

(مقاله پژوهشی)

بررسی اثر پاداکسندگی پلی فنول های آزاد و نانوریزپوشانی شده کنجد بر تغییرات ساختار اسیدهای چرب روغن ماهی کیلکا در شرایط تسریع شده

رضا اسماعیل زاده کناری^{۱*}، راضیه رضوی^۲

- ۱- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
 ۲- دانش آموزخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۸

چکیده

روغن ماهی منبع ارزشمندی از اسیدهای چرب چند غیراشباع است که بسیار به اکسایش حساس می باشند. در این پژوهش تأثیر پاداکسندگی پلی فنول های آزاد و نانوریزپوشانی شده کنجد بر ساختار اسیدهای چرب روغن ماهی کیلکا مورد بررسی قرار گرفت. ترکیبات فنولی آزاد و باند شده دو رقم کنجد سیاه (اولتان) و سفید (یکتا) استخراج شد و فعالیت پاداکسندگی آن ها با روش مهار رادیکال آزاد ABTS، بی رنگ شدن بتاکاروتن:لینولئیک اسید و پایداری اکسایشی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش غلظت ترکیبات فنولی از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم برلیتر فعالیت پاداکسندگی افزایش یافت. ترکیبات فنولی آزاد و رقم اولتان فعالیت پاداکسندگی بالاتری نشان دادند و برای نانوریزپوشانی در دیواره صمغ دانه خرفه و شنبلیله استفاده شدند. ترکیبات فنولی (۷٪) به فاز روغنی حاوی ۲۵٪ توئین ۸۰ و ۶۸٪ روغن ماهی کیلکا اضافه شدند. نانوذرات پلی فنول آزاد رقم اولتان در مقایسه با رقم یکتا، اندازه ذرات کوچکتر (۴۱۷/۳ نانومتر) و پتانسیل زتا بالاتر (۲۶/۲- میلی ولت) داشتند و برای افزودن به روغن ماهی کیلکا بدون پاداکسنده استفاده شدند. نتایج نشان داد با گذشت زمان در شرایط تسریع شده (۴۰ روز در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد)، ساختار اسیدهای چرب تمامی نمونه ها تغییر یافت (افزایش اسیدهای چرب اشباع و کاهش اسیدهای چرب غیراشباع). بیشترین و کمترین تخریب و تغییر در ساختار اسیدهای چرب به ترتیب در نمونه شاهد و نمونه روغن ماهی حاوی پلی فنول نانوریزپوشانی شده مشاهده شد. نتایج این پژوهش استفاده از پلی- فنول نانوریزپوشانی شده کنجد رقم اولتان را به عنوان پاداکسنده طبیعی برای افزایش پایداری روغن ماهی کیلکا معرفی می نماید.

واژه های کلیدی: نانوریزپوشانی، کنجد سیاه رقم اولتان، کنجد سفید رقم یکتا، صمغ دانه خرفه، صمغ دانه شنبلیله.

۱-مقدمه

در سال‌های اخیر تجارت روغن‌های با زنجیره‌های بلند اسیدهای چرب غیر اشباع از منابع مختلف همچون کانولا، زیتون، بزرک و روغن ماهی به سبب اهمیت برخورداری از آن‌ها برای سلامتی مصرف‌کنندگان متداول شده است (۱۱ و ۶۱). روغن‌ماهی به عنوان یک منبع مهم برای اسیدهای چرب غیر اشباع امگا ۳ (PUFAs^۱)، ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA^۲) و دوکوزاهگزانوئیک (DHA^۳) شناخته شده است. گزارشات متعددی مبنی بر مؤثر بودن این ترکیبات برای محافظت از موجودات زنده در مقابل بیماری‌هایی همچون سرطان، بیماری‌های قلبی و آلزایمر، بهبود عملکرد مغز و بافت‌های عصبی وجود دارد (۴۶). ماهی کیلکای معمولی با نام علمی (*Clupeonella cultriventris caspia*) یکی از فراوان‌ترین ماهیان پرورش یافته دریای خزر است. روغن ماهی کیلکای معمولی حاوی ۱۹/۴۳ درصد اسیدهای چرب غیر اشباع و ۱۶/۸۱ درصد اسیدهای چرب امگا ۳ است (۱۹، ۴۶ و ۶۰). مقادیر بالای اسیدهای چرب غیر اشباع در روغن ماهی، آن را به میزان زیادی مستعد اکسایش نموده است و اکسایش خودبخودی دلیل اصلی فساد روغن ماهی است. تخریب اسیدهای چرب چند غیر اشباع منجر به ایجاد محصولات حاصل از اکسایش، بو، رنگ و طعم نامطلوب در روغن ماهی می‌شود. پاداکسنده‌ها می‌توانند با محافظت از اسیدهای چرب غیر اشباع، اکسایش روغن ماهی را به تأخیر ببانند و بر پایداری حرارتی روغن ماهی کیلکا مؤثر باشند (۲۱، ۴۱ و ۴۳). رادونیوتی و همکاران^۴ (۲۰۱۱) نشان دادند استفاده از عصاره برگ توت فرنگی به میزان ۵٪ می‌تواند عمر ماندگاری و خصوصیات حسی روغن ماهی آبی^۵ (*Pomatomus saltatrix*) را افزایش دهد (۴۷). استفاده زیاد از پاداکسنده‌های سنتزی به علت سمیت و سرطان‌زایی آن‌ها در مصرف‌کنندگان مورد انتقاد قرار گرفته است و تمایل

به استفاده از پاداکسنده‌های طبیعی افزایش یافته است پاداکسنده‌های طبیعی عمدتاً ترکیبات فنولی و متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند که خطرات پاداکسنده‌های سنتزی را ندارند و از منابع گیاهی به دست می‌آیند (۳۰). کنجد (*Sesamum indicum L.*) گونه گیاهی رشد کرده در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان است. دانه‌های روغنی کنجد به رنگ‌های سفید، کرم و سیاه وجود دارند. ترکیبات مؤثره موجود در کنجد شامل سزامین^۶، سزامول^۷ و آنتاراسزامین^۸ می‌باشد که خصوصیات پاداکسندگی آن‌ها اثبات شده است (۶۴). خصوصیات پاداکسندگی کنجد به وجود ترکیبات فنولی در آن نسبت داده می‌شود (۳۰، ۵۴ و ۶۴). روسماریلین و همکاران^۹ (۲۰۱۹) نشان دادند عصاره استخراج شده از دانه کنجد ریزپوشانی شده در مالتودکسترین، پروتئین سویا، ژلاتین و کازئین دارای خاصیت پاداکسندگی است (۵۰). ترکیبات فنولی به دو شکل فنول‌های آزاد و باند شده در سلول‌های گیاهی وجود دارند و ترکیبات فنول آزاد قابل استخراج به وسیله حلال هستند. بر خلاف ترکیبات فنولی آزاد، انواع فنول باند شده با پیوندهای کووالانسی محکم به ماتریکس سلول گیاهی متصل است و قابل استخراج با حلال‌های آلی یا آب نیستند (۴۵). ترکیبات فنولی با مهار رادیکال‌های آزاد به عنوان پاداکسنده عمل می‌نمایند و فعالیت پاداکسندگی خود را زمانیکه در غلظت بهینه استفاده شوند اعمال می‌نمایند. استفاده از مقادیر بالاتر آن‌ها به علت اثرات پرواکسیدانی مجاز نمی‌باشد و لازم است این ترکیبات قبل از اضافه شدن به محصولات غذایی از نظر میزان فعالیت پاداکسندگی با روش‌های مختلف مورد سنجش قرار بگیرند (۳۵). اکسایش منجر به تخریب مواد بیولوژیکی شده و در نتیجه بیماری‌هایی نظیر سرطان، آلزایمر، بیماری‌های گوارشی، دیابت و پارکینسون را در بدن ایجاد می‌نماید. به عبارت دیگر عصاره‌های گیاهی به علت دارا بودن ترکیبات

- 1-Polyunsaturated fatty acids
- 2-Eicosapentaenoic acid
- 3-Docosahexaenoic acid
- 4- Raudoniūtė et al
- 5- Bluefish

- 6-Sesamin
- 7-Sesamol
- 8-Antara sesamin
- 9- Rusmarilin et al

و مواد معدنی در بخش‌های مختلف گیاه وجود دارد (۹). شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) عضوی از خانواده بقولات (*Fabaceae*) است. دانه‌های شنبلیله مهمترین قسمت دارویی در گیاه هستند که دارای مصارف زیادی می‌باشند. ساپونین‌ها، ترکیبات موسیلاژی، آلکالوئیدها و روغن‌های حاوی اسیدهای غیراشباع مواد موثره دانه شنبلیله را تشکیل می‌دهند (۱۰). تاکنون مطالعات متعددی در زمینه استفاده از صمغ دانه‌ها جهت ریزپوشانی عصاره‌های مختلف انجام شده است که از آن جمله می‌توان به ریزپوشانی عصاره گلپر ایرانی در کیتوزان و صمغ دانه مرو (۳۰)، پلی فنول‌های غلاف بنه در نشاسته و صمغ دانه ریحان (۱۵) و آنتوسیانین‌های زعفران در صمغ دانه شاهی و صمغ عربی اشاره نمود. با توجه به اینکه تا کنون پژوهشی در زمینه استفاده از صمغ دانه‌های خرفه و شنبلیله جهت ریزپوشانی ترکیبات مؤثره انجام نشده است؛ هدف از این مطالعه اندازه‌گیری فعالیت پاداکسندگی پلی فنول‌های آزاد و باند شده دورقم کنگد سیاه و سفید برای انتخاب ترکیب پلی فنولی با بیشترین خاصیت پاداکسندگی و سپس ارزیابی خاصیت پاداکسندگی ترکیبات مذکور به دو شکل آزاد و نانوریزپوشانی شده در صمغ دانه‌های خرفه و شنبلیله برای افزایش عمر ماندگاری روغن ماهی کیلکا است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

دووارته کنگد سفید (رقم یکتا) و سیاه (رقم اولتان) از مزرعه کشاورزی در استان مازندران تهیه شد. کنگدهای خریداری شده تا قبل از استفاده درون بسته‌های پلی اتیلنی تیره و در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. روغن ماهی کیلکا بدون پاداکسندگی از کارخانه پارس کیلکا در شهرستان بابلستان استان مازندران تهیه شد. صمغ دانه‌های خرفه و شنبلیله از عطاری در شهر ساری تهیه شد. سایر مواد شیمیایی مورد نیاز پژوهش دارای درجه تجزیه‌ای بودند و از شرکت سیگما آمریکا تهیه شدند.

فنولی دارای فعالیت پاداکسندگی و ظرفیت بالایی برای اهدای اتم هیدروژن با الکترون و الکترون آزاد می‌باشند (۴۹). رادیکال‌های آزاد نقش مهمی در جلوگیری از بسیاری بیماری‌ها نظیر سرطان، آرتروواسکلروز، بیماری‌های قلبی و پارکینسون دارند. در سیستم دفاعی سلولی مهار رادیکال‌های آزاد بسیار مهم است (۱۳). گزارش شده است ترکیباتی که دارای گروه‌های عاملی $-COOH$ ، $-OH$ ، $-OH$ ، $-O$ ، $C=O$ ، $-S-$ ، $-SH$ ، $-NH_2$ و $-PO_3H_2$ در ساختار خود هستند دارای فعالیت چلاته‌کنندگی هستند که ترکیبات فنولی از این دست هستند (۲۳). وارد کردن ترکیبات فنولی به صورت خالص به مواد غذایی جهت افزایش عمر ماندگاری آن‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به مواردی همچون عدم پایداری ترکیبات پلی فنولی در سامانه‌های غذایی به دلیل آبگریزی بودن برخی ترکیبات، کاهش میزان مصرف ترکیبات موثره، کاهش برهمکنش بین ترکیبات پلی فنولی و مواد غذایی، کاهش انتقال جرم ذرات به بیرون، آزاد شدن سریع ترکیبات فنولی، نفوذ و دسترسی پائین و تخریب سریع توسط ترکیبات محیطی اشاره نمود (۶، ۱۷ و ۳۸). سیستم‌های درون‌پوشانی مبتنی بر امولسیون و ریزپوشانی هر دو ترکیبات زیست‌فعال آب‌دوست و آبگریز در محصولات غذایی، به عنوان یک راه حل جایگزین برای غلبه بر این مشکلات محبوبیت زیادی را کسب نموده‌اند (۵۹). امروزه نانوذرات بیوپلیمری تهیه شده از پلی ساکاریدهای طبیعی توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند. این ترکیبات به دلیل دارا بودن گروه‌های آبدوست نظیر هیدروکسیل، کربوکسیل و آمین توانایی جذب آب و تشکیل دیواره‌های مناسب برای احاطه پلی فنول‌ها را دارا می‌باشند (۳۹). خرفه (*Portulaca oleracea*) عضوی از خانواده *Portulacaceae* است که این خانواده شامل بیشتر از ۱۲۰ جنس می‌باشد. آب، موسیلاژ، پکتین، پروتئین، کربوهیدرات، اسیدهای چرب و بویژه اسید چرب غیراشباع، مواد پاداکسندگی

۲-۲-۲-روش‌ها

۲-۲-۱-استخراج ترکیبات فنولی آزاد

برای استخراج ترکیبات فنولی از روش ژو و همکاران^۱ (۲۰۱۶) با کمی تغییر استفاده شد. بدین منظور ۱۰ گرم نمونه کنجد آسیاب شد و با ۵۰ میلی لیتر هگزان نرمال به مدت ۱ دقیقه ترکیب شد. بعد از سانتریفوژ (Centurion Science Limited, UK) در ۲۷۰۰g به مدت ۳ دقیقه، باقیمانده کنجد دوبار روغن گیری شد. ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰٪ سرد به باقیمانده آن‌ها اضافه شد و به مدت ۱ دقیقه بهم زده شد. سوپرناتانت بعد از دوبار سانتریفوژ در ۲۷۰۰g به مدت ۳ دقیقه جمع آوری شد. سپس در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد در آون تحت خلاء (VS-1202, Vision Scientific, USA) حلال زدایی و خشک شد. برای اندازه گیری ترکیبات فنولی ۱۰ میلی لیتر متانول ۷۰٪ به یک گرم عصاره اضافه شد که غلظت نهایی عصاره معادل ۱۰۰ میلی گرم بر میلی لیتر حلال بود (۶۴).

۲-۲-۲-۲-استخراج ترکیبات فنولی باند شده

برای استخراج ترکیبات فنولی باند شده مطابق روش چنو همکاران^۲ (۲۰۱۵) عمل شد. باقیمانده های کنجد استحصالی از مرحله استخراج ترکیبات فنولی آزاد با استفاده از گاز نیتروژن به مدت ۲ دقیقه تیمار شد و سپس به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق در معرض ۲۰ میلی لیتر سود ۴ مولار قرار گرفت. ترکیب بدست آمده با استفاده از اسید هیدروکلریک ۱۰ مولار خنثی سازی شد. ۲۰ میلی لیتر هگزان به باقیمانده کنجد اضافه شد تا باقیمانده های چربی جدا سازی شود. پس از سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه در ۲۷۰۰g، باقیمانده آن ۵ مرتبه با اتیل استات شسته شد. سپس در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد در آون تحت خلاء حلال-زدایی و خشک شد. برای اندازه گیری ترکیبات فنولی باند شده ۱۰ میلی لیتر متانول ۷۰٪ به یک گرم عصاره اضافه شد

که غلظت نهایی عصاره معادل ۱۰۰ میلی گرم بر میلی لیتر حلال بود (۱۲).

۲-۲-۳-اندازه گیری ترکیبات فنولی کنجد

مقدار کل ترکیبات فنولی از طریق روش طیفسنجی با معرف فولین-سیوکالچو مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بر اساس میلی گرم اسید گالیک بر گرم عصاره بیان شد. در این روش ۵ میلی لیتر معرف فولین سیوکالچو که به نسبت ۱۰ به ۱ با آب مقطر رقیق شده بود، با ۰/۵ میلی لیتر از عصاره مخلوط گردید. سپس ۴ میلی لیتر سدیم کربنات (۱ مولار) به آن اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آبی با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند تا فاز آبی گسترش یابد و سپس جذب آن در ۷۶۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر UV-Vis (instrument Ltd, England T80+, PG) خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد از گالیک اسید استفاده شد (۳۶). محلول پایه ای از اسید گالیک با غلظت ۱ گرم بر لیتر تهیه گردید. از این محلول پایه، غلظت های مختلف (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی گرم بر میلی لیتر) گالیک اسید در متانول:آب (۵۰:۵۰) آماده شد و پس از انجام مراحل مختلف مطابق روش ذکر شده در بالا مقدار جذب نمونه ها خوانده شد. پس از رسم منحنی کالیبراسیون گالیک اسید، با قرار دادن مقدار جذب صافه در معادله خطی ($Y = 1.12x + 0.099$) مقدار ترکیبات فنولی عصاره بر اساس میلی گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم دانه بیان شد (۲۵).

۲-۲-۴-اندازه گیری فعالیت پاداکسندگی ترکیبات فنولی

برای ارزیابی فعالیت پاداکسندگی ترکیبات فنولی از روش های مهاررادی کال آزاد ABTS^۳، بی رنگ شدن بتاکاروتن:لینولئیک اسید (۵۵)، و پایداری اکسایشی (OSI^۴) استفاده شد (۱۸). غلظت های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر از ترکیبات فنولی آزاد و باند شده تهیه شد و فعالیت پاداکسندگی آن‌ها با ۱۰۰ ppm پاداکسندگی سنتزی TBHQ مقایسه گردید.

3- 2, 2'-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid
4-Oxidative Stability Index

1- Zhou et al
2- Chen et al

۲-۲-۵- نانوریزپوشانی ترکیبات پلی فنولی

صمغ دانه شنبلیله و دانه خرفه به روش کارازیان و همکاران^۱ (۲۰۰۹) استخراج شد (۲۹). ترکیب ۱ به ۱ صمغ‌ها به عنوان ماده پوششی دیواره جهت نانوریزپوشانی انتخاب شدند. صمغ‌ها برای رسیدن به ماده جامد کل ۳۰ درصد، در آب دیونیزه مخلوط شد. از همزن مغناطیسی (IKA, RH basic2, Germany) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط برای انحلال بهتر ترکیبات استفاده شد. محلول جهت تکمیل فرآیند جذب آب به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. ترکیبات فنولی آزاد به نسبت ۷٪، به فاز روغنی که حاوی ۲۵٪ توئین ۸۰ و ۶۸٪ روغن ماهی کیلکا بود اضافه شد و به مدت ۳ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بهم زده شد. سپس با استفاده از همگن‌ساز اولتراتوراکس (IKA, T25D, Staufen, Germany) با سرعت ۱۲۰۰۰ rpm در ۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه هموژن شدند. نانوامولسیون تشکیل شده به آرامی و با نسبت ۲:۱۰ به محلول‌های پوششی صمغ در حال هم زدن با سرعت ۵۰ دور بر دقیقه افزوده شد. برای کاهش بیشتر اندازه ذرات از دستگاه مولد فراصوت نوع پروپ با شدت ۷۰٪ و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز (UP 200S, Dr. Hielscher, Germany) با تعداد ۶ سیکل، زمان هر سیکل ۳۰ ثانیه و زمان استراحت ۱۵ ثانیه بین سیکل‌ها استفاده شد. برای خشک کردن نانوذرات از خشک کن انجمادی (Zirbus Vaco5, Germany) در فشار ۰/۰۱۷ میلی‌پاسکال در دمای ۵۷- درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد (۳۰).

۲-۲-۶- تعیین اندازه ذرات و پتانسیل زتا

متوسط اندازه ذرات و پتانسیل زتا با کمک دستگاه انکسار نور لیزر (Zetasizer Nano ZS, Malvern Instruments, UK) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها با استفاده از آب دیونیزه تا ۲۰ بار رقیق شدند (۴۸).

۲-۲-۷- تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن ماهی کیلکا

تعیین عدد یدی، عدد اسیدی، مواد غیر قابل صابونی، شاخص رنگی و درصد ترکیبات قطبی کل از روش AOCS به ترتیب به شماره‌های 1-25, cd, 8-53, cd, 3a-63, cd, Dall-42 و Td 1b-64 انجام شد (۷).

۲-۲-۸- نگهداری روغن ماهی کیلکا و ارزیابی ساختار اسیدهای چرب

ترکیبات فنولی آزادواربته کنجدسیاه به شکل آزاد و نانوریزپوشانی در غلظت ۱۰۰۰ ppm به روغن ماهی کیلکا اضافه شد. یک نمونه شاهد فاقد پاداکسندگی به عنوان شاهد و یک نمونه حاوی ۱۰۰ ppm پاداکسندگی سنتزی TBHQ برای ارزیابی تاثیر پاداکسندگی طبیعی و سنتزی استفاده شد. نمونه‌های روغن ماهی کیلکا به مدت ۴۰ روز در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. ساختار اسیدهای چرب روغن در روز صفر و روز ۴۰ دوره نگهداری مطابق با روش AOCS با شماره Cc13c-50 اندازه‌گیری شد (۷).

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های بدست آمده از این پژوهش با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با یکدیگر مقایسه شدند. آزمون آماری مورد استفاده آنوای یک طرفه و سطح اطمینان ۹۵٪ در نظر گرفته شد. میانگین داده‌های بدست آمده با استفاده از روش دانکن مقایسه و تجزیه و تحلیل شد. نرم‌افزار آماری مورد استفاده SPSS نسخه ۲۰ بود و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث**۳-۱- میزان ترکیبات فنولی ارقام مختلف کنجد**

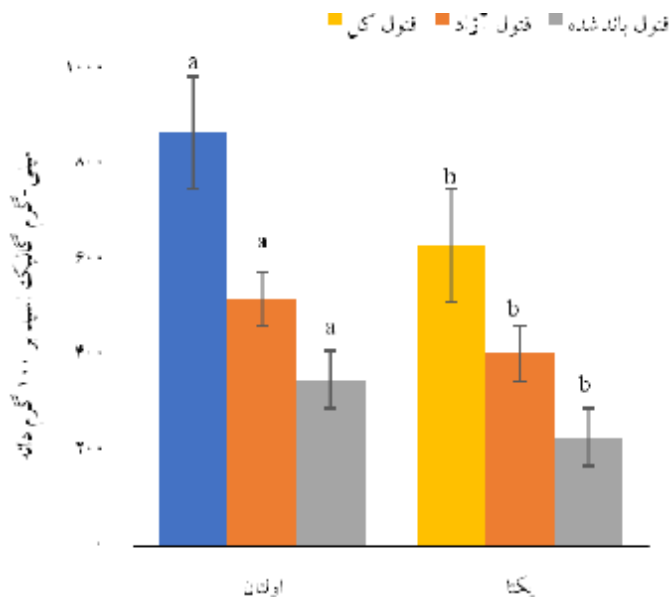
مقدار کل ترکیبات فنولی کنجد رقم اولتان و یکتا به ترتیب ۸۶۴/۷ و ۶۲۹/۲۳ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم دانه گزارش گردید (شکل ۱). ژو و همکاران (۲۰۱۶) مقدار ترکیبات فنولی رقم سیاه کنجد را بالاتر از رقم سفید اعلام

و ۰/۱۲ میلی گرم اسید گالیک بر گرم خشک عصاره گزارش نمودند (۳۷). نیگام و همکاران^۵ (۲۰۱۵) مقدار فنول کل عصاره متانولی کنجد را ۱۹/۴۸ میلی گرم بر گرم خشک کنجد گزارش نمودند (۴۲). خان و همکاران^۶ (۲۰۱۹) مقدار فنول کل در عصاره آبی ارقام مختلف کنجد را ۱۶۸/۹۸ تا ۳۳۲/۴۹ میلی گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم دانه، عصاره متانولی کنجد را ۶۸/۰۶ تا ۱۶۸/۴۰ میلی گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم دانه و عصاره هگزانی کنجد را ۳۱/۱۳ تا ۶۳/۸۲ میلی گرم اسید گالیک بر ۱۰۰ گرم دانه گزارش نمودند (۳۱). دلیل اختلاف جزئی بین مقادیر بدست آمده در پژوهش های مختلف می تواند مرتبط با شرایط استخراج از نظر زمان، دما، نوع حلال و نوع روش و دستگاه مورد استفاده باشد. عوامل ژنتیکی و محیطی نقش مهمی در نوع و محتوای فنولی ترکیبات مختلف بازی می کنند. همچنین رقم گیاه، شرایط محیطی و آب و هوای منطقه کشت گیاه، میزان تابش نور خورشید، شرایط خاک، فصل برداشت، درجه رسیدگی در زمان برداشت، عملیات پس از برداشت و شرایط نگهداری بر میزان ترکیبات فنولی گیاه مؤثر است (۱۶، ۲۲، ۵۳ و ۵۷).

نمودند (۶۴). در پژوهش دیگر شهیدی و همکاران^۱ (۲۰۰۶) نشان دادند مقدار ترکیبات فنولی کل در کنجد سیاه ۲۹/۹ میلی گرم اکی والان کاتچین بر گرم عصاره اتانولی) بیشتر از کنجد سفید (۲۹/۷ میلی گرم اکی والان کاتچین بر گرم عصاره اتانولی) است (۵۴). ترکیبات فنولی آزاد در هر دو رقم بیشتر از ترکیبات فنولی باند شده بود. مقدار ترکیبات فنولی آزاد رقم اولتان و یکتا به ترتیب ۵۱۶/۸۶ و ۴۰۲/۶ میلی گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم دانه بود. این مقدار برای ترکیبات فنولی باند شده به ترتیب ۳۴۷/۸۳ و ۲۲۶/۶۳ میلی گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ گرم دانه بود. یانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۸) مقدار ترکیبات فنولی آزاد جو بدون پوشش^۳ را بیشتر از ترکیبات فنولی باند شده اعلام نمودند که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است (۶۲). اسماعیل زاده کناریو همکاران (۲۰۱۴) میزان ترکیبات فنولی کل عصاره کیک کنجد در غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر را که با روش های مختلف و حلال های متفاوت استخراج شده بود را در محدوده ۲۲/۰۳ تا ۸۲/۸۹ گزارش نمودند (۱۶). مهدالی و همکاران^۴ (۲۰۱۰) مقدار ترکیبات فنولی عصاره های متانولی، اتانولی، استونی، هگزانی، دی اتیل اتری و پترولیوم اتری کیک کنجد را به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۵۵، ۰/۲۴، ۰/۱۲، ۰/۱۳

5- Nigam et al
6- Khan et al

1- Shahidi et al
2- Yang et al
3- Highland barley
4- Mohdaly et al

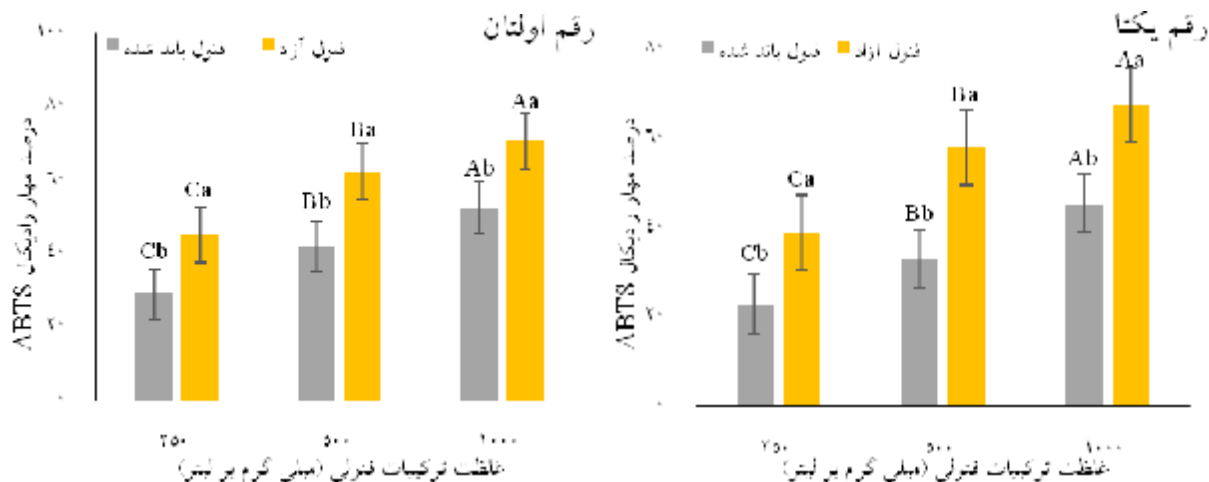


شکل ۱- مقدار ترکیبات فنولی کل، آزاد و باند شده کنجد رقم یکتا و اولتان. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری بین ارقام مختلف در سطح ۰/۰۵ درصد است.

۳-۲- فعالیت پاداکسندگی پلی فنول‌های کنجد

نتایج مربوط به خاصیت پاداکسندگی فنول آزاد و باند شده دو رقم کنجد اولتان و یکتا که با روش مهاررادیکال آزاد ABTS و بی‌رنگ شدن بتاکاروتن:لینولئیک اسید اندازه‌گیری شده است به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو روش ارزیابی فعالیت پاداکسندگی با افزایش غلظت ترکیبات فنولی از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، فعالیت پاداکسندگی افزایش یافته و تغییرات از نظر آماری معنی‌دار ($p < 0.05$) است. این نشان می‌دهد که ترکیبات

فنولی آزاد و باند شده کنجد توانایی جاروب‌کنندگی رادیکال-های ABTS را دارا هستند. این نتایج با نتایج پژوهش ژو و همکاران (۲۰۱۶) در مورد بالاتر بودن میزان فعالیت پاداکسندگی ترکیبات فنولی آزاد نسبت به باند شده در دو روش^۱ ORAC و^۲ PSC در کنجد مطابقت دارد. سزامول، سزامین و سزامولین مهمترین ترکیبات فنولی آزاد استخراجی در کنجد هستند در حالیکه سزامول می‌تواند به صورت آزاد و یا باند شده وجود داشته باشد (۶۴).



شکل ۲- خاصیت پاداکسندگی فنول آزاد و باند شده کنجد رقم یکتا و اولتان به روش مهار رادیکال ABTS.

*حروف بزرگ غیر مشابه و میله خطا نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری بین غلظت‌های مختلف (نوع فنول یکسان) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

*حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری بین انواع مختلف فنول (غلظت ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

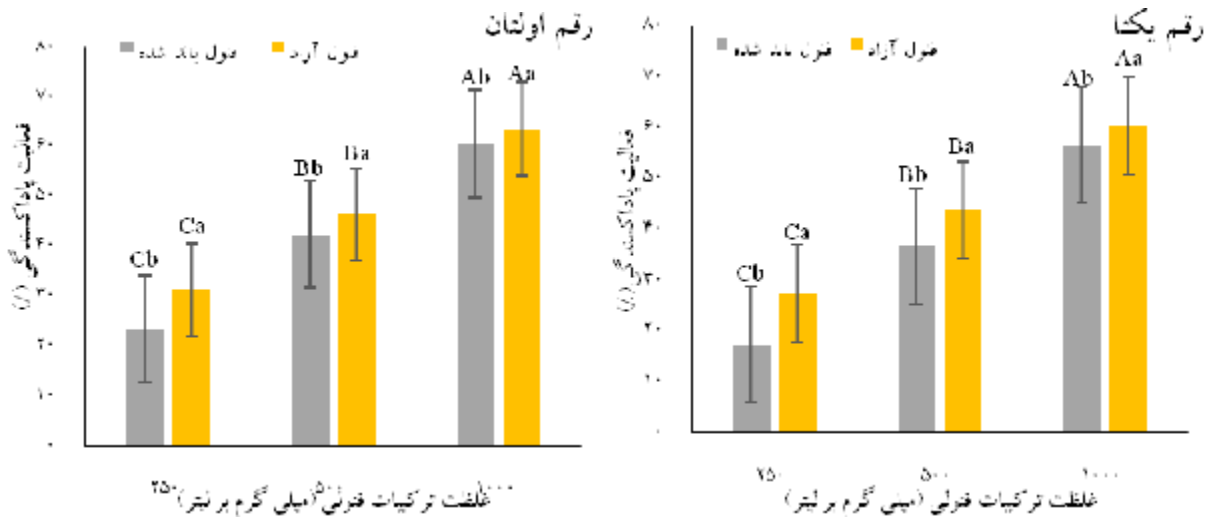
استفاده نمودند که مشخص گردید بین غلظت ترکیبات فنولی با فعالیت پاداکسندگی همبستگی بالایی وجود دارد (۳۴). بانگ و همکاران (۲۰۱۸) همبستگی مثبت بین مقدار ترکیبات فنولی و خاصیت پاداکسندگی نشان دادند. آن‌ها اعلام نمودند ترکیبات فنولی آزاد و باند شده همبستگی بسیار بالایی با ظرفیت مهار رادیکال‌های ABTS دارند (۶۲).

نتایج بررسی سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد ارقام مختلف کنجد (سفید یا طلایی) دارای فعالیت پاداکسندگی است. آن‌ها همچنین همبستگی بالایی بین میزان ترکیبات فنولی و خاصیت پاداکسندگی گزارش نمودند (۱۴، ۲۴، ۲۶، ۴۴ و ۶۴). لئونتویکز و همکاران^۱ (۲۰۱۶) از روش‌های FRAP^۲، ABTS و DPPH^۳ برای ارزیابی فعالیت پاداکسندگی عصاره میوه کیوی استفاده میوه کیوی

¹- Leontowicz et al

²- Ferric ion Reducing Antioxidant Power

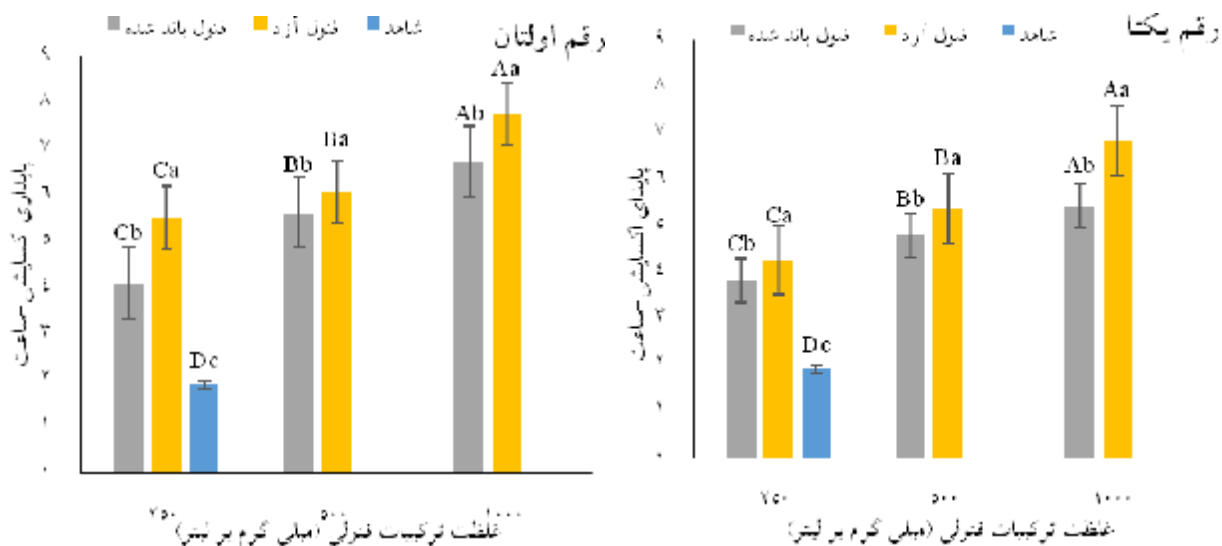
³- 2,2-phenyl-1-picrylhydrazyl



شکل ۳- خاصیت پاداکسندگی فنول آزاد و باند شده کنجد رقم یکتا و اولتان به روش بی‌رنگ شدن بتاکاروتن:لینولئیک اسید. *حروف بزرگ غیر مشابه و میله خطا نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین غلظت‌های مختلف (نوع فنول یکسان) در سطح ۰/۰۵ درصد است. *حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین انواع مختلف فنول (غلظت ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

برای پاداکسندگی سنتزی مذکور برابر ۶۳/۴۸ درصد بود. با توجه به مقدار ترکیبات فنولی دو رقم کنجد و همچنین به دلیل عدم اختلاف معنی‌دار آماری بین مهاررادیکال آزاد ABTS و خاصیت بی‌رنگ شدن بتاکاروتن:لینولئیک اسید بین ۱۰۰ ppm پاداکسندگی سنتزی TBHQ و ۱۰۰۰ ppm از فنول آزاد، این غلظت از فنول آزاد برای نانوریزپوشانی و تزریق به روغن ماهی کیلکا انتخاب شد.

در شکل ۴ نتایج مربوط به پایداری اکسایشی روغن ماهی کیلکا نشان داده شده است. با افزایش غلظت ترکیبات فنولی، به علت افزایش خاصیت پاداکسندگی پایداری اکسایشی روغن افزایش یافت و کمترین پایداری اکسایشی مربوط به نمونه روغن بدون پاداکسندگی بود. در روش مهار رادیکال آزاد ABTS میزان مهار ۱۰۰ ppm پاداکسندگی سنتزی TBHQ برابر ۷۵/۷۶ درصد و میزان بی‌رنگ شدن بتاکاروتن:لینولئیک اسید



شکل ۴- پایداری اکسایشی فنول آزاد و باند شده کنگجد وارسته یکتا و اولتان به روش رنسیمت.

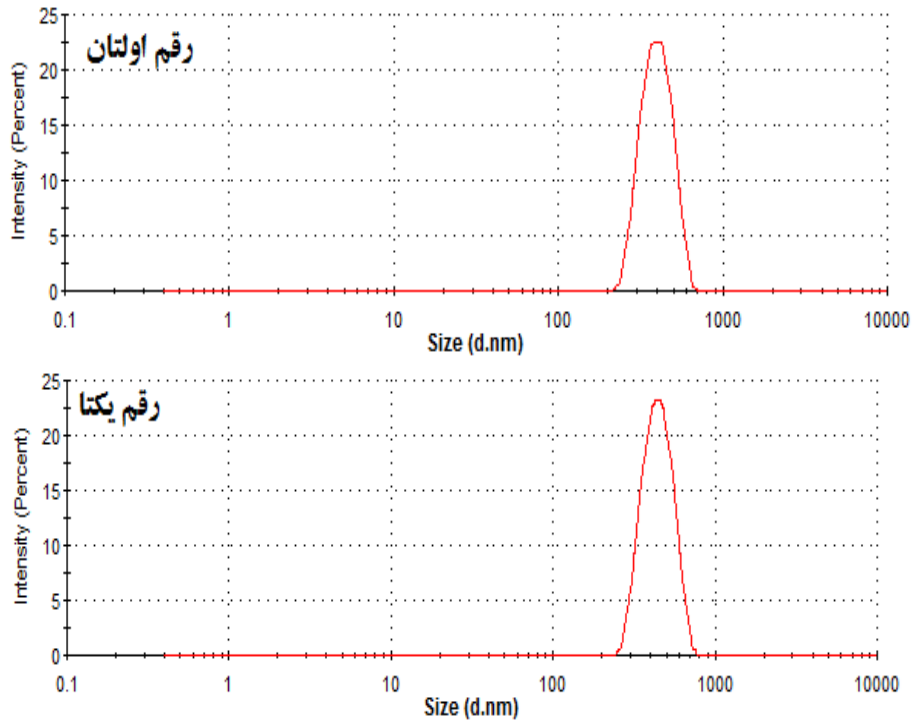
*حروف بزرگ غیر مشابه و میله خطا نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری بین غلظت‌های مختلف (نوع فنول یکسان) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

*حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری بین انواع مختلف فنول (غلظت ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

شده دارای اندازه ذرات ۴۱۷/۳ نانومتر و برای رقم یکتا ۵۰۳/۲۲ نانومتر بودند. امروزه استفاده از صمغ‌های بومی به عنوان جایگزینی برای پلیمرهای سنتزی افزایش یافته است و با توجه به اهمیت نگهدارنده‌های طبیعی در مواد غذایی، با استفاده از ریزپوشانی عصاره‌ها در پوشش‌های بر پایه صمغ‌های بومی می‌توان به این مهم دست یافت. ریزپوشانی ترکیبات موثره گیاهی (پلی فنول‌ها) به صورت تشکیل پوشش‌های امولسیون‌ی جهت محافظت از ترکیبات فنولی در برابر آسیب‌های محیطی انجام می‌شود (۲۸).

۳-۳- اندازه ذرات نانوکپسول‌ها

پراکندگی نور پویا (DLS) رایج‌ترین فناوری برای تعیین اندازه نانو ذرات و ریزمیکرون‌های پخش شده در مایع است. این فناوری به تعامل نور با ذرات متکی است. نوری که توسط نانوذرات در حالت تعلیق پراکنده می‌شود با گذشت زمان مرتعش می‌شود و می‌توان دوباره قطر ذرات را تصریح کرد (۲۰). اندازه ذرات در مورد امولسیون‌ها پارامتر بسیار مهمی است. اندازه نانوذرات پلی فنول آزاد نانوریزپوشانی شده در دیواره صمغ دانه خرفه و شنبلله در شکل ۵ نشان داده شده است. ترکیبات پلی فنولی آزاد کنگجد رقم اولتان نانوریزپوشانی

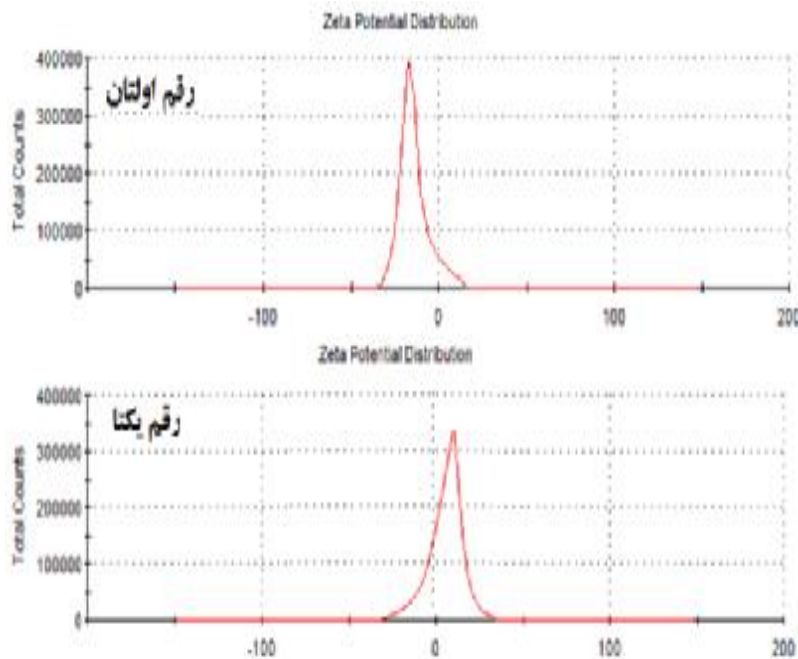


شکل ۵- اندازه ذرات پلی فنول‌های نانوریزپوشانی شده کنجد رقم یکتا و اولتان

۳-۴- پتانسیل زتا نانوکپسول‌ها

پتانسیل زتا بر روی میزان تجمع و بهم پیوستن نانوذرات تأثیر دارد و نقش مهمی بر پایداری امولسیون‌ها دارد (۵۱). نتایج مربوط به پتانسیل زتا نمونه‌های پلی فنول آزاد نانوریزپوشانی شده در شکل ۶ نشان داده شده است. پتانسیل زتا برای نانوذرات رقم اولتان برابر ۲/۲۶- و برای نانوذرات رقم یکتا برابر ۳۶/۲۰- میلی ولت بود. منفی بودن پتانسیل زتا در نانوذرات مختلف مرتبط با وجود ترکیبات آنیونی در صمغ و ترکیبات

فنولی کنجد است. پتانسیل زتا نانوذرات در محدوده ۰ تا ۳۰- قرار داشت که نشان دهنده ناپایدار بودن نانوذرات می‌باشد. پتانسیل زتا منفی برای فنول استخراج شده از پوست بنهم‌محصول شده در صمغ دانه ریحان (۱۵) عصاره پوست کیوی در صمغ دانه‌های ریحان و قدومه شهری (۲)، ترکیبات فنول آزاد و باند شده پوست کیوی در صمغ دانه شاهی (۳) و نانوذرات صمغ دانه شاهی گزارش شده است (۵۸).



شکل ۶- پتانسیل زتا پلی فنول های نانوریزپوشانی شده کنجد رقم یکتا و اولتان

روغن ماهی هوکی را ۲۲/۳۴ گزارش نمودند که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است و دلیل اختلاف جزئی نوع ماهی مورد استفاده می باشد (۳۲). آبرامویک و آبرام^۳ (۲۰۰۵) مقدار ضریب شکست و دانسیته نوعی روغن ماهی به نام (*Camelinasativa*) را اندازه گیری و به ترتیب ۱/۴۷۵۶ و ۰/۹۲۰۷ گزارش نمودند که دلیل اختلاف جزئی مرتبط با نوع ماهی می باشد که در این پژوهش از روغن ماهی کیلکا استفاده شده است. آن ها همچنین مقدار C20:0 و C18:3ω3 را به ترتیب ۱/۲۴٪ و ۳۵/۲٪ اعلام نمودند که با مقدار بدست از پژوهش آبرامویک و آبرام^۳ (۲۰۰۵) مطابقت دارد (۵). نتایج بدست آمده از پژوهشی جرجانی^۴ (۲۰۱۴) در مورد ترکیب اسیدهای چرب روغن ماهی کیلکا با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۲۷). مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۰۹۳ مقدار اندیس پارآنیزیدین در روغن ماهی در محدوده ۳۱/۵۴-۲۵/۴۶ گزارش شده است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می باشد. اثنی عشری و همکاران^۵ (۲۰۱۹) عددیدی روغن ماهی کیلکا ر ۱۱۴/۹۹ I2/100 g oil g گزارش نمودند (۸).

ترکیبات پلی فنولی کنجد رقم اولتان به شکل آزاد و نانوریزپوشانی شده در غلظت ۱۰۰۰ ppm به روغن ماهی کیلکا بدون پاداکسنده افزوده شدند تا اثرات پاداکسندگی آن ها با پاداکسنده سنتزی TBHQ طی شرایط تسریع شده مقایسه شود. دلیل انتخاب نانوذرات پلی فنولی رقم اولتان، کوچکتر بودن اندازه نانوذرات و بزرگتر بودن قدر مطلق پتانسیل زتا می باشد.

۳-۵- خصوصیات روغن ماهی اولیه

روغن ها از منابع مهم اسیدهای چرب ضروری در رژیم غذایی هستند و اهمیت آن ها مرتبط با غیر اشباعیت بالای آن ها است. نتایج مربوط به خصوصیات روغن ماهی اولیه در جدول ۱ نشان داده شده است. در یک پژوهش ساسکیمتو و همکاران^۱ (۲۰۱۵) مقدار اسیدهای چرب آزاد و عدد پراکسید روغن ماهی کیلکا را به ترتیب ۱/۶ و ۲/۷ گزارش نمودند که با نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد (۴۰). آن ها همچنین مقدار اسید چرب C14:0 را ۵/۹۶ گزارش نمودند که با نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد. کیندل سیدس و همکاران^۲ (۲۰۱۲) ارزش توتوکس

3- Abramovic and Abram

4-Jorjani

5- Asnaashari et al

1-Nascimento

2-Kindleysides et al

جدول ۱- خصوصیات روغن ماهی اولیه

اسید چرب	مقدار (%)	پارامتر اندازه‌گیری شده	مقدار
C۱۴:۰	۶/۰۵	فنول کل (mg GA/Kg oil)	۱۳۰/۰۳
C۱۶:۰	۱۵/۱۰	دانسیته نسبی در دمای ۱۵°C	۰/۹۱۶
C۱۶:۱	۱۳/۲۸	ضریب شکست	۱/۴۶
C۱۷:۰	۱/۴۷	عدد یدی (g I _۲ /۱۰۰ g Oil)	۱۳۴/۰
C۱۸:۰	۳/۸۴	عدد پراکسید (meq O _۲ /Kg Oil)	۲/۴
C۱۸:۱	۲۸/۳۶	اسیدهای چرب آزاد %	۱/۵
C۱۸:۲	۷/۹۱	اندیس پاراآئیزیدین (mg/Kg)	۲۶۳۵
C۱۸:۳	۳۱/۱۱	ارزش توتوکس	۲۱/۱۴
C۲۰:۰	۱/۲	مقدار کاروتنوئید (ng/ml)	۱۷۱/۵
C۲۲:۶	۵/۴	ضریب خاموشی m ^u (K۲۳۰)	۴۷/۳۳

۳-۶- تغییرات ساختار اسیدهای چرب آن طی شرایط تسریع شده

روش‌های مختلفی برای ارزیابی تغییرات روغن طی دوره نگهداری وجود دارد و ارزیابی ساختار اسیدهای چرب یکی از این روش‌ها است (۴۷). ساختار اسیدهای چرب هر روغن یک شاخص مهم و ضروری برای تعیین ارزش تغذیه‌ای روغن محسوب می‌شود (۱). در جداول ۲ و ۳ ساختار اسیدهای چرب نمونه‌های مختلف روغن ماهی در روز ۰ و ۴۰ دوره آون‌گذاری نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان تغییر در ساختار اسیدهای چرب در نمونه روغن شاهد

اتفاق افتاده است. در نمونه‌های روغن حاوی فنول نانوریزپوشانی شده کمترین تغییرات در ساختار اسیدهای چرب مشاهده شد و بیشترین تغییر مربوط به نمونه شاهد بود. در پژوهشی صیاد و قمی^۱ (۲۰۱۷) ساختار اسیدهای چرب روغن ماهی کیلکا استخراج شده با روش‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها در مورد درصد اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع با نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر مطابقت داشت (۵۲). نتایج مشابه با این تغییرات توسط رادونیوتی و همکاران (۲۰۱۱) برای روغن ماهی آبی گزارش شده است (۴۷)

جدول ۲- ساختار اسیدهای چرب اشباع نمونه‌های روغن در ابتدا و انتهای دوره آون‌گذاری (۶۰°C) برحسب درصد

اسید چرب	فاقد پاداکسنده		حاوی TBHQ		حاوی فنول آزاد		حاوی فنول نانوریزپوشانی	
	روز ۰	روز ۴۰	روز ۰	روز ۴۰	روز ۰	روز ۴۰	روز ۰	روز ۴۰
C۱۴:۰	۶/۷۵ ^{Ba}	۷/۹۱ ^{Abc}	۶/۶۳ ^{Ba}	۸/۲۳ ^{Aa}	۶/۵۹ ^{Ba}	۸/۰۲ ^{Ab}	۶/۷۴ ^{Ba}	۷/۶۳ ^{Ad}
C۱۶:۰	۲۱/۰۵ ^{Ba}	۲۵/۲۸ ^{Ab}	۲۱/۰۰ ^{Ba}	۲۵/۹۳ ^{Aa}	۲۱/۰۷ ^{Ba}	۲۵/۰۶ ^{Ac}	۲۱/۰۶ ^{Ba}	۲۴/۱۵ ^{Ac}
C۱۷:۰	۱/۲۹ ^{Ba}	۱/۵۲ ^{Ab}	۱/۲۴ ^{Ba}	۱/۶۱ ^{Aa}	۱/۲۷ ^{Ba}	۱/۶۱ ^{Aa}	۱/۳۵ ^{Ba}	۱/۴۳ ^{AcD}
C۱۸:۰	۵/۰۸ ^{Aa}	۶/۰۲ ^{Bd}	۵/۰۴ ^{Aa}	۶/۰۵ ^{Bd}	۵/۰۳ ^{Aa}	۵/۲۰ ^{Bc}	۵/۱۸ ^{Ba}	۵/۸۰ ^{Aa}
C۲۰:۰	۱/۳۶ ^{Ba}	۱/۷۰ ^{Aa}	۱/۳۱ ^{Ba}	۱/۶۱ ^{Ab}	۱/۴۲ ^{Ba}	۱/۵۸ ^{Ab}	۱/۳۳ ^{Ba}	۱/۵۱ ^{Ac}
C۲۲:۰	۰/۲۰ ^{Ba}	۰/۲۵ ^{Abc}	۰/۲۵ ^{Ba}	۰/۲۸ ^{Aab}	۰/۲۱ ^{Ba}	۰/۲۶ ^{Ab}	۰/۲۲ ^{Ba}	۰/۲۹ ^{Aa}
جمع	۹۹/۳۶	۹۳/۴۸	۹۸/۷۶	۹۳/۹۸	۹۹/۰۷	۹۳/۳۵	۹۹/۶۲	۹۴/۵۸

*حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین روزهای مختلف (نمونه ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

*حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین نمونه‌های مختلف (روز ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

اسیدهای چرب چند غیراشباعی منجر به افزایش پایداری روغن شود. هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند حین فرآیند اکسایش روغن‌های خوراکی ساختار اسیدهای چرب روغن دستخوش تغییر می‌شود که میزان اسیدهای چرب غیراشباع در روغن کاهش و میزان اسیدهای چرب اشباع روغن افزایش می‌یابد. بیشتر بودن تعداد باندهای دو گانه در روغن‌ها منجر به حساسیت آن‌ها به فعالیت‌های اکسایش می‌شود. فرآیند حرارتی روغن ذرت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۸ ساعت نشان داد در پایان فرآیند حرارتی اسیدهای چرب غیراشباع در نمونه‌های حاوی عصاره بهار نارنج بیشتر از نمونه شاهد فاقد پاداکسنده بود (۴). روسماریلین و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند کپسول‌های عصاره کنجد دارای خاصیت پاداکسندگی است که مرتبط با حضور ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در آن است (۵۰).

اوزیوت و یسیلسو^(۲۰۱۹) فعالیت پاداکسندگی عصاره‌های آویشن، برگ بو و رزماری را در افزایش پایداری اکسایشی روغن ماهی مورد بررسی قرار دادند و بیشترین تغییرات در ساختار اسیدهای چرب نمونه شاهد ایجاد شد و نمونه‌های حاوی عصاره دستخوش تغییرات کمتری شدند (۶۳). اسماعیل‌زاده کناری و همکاران (۱۳۹۶) تاثیر عصاره پوست کیوی بر ساختار اسیدهای چرب روغن آفتابگردان در شرایط حرارتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد اختلاف بین مقادیر اسید استتاریک بین نمونه روغن حاوی پاداکسنده TBHQ و عصاره معنی‌دار نبود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۱). به طور کلی نانوکپسول‌ها توانسته‌اند از تغییرات محسوس در نمونه‌های روغن ماهی جلوگیری کنند. هرچند این به معنی پایداری بیشتر روغن نمی‌باشد چراکه در برخی موارد ممکن است کاهش

جدول ۳- ساختار اسیدهای چرب غیر اشباع نمونه‌های روغن در ابتدا و انتهای دوره آون‌گذاری (۶۰°C) برحسب درصد

اسید چرب	فاقد پاداکسندگی		حاوی TBHQ		حاوی فنول آزاد		حاوی فنول نانوریزپوشانی	
	روز ۰	روز ۴۰	روز ۰	روز ۴۰	روز ۰	روز ۴۰	روز ۰	روز ۴۰
C16:1	۱۰/۲۳ ^{Aa}	۸/۲۵ ^{Bb}	۱۰/۲۹ ^{Aa}	۸/۰۶ ^{Bc}	۱۰/۳۱ ^{Aa}	۸/۲۸ ^{Bb}	۱۰/۲۲ ^{Aa}	۸/۷۵ ^{Ba}
C17:1	۰/۹۴ ^{Aa}	۰/۷۴ ^{Bbc}	۰/۹۷ ^{Aa}	۰/۷۱ ^{Bc}	۰/۹۳ ^{Aa}	۰/۷۶ ^{Bb}	۰/۹۴ ^{Aa}	۰/۸۲ ^{Ba}
C18:1	۳۰/۶۴ ^{Aa}	۲۴/۵۰ ^{Bbc}	۳۰/۵۵ ^{Aa}	۲۴/۲۲ ^{Bc}	۳۰/۶۳ ^{Aa}	۲۴/۸۰ ^{Bb}	۳۰/۶۲ ^{Aa}	۲۵/۹۷ ^{Ba}
C18:2	۲/۱۹ ^{Aa}	۱/۷۴ ^{Bb}	۲/۱۴ ^{Aa}	۱/۷۳ ^{Bb}	۲/۱۷ ^{Aa}	۱/۸۱ ^{Ba}	۲/۲۳ ^{Aa}	۱/۸۲ ^{Ba}
C18:3	۱/۰۹ ^{Aa}	۰/۸۹ ^{Ba}	۱/۰۲ ^{Aa}	۰/۸۸ ^{Ba}	۱/۱۱ ^{Aa}	۰/۸۷ ^{Ba}	۱/۰۸ ^{Aa}	۰/۸۷ ^{Ba}
C20:1	۱/۷۴ ^{Aa}	۱/۳۸ ^{Bb}	۱/۶۴ ^{Aa}	۱/۳۷ ^{Bb}	۱/۷۲ ^{Aa}	۱/۴۲ ^{Ba}	۱/۷۵ ^{Aa}	۱/۳۹ ^{Bb}
C20:2	۰/۱۱ ^{Aa}	۰/۱۲ ^{Aa}	۰/۱۲ ^{Aa}	۰/۰۹ ^{Ba}	۰/۱۵ ^{Aa}	۰/۱۱ ^{Ba}	۰/۱۴ ^{Aa}	۰/۱۰ ^{Ba}
C20:3	۰/۲۹ ^{Aa}	۰/۲۵ ^{Ba}	۰/۳۴ ^{Aa}	۰/۱۹ ^{Bb}	۰/۳۱ ^{Aa}	۰/۲۷ ^{Ba}	۰/۳۳ ^{Aa}	۰/۲۹ ^{Ba}
C20:4	۰/۳۵ ^{Aa}	۰/۲۷ ^{Ba}	۰/۳۲ ^{Aa}	۰/۲۸ ^{Ba}	۰/۳۴ ^{Aa}	۰/۲۶ ^{Ba}	۰/۳۲ ^{Aa}	۰/۲۷ ^{Ba}
C20:5	۵/۴۲ ^{Aa}	۴/۳۶ ^{Bd}	۵/۴۷ ^{Aa}	۴/۲۶ ^{Be}	۵/۴۵ ^{Aa}	۴/۳۷ ^{Bd}	۵/۴۰ ^{Aa}	۴/۶۵ ^{Bb}
C22:1	۰/۱۵ ^{Aa}	۰/۱۲ ^{Aa}	۰/۱۷ ^{Aa}	۰/۰۹ ^{Bb}	۰/۱۵ ^{Aa}	۰/۱۱ ^{Bab}	۰/۱۳ ^{Aa}	۰/۱۴ ^{Aa}
C22:4	۰/۱۹ ^{Aa}	۰/۱۸ ^{Aa}	۰/۲۲ ^{Aa}	۰/۱۹ ^{Ba}	۰/۲۲ ^{Aa}	۰/۱۸ ^{Ba}	۰/۲۲ ^{Aa}	۰/۱۹ ^{Ba}
C22:5	۰/۵۸ ^{Aa}	۰/۵۱ ^{Ba}	۰/۵۳ ^{Aa}	۰/۴۹ ^{Ba}	۰/۶۴ ^{Aa}	۰/۴۹ ^{Ba}	۰/۶۱ ^{Aa}	۰/۴۵ ^{Ba}
C22:6	۹/۷۱ ^{Aa}	۷/۴۸ ^{Bd}	۹/۵۱ ^{Aa}	۷/۶۹ ^{Bc}	۹/۳۵ ^{Aa}	۷/۹۰ ^{Bb}	۹/۷۵ ^{Aa}	۸/۰۸ ^{Ba}
جمع	۹۹/۳۶	۹۱/۴۸	۹۸/۷۶	۹۱/۹۸	۹۹/۰۷	۹۲/۳۵	۹۹/۶۲	۹۴/۵۸

*حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین روزهای مختلف (نمونه ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

*حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار آماری بین نمونه‌های مختلف (روز ثابت) در سطح ۰/۰۵ درصد است.

۴- نتیجه گیری

به شکل آزاد و نانوریزپوشانی شده به روغن ماهی کیلکا افزوده شدند و تغییرات ساختار اسیدهای چرب، نشان‌دهنده اثرات پاداکسندگی بالاتر پلی فنول‌های نانوریزپوشانی شده بود. نتایج این تحقیق استفاده از پلی فنول‌های نانوریزپوشانی شده کنجد را به عنوان پاداکسندگی طبیعی برای افزایش پایداری روغن ماهی کیلکا پیشنهاد می‌نماید.

۵- سپاسگزاری

این مقاله حاصل نتایج بدست آمده از طرح پژوهشی به شماره ۲۶-۱۳۹۹-۰۲ است که بدین وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اعلام می‌دارند.

در این پژوهش تأثیر پاداکسندگی پلی فنول‌های کنجد سیاه رقم اولتان در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به دو شکل آزاد و نانوریزپوشانی شده بر تغییرات ساختار اسیدهای چرب روغن ماهی کیلکاپس از ۴۰ روز نگهداری در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد هر دو رقم اولتان و یکتا دارای ترکیبات فنولی و خاصیت پاداکسندگی بودند و رقم اولتان فعالیت پاداکسندگی بیشتری نشان داد. نانوریزپوشانی پلی فنول‌های آزاد کنجد در دیواره صمغ دانه خرفه و شنبلیله نشان‌دهنده پایدار بودن بیشتر پلی فنول‌های رقم اولتان از نظر پتانسیل زتا و اندازه کوچکتر نانوذرات بود. پلی فنول‌های کنجد رقم اولتان

۶_ منابع

8. Asnaashari, M., Farhoosh, R. and Farahmandfar, R. 2019. Preservation of gallic acid and methyl gallate on purified Kilka fish oil oxidation by Rancimat. *Food science & nutrition*, 7(12): 4007-4013.
9. Asnani, G. P., Bahekar, J. and Kokare, C. R. 2018. Development of novel pH-responsive dual crosslinked hydrogel beads based on Portulaca oleracea polysaccharide-alginate-borax for colon specific delivery of 5-fluorouracil. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 48: 200-208.
10. Avachat, A. M., Dash, R. R. and Shrotriya, S. N. 2011. Recent investigations of plant based natural gums, mucilages and resins in novel drug delivery systems. *Ind J Pharm Edu Res*, 45(1): 86-99.
11. Calvo, P., Lozano, M., Espinosa-Mansilla, A. and González-Gómez, D. 2012. In-vitro evaluation of the availability of ω -3 and ω -6 fatty acids and tocopherols from microencapsulated walnut oil. 48(1): 316-321.
12. Chen, Y., Chen, G., Fu, X. and Liu, R. H. 2015. Phytochemical profiles and antioxidant activity of different varieties of Adinandra tea (Adinandra Jack). *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(1): 169-176.
13. Coruh, N., Celep, A. S. and Özgökçe, F. 2007. Antioxidant properties of Prangosferulacea (L.) Lindl., Chaerophyllum macropodum Boiss. and Heracleum persicum Desf. from Apiaceae family used as food in Eastern Anatolia and their inhibitory effects on glutathione-S-transferase. *Food Chemistry*, 100(3): 1237-1242.
14. Dachtler, M., van de Put, F. H., v. Stijn, F., Beindorff, C. M. and Fritsche, J. 2003. On-line LC-NMR-MS characterization of sesame oil extracts and assessment of their antioxidant activity. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 105(9): 488-496.
15. Delfanian, M., Razavi, S. M., Khodaparast, M. H. H., Kenari, R. E. ۱. اسماعیل زاده کناری، ر.، مهدی پور، س. ز. و رضوی، ر. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات اسیدهای چرب و خصوصیات آنتی اکسیدانی عصاره پوست کیوی (*Actinidia deliciosa*) در پایدارسازی روغن آفتابگردان طی شرایط حرارتی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد ۱۴، شماره ۶۸، ۱۲۵-۱۳۶.
۲. پورشایگان، م.، اسماعیل زاده کناری، ر. و فرهمندفر، ر. ۱۳۹۸. اثرات جدا و ترکیبی نانو پوشش های صمغ دانه ریحان و قدومه شهری حاوی عصاره پوست کیوی در جهت افزایش عمر نگهداری گوشت تازه گوسفند. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد ۱۶، شماره ۸۸، ۸۳-۹۵.
۳. مبصری، ن.، اسماعیل زاده کناری، ر. و رضوی، ر. ۱۳۹۹. بررسی خاصیت آنتی اکسیدانی فنول آزاد و باند شده عصاره پوست کیوی و خصوصیات نانوکپسول های آن. مهندسی بیوسیستم/ایران، جلد ۵۱، شماره ۱، ۲۲۲-۲۱۱.
۴. هاشمی، س. م. ب.، صفری، ج.، غفوری، م. و صادقی، ب. ۱۳۹۳. تاثیر عصاره بهارنارنج بر پروفایل اسیدهای چرب روغن ذرت در حین فرآیند اکسیداسیون. دومین همایش ملی بهینه سازی زنجیره تولید، توزیع و مصرف در صنایع غذایی.
5. Abramovic, H. and Abram, V. 2005. Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of Camelina sativa oil. *Food Technol. Biotechnol*, 43(1): 63-70.
6. Acevedo-Fani, A., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2017. Nanoemulsions as edible coatings. *Current Opinion in Food Science*, 15: 43-49.
7. AOCS. 2004. *Official methods and recommended practices of the AMOS*: AMOS press Champaign.

- in sunflower oil. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 9(34): 117-127.
23. Gülçin, İ. 2006. Antioxidant activity of caffeic acid (3, 4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217(3): 213-220.
 24. Hemalatha, S. and Rao, M. V. V. 2004. Sesame lignans enhance antioxidant activity of vitamin E in lipid peroxidation systems. *Molecular and cellular biochemistry*, 262(2): 195-202.
 25. Iqbal, S., Bhangar, M. and Anwar, F. 2005. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry*, 93(2): 265-272.
 26. Ishiyama, K., Nagashima, M., Yasumoto, T. and Fukuda, Y. 2006. Changes in amounts of lignan compounds and radical scavenging activities in improved high-lignan breed of sesame, "Gomazou", during germination. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 53(1): 8-16.
 27. Jorjani, S. 2014. Chemical composition and fatty acid profile of common kilka, *Clupeonellacultriventriscaspia*. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 12(1): 119-128.
 28. Kalušević, A., Lević, S., Čalija, B., Pantić, M., Belović, M., Pavlović, V. and Nedović, V. 2017. Microencapsulation of anthocyanin-rich black soybean coat extract by spray drying using maltodextrin, gum Arabic and skimmed milk powder. *Journal of microencapsulation*, 34(5): 475-487.
 29. Karazhiyan, H., Razavi, S. M., Phillips, G. O., Fang, Y., Al-Assaf, S., Nishinari, K. and Farhoosh, R. 2009. Rheological properties of *Lepidium sativum* seed extract as a function of concentration, temperature and time. *Food hydrocolloids*, 23(8): 2062-2068.
 30. Kenari, R. E., Amiri, Z. R., Motamedzadegan, A., Milani, J. M., Farmani, J. and Farahmandfar, R. 2020. Optimization of Iranian golpar (*Heracleum persicum*) extract encapsulation using sage (*Salvia* and *Golmohammadzadeh*, S. 2018. Influence of main emulsion components on the physicochemical and functional properties of W/O/W nano-emulsion: Effect of polyphenols, Hi-Cap, basil seed gum, soy and whey protein isolates. *Food research international*, 108: 136-143.
 16. Esmaeilzadeh Kenari, R., Mohsenzadeh, F. and Amiri, Z. R. 2014. Antioxidant activity and total phenolic compounds of Dezful sesame cake extracts obtained by classical and ultrasound-assisted extraction methods. *Food science & nutrition*, 2(4): 426-435.
 17. Fang, Z. and Bhandari, B. 2010. Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10): 510-523.
 18. Farahmandfar, R., Asnaashari, M. and Sayyad, R. 2017. Antioxidant activity and total phenolic content of *Capsicum frutescens* extracted by supercritical CO₂, ultrasound and traditional solvent extraction methods. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(1): 196-204.
 19. Fazli, H., Zhang, C. I., Hay, D. E. and Lee, C.W. 2009. Stock assessment and management implications of anchovy kilka (*Clupeonella engrauliformis*) in Iranian waters of the Caspian Sea. *Fisheries Research*, 100(2): 103-108.
 20. Ganji, S. and Sayyed-Alangi, S. Z. 2017. Encapsulation of ginger ethanolic extract in nanoliposome and evaluation of its antioxidant activity on sunflower oil. *Chemical Papers*, 71(9): 1781-1789.
 21. Generalić Mekinić, I., Skroza, D., Ljubenkov, I., Šimat, V., Smole Možina, S. and Katalinić, V. 2014. In vitro antioxidant and antibacterial activity of Lamiaceae phenolic extracts: a correlation study. *Food Technology and Biotechnology*, 52(1): 119-127.
 22. Ghaderi, G. M., Alami, M., Sadeghi, M. A., Azizi, M. and Ghorbani, M. 2012. Study on antioxidant activities of methanolic extracts from fruit of two variety of acorn Q. *Castaneifolia* var *Castaneifolia* and Q. *Branti* var *Persica*

39. Naji-Tabasi, S., Razavi, S. M. A. and Mehditabar, H. 2017. Fabrication of basil seed gum nanoparticles as a novel oral delivery system of glutathione. *Carbohydrate Polymers*, 157: 1703-1713.
40. Nascimento, V. L., Bermúdez, V. M. S., Oliveira, A. L., Kleinberg, M. N., Ribeiro, R. d. T. M., Abreu, R. F. A. and Carioca, J. O. B. 2015. Characterization of a hydrolyzed oil obtained from fish waste for nutraceutical application. *Food Science and Technology*, 35(2): 321-325.
41. Nieva-Echevarría, B., Manzanos, M. J., Goicoechea, E., Guillén, M. D. and Safety, F. 2015. 2, 6-Di-tert-butyl-hydroxytoluene and its metabolites in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(1): 67-80.
42. Nigam, D., Singh, C. and Tiwari, U. 2015. Evaluation of in vitro study of antioxidant and antibacterial activities of methanolic seed extract of *Sesamum indicum*. *J PharmacognPhytochem*, 3: 88-92.
43. Oliveira, A. S., Ribeiro-Santos, R., Ramos, F., Castilho, M. C. and Sanches-Silva, A. J. F. A. M. 2018. UHPLC-DAD Multi-Method for Determination of Phenolics in Aromatic Plants. 11(2): 440-450.
44. Othman, S. B., Katsuno, N., Kanamaru, Y. and Yabe, T. 2015. Water-soluble extracts from defatted sesame seed flour show antioxidant activity in vitro. *Food Chemistry*, 175: 306-314.
45. Pérez-Jiménez, J. and Torres, J. L. 2011. Analysis of nonextractable phenolic compounds in foods: the current state of the art. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24): 12713-12724.
46. Pirestani, S., Sahari, M., Barzegar, M., and Nikoopour, H. 2010. Lipid, cholesterol and fatty acid profile of some commercially important fish species from south Caspian Sea. *Journal of Food Biochemistry*, 34(4): 886-895.
47. Raudoniūtė, I., Rovira, J., Venskutonis, P. R., Damašius, J., Rivero-Pérez, M. D. macrosiphon) seed gum: chitosan as a wall material and its effect on the shelf life of soybean oil during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5): 1-12.
31. Khan, I., Rathore, B. and Syed, Z. 2019. Evaluation of Polyphenols, Flavonoids and Antioxidant Activity in different solvent extracts of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes. *International J. Seed Spices*, 9(2): 52-60.
32. Kindleysides, S., Quek, S.-Y. and Miller, M. R. 2012. Inhibition of fish oil oxidation and the radical scavenging activity of New Zealand seaweed extracts. *Food Chemistry*, 133(4): 1624-1631.
33. Kulås, E. and Ackman, R. G. 2001. Properties of α -, γ -, and δ -tocopherol in purified fish oil triacylglycerols. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(4): 361-367.
34. Leontowicz, H., Leontowicz, M., Latocha, P., Jesion, I., Park, Y. S., Katrich, E. and Gorinstein, S. 2016. Bioactivity and nutritional properties of hardy kiwi fruit *Actinidia arguta* in comparison with *Actinidia deliciosa* 'Hayward' and *Actinidia eriantha* 'Bidan'. *Food Chemistry*, 196: 281-291.
35. Liu, R. H. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *The Journal of nutrition*, 134(12): 3479-3485.
36. Mc Donald, K. and Sun, D.W. 2001. Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef product. *Journal of Food Engineering*, 48(3): 195-202.
37. Mohdaly, A. A., Sarhan, M. A., Smetanska, I. and Mahmoud, A. 2010. Antioxidant properties of various solvent extracts of potato peel, sugar beet pulp and sesame cake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2): 218-226.
38. Munin, A. and Edwards-Lévy, F. 2011. Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review. *Pharmaceutics*, 3(4): 793-829.

54. Shahidi, F., Liyana-Pathirana, C. M. and Wall, D. S. 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*, 99(3): 478-483.
55. Stanković, M. 2020. Antioxidant Activity of Secondary Metabolites of Teucrium Species. *Teucrium Species: Biology and Applications*, 275-307.
56. Su, D., Zhang, R., Hou, F., Zhang, M., Guo, J. and Huang, F. 2014. Comparison of the free and bound phenolic profiles and cellular antioxidant activities of litchi pulp extracts from different solvents. *BMC complementary and alternative medicine*, 14(1):1-9.
57. Sukor, N., Jusoh, R., Rahim, S. and Kamarudin, N. 2018. Ultrasound assisted methods for enhanced extraction of phenolic acids from Quercus Infectoria galls. *Materials Today: Proceedings*, 5(10): 21990-21999.
58. Taheri, A. and Razavi, S. M. 2015. Fabrication of cress seed gum nanoparticles, an anionic polysaccharide, using desolvation technique: An optimization study. *BioNanoScience*, 5(2): 104-116.
59. Velderrain-Rodríguez, G. R., Acevedo-Fani, A., González-Aguilar, G. A. and Martín-Belloso, O. 2019. Encapsulation and stability of a phenolic-rich extract from mango peel within water-in-oil-in-water emulsions. *Journal of functional foods*, 56: 65-73.
60. Wan, R., Wu, Y., Huang, L., Zhang, J., Gao, L. and Wang, N. 2010. Fatty acids and stable isotopes of a marine ecosystem: study on the Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) food web in the Yellow Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57(11): 1047-1057.
61. Waterhouse, G. I., Wang, W. and Sun-Waterhouse, D. J. 2014. Stability of canola oil encapsulated by co-extrusion technology: Effect of quercetin addition to alginate shell or oil core. *Food chemistry*, 142: 27-38.
- . and González-SanJosé, M. L. 2011. Antioxidant properties of garden strawberry leaf extract and its effect on fish oil oxidation. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(5): 935-943.
48. Razavi, R. and Kenari, R. E. 2021. Antioxidant evaluation of Fumaria parviflora L. extract loaded nanocapsules obtained by green extraction methods in oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3): 2448-2457.
49. Rezaei Savadkouhi, N., Ariaii, P. and Charmchian Langerodi, M. 2020. The effect of encapsulated plant extract of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) in biopolymer nanoemulsions of *Lepidium perfoliatum* and *Orchis mascula* on controlling oxidative stability of soybean oil. *Food science & nutrition*, 8(2): 1264-1271.
50. Rusmarilin, H., Lubis, Z., Lubis, L. and Barutu, Y. 2019. Potential of natural antioxidants of black cumin seed (*Nigella sativa*) and sesame seed (*Sesamum indicum*) extract by micro encapsulation methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (pp. 012097): IOP Publishing.
51. Rydström Lundin, C. 2012. Nanoparticles in Food—With a Focus on the Toxicity of Titanium Dioxide. *Uppsala: Uppsala Universitet*.
52. Sayyad, R. and Ghomi, M. 2017. Evaluation of fatty acid profile, color characteristics, oxidative quality and stability of common Kilka (*Clupeonellacultriventricaspia*) oil obtained by various extraction techniques. *Journal of food science and technology*, 54(6): 1377-1383.
53. Seukep, J. A., Fankam, A. G., Djeussi, D. E., Voukeng, I. K., Tankeo, S. B., Noumdem, J. A. and Kuete, V. 2013. Antibacterial activities of the methanol extracts of seven Cameroonian dietary plants against bacteria expressing MDR phenotypes. *SpringerPlus*, 2(1): 1-8.

- thyme and laurel extracts: A kinetic assessment. *Journal of Food Engineering*, 240: 171-182.
64. Zhou, L., Lin, X., Abbasi, A. M. and Zheng, B. 2016. Phytochemical contents and antioxidant and antiproliferative activities of selected black and white sesame seeds. *BioMed research international*, 1-9.
62. Yang, X.J., Dang, B. and Fan, M.T. 2018. Free and bound phenolic compound content and antioxidant activity of different cultivated blue highland barley varieties from the Qinghai-Tibet Plateau. *Molecules*, 23(4): 879.
63. Yeşilsu, A. F., and Özyurt, G. 2019. Oxidative stability of micro encapsulated fish oil with rosemary,

(Original Research Paper)

Evaluation of Antioxidant Effect of Free and Nanoencapsulated Polyphenol of Sesame on Changes in Fatty Acid Profile of Kilka Fish Oil Under Accelerated Conditions

Reza Esmailzadeh Kenari^{1*}, Razieh Razavi²

1-professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2-Ph.D Graduated of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received:09/07/2021

Accepted:29/08/2021

Abstract

Fish oil is a valuable source of polyunsaturated fatty acids that are highly sensitive to oxidation. In this study, the antioxidant effect of free and nanoencapsulated polyphenols of sesame on the fatty acid profile of kilka fish oil was investigated. Free and bonded phenolic compounds of black (Oltan) and white (Yekta) sesame cultivars were extracted and their antioxidant activity was investigated by ABTS free radical scavenging and beta-carotene: linoleic acid bleaching method. By increasing the concentration of phenolic compounds from 250 to 1000 mg/l, antioxidant activity increased and free phenolic compounds and Oltan cultivar showed higher antioxidant activity and therefore were used for nanoencapsulation in the wall of *Trigonella foenum-graecum* and *Portulaca oleraceaseed* gum. Phenolic compounds (7%) were added to oil phase containing 25 % of tween 80 and 68 % kilka fish oil. The free polyphenol nanoparticles of Oltan cultivar had smaller particle sizes (417.3 nm) and higher zeta potential (-26.2 mv) in comparison to Yekta cultivar, and were used to add to antioxidants free kilka fish oil. The results showed that during thermal process for 40 days at 60 °C in all samples the fatty acid profile changed, which was in the form of increasing in saturated fatty acids and decreasing in unsaturated fatty acids. The highest and lowest degradation and changes in fatty acid profiles were observed in the control sample and the fish sample containing nanoencapsulated polyphenols, respectively. The results of this study introduce the use of nanoencapsulated polyphenols of Oltan cultivar as a natural antioxidant to increase in the stability of Kilka fish oil.

Keywords: Nano encapsulation, Black Sesame Cultivar Oltan, White Sesame Cultivar Yekta, *Trigonella foenum-graecum* seed Gum, *Portulaca oleracea* Seed Gum

*Corresponding Author: Reza_kenari@yahoo.com