش کلی Overall acceptance
0.21	0.901	4	3	3	روز ۹۰ Day90	
12.91	0.2	4	3	3	روز ۱۸۰ Day 180	

اعداد واقع در هر ردیف با حروف متفاوت بزرگ و در هر ستون با حروف متفاوت کوچک بر اساس آزمون فیشر (LSD) دارای تفاوت آماری معنی دار هستند ($P < 0.01$).

Numbers in each row with different capital letters and in each column with different small letters based on Fisher's exact test (LSD), showed a statistically significant difference ($P < 0.01$).

میانگین اعداد \pm انحراف معیار

Means \pm standard deviation

اکسایش محصولات ثانویه کاهش یافته که نشان دهنده این است هیدروپراکسیدهای تولید شده در مرحله اول با دیگر اجزای مایونز ترکیب شده و مانع افزایش محصولات ثانویه و نهایتاً اکسیداسیون کلی و فساد روغن می‌شود. خواص حسی محصول تیمار شده با فراصوت از نظر پذیرش کلی، بافت و طعم با گذشت زمان نسبت به تیمار شاهد امتیاز بیشتری داشت. با این وجود که فراصوت مزایای زیادی در صنایع غذایی دارد اما باید تحقیقات گسترده‌تری روی مواد غذایی پرچرب انجام شود و اثرات مخرب آن در صنایع غذایی در ابعاد مختلف کاملاً شناسایی شود.

تقدیر و تشکر

این تحقیق به عنوان بخشی از پایان نامه «امکان سنجی تولید سس مایونز بدون نگهدارنده به کمک ازن و فراصوت» صورت گرفته که بدین وسیله از شرکت کارخانجات صنایع غذایی سحر همدان، به خاطر فراهم نمودن شرایط تحقیق و مواد آزمایشگاهی قدردانی می‌گردد.

در پژوهش‌های انجام گرفته روی فراصوت در برخی از مواد غذایی که حاوی چربی هستند، بد طعمی ظاهر شده است [۳۵]. چیمیت و همکاران (۲۰۰۴) اثر فراصوت را با شرایط ۲۰ KHZ و ۱۵۰ W در دمای اتاق به مدت ۱ دقیقه با پروب و حمام فراصوت بر روغن آفتابگردان بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که تغییراتی در خواص حسی و کیفیت ارگانولپتیکی روغن مانند بوی ماهی‌تندی و فلزی ایجاد شد. بدطعمی در نمونه‌هایی که با فراصوت تیمار شده‌اند حاصل تشکیل ترکیبات ثانویه فرار اکسایش مانند پنتانال، هگزانال، هپتانال، ۲-هپتانال، ۱-اکتان‌تری‌ال است که با آنالیز SPME^۱ مشخص شدند [۳۵، ۱۷]. این ترکیبات آستانه چشایی بسیار پایینی دارند که حضور آنها حتی در غلظت پایین بر کیفیت حسی روغن اثر می‌گذارد [۱۷].

۴. نتیجه گیری

با استفاده از مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که فراصوت و با وجود افزایش هیدروپراکسیدها در مرحله اول

منابع

- [1] ISIRI. Institute of S. and I. R. of Iran. (1996). *Food preservatives, No 950, 2nd revision*. [In Persian]
- [2] Sohrabi, D., Alipour, M., Gholami, M. (2008). The effect of sodium benzoate on testicular tissue, gonadotropins and thyroid hormones level in adult (balb/c) mice. *FEYZ.*, 12 (3), 7-11. [In Persian]
- [3] Taheri, S. H., & Sohrabi, D. (2002). Teratogenic Effects of Sodium Benzoate on the Rat Fetus. *J. Adv. Med. Biomed. Res.*, 10 (39), 1-4. [In Persian]
- [4] Mesbahi, G. R., Jamalian, J., & Golkari, H. (2004). Substitution of tragacanth in mayonnaise for imported stabilizers and thickeners. *JWSS*, 8 (2), 191-205. [In Persian]
- [5] Maghsodi, S. (2004). New technology for producing sauces: *formulations, production and testing methods, mayonnaise, salad dressings (first ed.)*. Tehran, I. R. Iran, Marze Danesh. [In Persian]
- [6] Povey, M. J. W., & Mason, T. J. (1998). *Ultrasound in Food Processing*, Springer, Berlin.
- [7] Wu, H., Hulbert, G. J., & Mount, J. R. (2000). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *IFSET.*, 1, 211-218.
- [8] Mongenot, N., Charrier, S., & Chaliere, P. (2000). Effect of ultrasound emulsification on cheese aroma encapsulation by carbohydrates. *J. Agric. and Food Chem.*, 48, 861-867.
- [9] Mason, T. J. (1998). *Power ultrasound in food processing*. Thomson Science, London, 105-126.
- [10] Izquierdo, P., Esquena, J., Tadros, T. F., Dederen, C., Garcia, M. J., Azemar, N., & Solans, C. (2002). Formation and stability of nanoemulsions prepared using the phase inversion temperature method. *Langmuir*, 18, 26-30.
- [11] Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., & Stasiak, D. (2007). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 3, 88-99.
- [12] Nestel, P. J. (2008). Effects of dairy fats within different foods on plasma lipids. *J. Am. Coll. Nutr.*, 6, 735-740.
- [13] Martin, C. A., Milinsk M. C., Visentainer, J. V., Matsushita, M., & de-Souza N. E. (2007). Trans fatty acid forming processes in foods: a review. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 2, 343-50.
- [14] Akhtar, H., Tariq, I., Mahmood, S., Hamid, S., & Khanum, R. (2012). Effect of antioxidants on stability, nutritional values of refined sunflower oil

1. Solid Phase Micro Extraction

- during accelerated storage and thermal oxidation in frying. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.*, 2, 223-230.
- [15] Chemat, S., Lagha, A., AitAmar, H., Bartels, P. V., & Chemat, F. (2004). Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction of carvone and limonene from Caraway seeds. *Flavour Frag. J.*, 3, 188-195.
- [16] Pingret, D., Durand, G., Fabiano-Tixier, A., Rockenbauer, A., Ginies, C., & Chemat, F. (2012). Degradation of edible oil during food processing by ultrasound, electron paramagnetic resonance, physicochemical, and sensory appreciation. *J. Agric. Food Chem.*, 31, 7761-7768.
- [17] Chemat, F., Grondin, I., Costes, P., Moutoussamy, L., Shum Cheong Sing, A., & Smadja, J. (2004). High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrason. Sonochem.*, 11 (5), 281-285.
- [18] Hosseini, S., Gharachorloo, M., Tarzi, B. G., Ghavami, M. & Bakhoda, H. (2015). Effects of ultrasound amplitude on the physicochemical properties of some edible oils. *JAOCS.*, 12, 1717-1724.
- [19] Patil, S. (2010). Efficacy of ozone and ultrasound for microbial reduction in fruit juice. Doctoral Thesis. Dublin Institute of Technology. doi: 10.21427/D78W2D.
- [20] Asnaashari, M., Farhoosh, R. & Sharif, A. (2014). Antioxidant activity of gallic acid and methyl gallate in triacylglycerols of Kilka fish oil and its oil-in-water emulsion. *Food Chem.*, 159, 439-444.
- [21] Mun, S., Kim, Y. L., Kang, C., Shim, J., & Kim, Y. (2009). Development of reduced-fat mayonnaise using 4[alpha] GTase-modified rice starch and xanthan gum. *Int. J. Biol. Macromol.*, 44, 400-407.
- [22] Malek, F. (2000). *Edible fats and vegetable oils: Properties and processing. (first ed)*. Tehran, I. R. Iran: Farhang Ghalam. [In Persian].
- [23] American Oil Chemists' Society. (1997). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, (5th ed); AOCS. Press, Champaign, I.L., USA.
- [24] ISIRI. Institute of Standard and Industrial Research of Iran. (2007). Animal and vegetable fats and oils- determination 2-Thiobarbituric acid value, direct method, No 10494, 1st ed. [In Persian].
- [25] Wanasundara, U. N. & Shahidi, F. (1995). Storage stability of microencapsulated seal blubber oil. *J. Food Lipids.*, 2, 73-86.
- [26] Granato, D., Calado, V. M. A., & Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *IFRJ.*, 55, 137-149.
- [27] Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S., & Jamnong, P. (2005). β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloid.*, 20, 68-78.
- [28] ISIRI. Institute of Standard and Industrial Research of Iran. (2000). Vegetable fats and oils- Soy bean oil- Specification and test methods, No 2392, 1st revision. [In Persian]
- [29] Farahmandfar, R., Amini, A., Faghieh Nasiri, Sh., & Asnaashari, M. (2018). Influence of *Mentha piperita* L. extract in the quality of soybean oil during microwave heating. *JFST.*, 15, 201-216. [In Persian]
- [30] Malheiro, R., Rodrigues, N., Manzke, G., Bento, A., Pereira, J. A. & Casal, S. (2013). The use of olive leaves and tea extracts as effective antioxidants against the oxidation of soybean oil under microwave heating. *Ind. Crops Prod.*, 44, 37-43.
- [31] Choe, E. & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comp. Rev. Food sci. Food Saf.*, 4, 169-186.
- [32] Rodrigues, N., Malheiro, R., Casal, S., Manzanera, M. C. A. S., Bento, A. & Pereira, J. A. (2012). Influence of spike lavender (*Lavandula latifolia* Med.) essential oil in the quality, stability and composition of soybean oil during microwave heating. *Food chem. Toxicol.*, 8, 2894-2901.
- [33] Martin-Polvillo, M., Marquez-Ruiz, G. & Dobarganes, M. C., (2004). Oxidative stability of sunflower oils differing in unsaturation degree during long-term storage at room temperature. *JAOCS.*, 6, 577-583.
- [34] Geleta, M., Stymne, S. & Bryngelsson, T. (2011). Variation and inheritance of oil content and fatty acid composition in Niger (*Guizotia abyssinica*). *J. Food Compost. Anal.*, 7, 995-1003.
- [35] Chemat, F., Grondin, I., Sing, A. S. C. & Smadja, A. (2003). Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound. *Ultrason. Sonochem.*, 1, 13-15.
- [36] Moigradean, D., Poiana, M. A. & Gogoasa, I. (2012). Quality characteristics and oxidative stability of coconut oil during storage. *J. Agroalim. Processes Technol.*, 4, 272-276.
- [37] Jana, A. K., Agarwal, S., Chatterjee, N., & Biosci. J. (1990). Membrane lipid peroxidation by ultrasound: Mechanism and implications. *J. Biosci.*, 15, 211-215.
- [38] Halim, H. H. & Thoo, Y.Y. (2018). Effect of ultrasound treatment on oxidative stability of sunflower oil and palm oil. *Int. Food Res. J.*, 5, 1959-1967.
- [39] Poiana, M. A. (2012). Enhancing oxidative stability of sunflower oil during convective and microwave heating using grape seed extract. *Int. J. Mol. Sci.*, 7, 9240-59.
- [40] Guillen, M. D. & Cabo, N. (2002). Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and



anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Food Chem.*, 4, 503-510.

[41] Li K., Li Y., Liu, C. L., Fu, L., Zhao, Y. Y., Zhang, Y. Y., Wang, Y. T., & Bai, Y. H. (2020). Improving interfacial properties, structure and oxidative stability by ultrasound application to sodium caseinate prepared pre-emulsified soybean oil. *LWT - Food Sci. Technol.*, 131, 109755.

[42] Lee, J., Ye, Y. & Martini, S. (2014). Physicochemical and oxidative changes in sonicated interesterified soybean oil. *JAOCS.*, 2, 305-308.

[43] Allen, L. B., Siitonen, P. H., Thompson, H. C. (1998). Determination of copper lead and nickel in edible oils by plasma and furnace atomic spectroscopies. *JAOCS.*, 75, 477-481.

*Research Article***Feasibility of Preservative-free Mayonnaise Production by Ultrasonication: Evaluation of Physicochemical and Sensorial Properties of the Product During the Shelf Life****Rojin Tavakoli¹, Mostafa Karami^{2*}, Samira Bahramian³, Ario Emamifar⁴****1.Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Sanandaj****2.Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan****3.Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Sanandaj****4.Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan****Abstract**

The effects of high-power ultrasound treatment (20 kHz, 750 W, 20 °C, 5 min) on low-fat mayonnaise were studied to evaluate the oxidation of lipids and fatty acids profile during the 6 months shelf life. The main oxidation parameters including peroxide value, acidity, Thiobarbituric acid, Totox value and fatty acids profile were studied. Also, sensorial properties and emulsion stability at 4°C and in the accelerated temperature of 50 °C in mayonnaise treatments of (without preservatives and with ultrasonication, without preservatives and without ultrasonication, and with preservatives and without ultrasonication) were evaluated during 1, 90 and 180 days after production. The results showed that all samples had good apparent stability and no traces of oil separation were observed. The results of gas chromatography showed that sonication treatment significantly reduced the amount of palmitic acid (7.33 %), alpha-linolenic acid (2.04 %), stearic acid (3.91 %), and poly-unsaturated fatty acids (58.15 %) that in control were (9.44 %, 4.81%, 4.27 %, 59.09 %) respectively, and in contrast, the amount of oleic acid (25.26 %) and linoleic acid (55.91 %) in sonicated treatment increased during the shelf life that compared to the control treatments were (22.47%) and (53.93%) respectively. Also, ultrasonication increased peroxide and acidity value, so that, at the first day, the maximum amount of peroxide value (3.54 meq O₂/kg oil) that in control were (2.26 meq O₂/kg oil) and maximum amount of acidity of oil (0.19 %) that compares to control were (0.113%) was related to sonicated treatment. Also, the lowest amount of thiobarbituric acid (26.03) and totox value (33.11) which indicates the total oxidation of the product occurred in sonicated treatment, which had a significant reduction that in control were (45.13%) and (118.83%) respectively, these values had an upward trend with increasing storage time. In sensorial properties tests, the highest score of overall acceptance and texture (4) was related to the sonicated treatment during the shelf life.

Keywords: Low-fat mayonnaise, Ultrasonication, oxidation, Fatty acids profile, Shelf life

*Corresponding Author: mkarami@basu.ac.ir