



مقایسه فعالیت آنتی اکسیدانی فنول‌های آزاد و باند شده نانوریزپوشانی شده عصاره پوست کیوی در افزایش پایداری اکسایشی روغن سویا

نازیلا مبصری^۱، رضا اسماعیل زاده کناری^{۲*}، راضیه رضوی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی دانشگاه خزر، محمودآباد، ایران.

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

۳- دانش‌آموخته دکتری گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸

کلمات کلیدی:

پوست کیوی،

روغن سویا،

صمغ دانه شاهی،

فنول.

DOI: 10.52547/fsct.18.09.29

* مسئول مکاتبات:

Reza_kenari@yahoo.com

در این پژوهش عصاره پوست کیوی با کمک روش فراصوت (پروب در دو شدت ۵۰ و ۸۰٪ و حمام) استخراج گردید. فنول باند شده استخراج شده با فراصوت پروب در شدت ۸۰٪ (P80B) (۶۳/۸۳ میلی گرم بر گرم) و ۵۰٪ (P50B) (۶۰/۳۶ میلی گرم بر گرم) و فنول آزاد (۲۶۵/۸۸ میلی گرم بر گرم) استخراج شده با روش حمام فراصوت (BF) به ترتیب بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی را در روش مهار رادیکال آزاد DPPH نشان دادند. نانوریزپوشانی ترکیبات فنولی با استفاده از صمغ دانه شاهی انجام شد. راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنولی بالای ۵۰٪ بود (۵۱/۹۶-۸۲/۳۶ درصد) و فنول‌های BF کمترین راندمان ریزپوشانی را داشتند. هر سه نانوریزپوشینه اندازه نانومتری (۱۷۲/۳-۱۴۶/۵ نانومتر) و پتانسیل زتا منفی در محدوده ۱۸/۷۴- تا ۱۴/۱۲- میلی ولت داشتند. جهت مقایسه فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات فنولی آزاد و باند شده نانوریزپوشانی شده در غلظت ۸۰۰ ppm و آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ در غلظت ۱۰۰ ppm به روغن سویای بدون آنتی اکسیدان اضافه شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۰ روز در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد نگهداری شدند و آزمون‌های اندازه‌گیری میزان ته نشینی و رهائش نانوریزپوشینه‌ها، عدد پراکسید، اسید تیوباریتوریک، آنیزیدین، پروفایل اسیدهای چرب روغن، در فواصل زمانی ۸ روزه انجام شد. نتایج نشان داد با گذشت زمان نگهداری میزان رهائش ترکیبات فنولی افزایش و ته نشینی کاهش می‌یابد. اکسایش روغن با گذشت زمان نگهداری روندی افزایشی داشت. کمترین و بیشترین میزان اکسایش به ترتیب در نمونه حاوی TBHQ و نمونه شاهد مشاهده شد. استفاده از فنول باند شده در شدت ۸۰٪ به دلیل عدم اختلاف معنی‌دار آماری ($p > 0.05$) با نمونه حاوی آنتی اکسیدان سنتزی می‌تواند به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی جهت افزایش ماندگاری روغن مورد استفاده قرار بگیرد.

۱- مقدمه

روغن سویا از دوران گذشته به عنوان یک روغن گیاهی در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی مورد استفاده قرار می‌گرفته است [۱]. این روغن منبع بسیار عالی از اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی است که نقش مهمی در رژیم غذایی انسان دارند. مهمترین اسیدهای چرب در روغن سویا اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک، لینولئیک و لینولنیک است. حضور باند‌های دوگانه در این اسیدهای چرب روغن را به میزان زیادی مستعد اکسایش ساخته است [۲، ۳]. به عبارت دیگر زمانیکه این روغن‌ها در دمای اتاق به مدت طولانی نگهداری می‌شوند و یا در معرض دماهای بالا جهت پختن و سرخ کردن قرار می‌گیرند؛ شرایط لازم برای اکسیداسیون در آنها فراهم می‌شود. اکسیداسیون خودبخودی روغن‌های خوراکی می‌تواند به وسیله فرآیندهایی مانند قرار گرفتن در معرض نور، گرما یا عناصر واسطه با سرعت بیشتری انجام شود. این واکنش به صورت واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکالی، منجر به افزایش فعال شدن رادیکال‌های آزاد می‌شود که این رادیکال‌ها خود واکنش‌های اکسیداسیون زنجیره‌ای دیگری را آغاز می‌نمایند [۴، ۵]. اکسیداسیون روغن همچنین منجر به تغییر در بوی روغن و ایجاد بوهای نامطبوع، تخریب خصوصیات حسی، از دست رفتن کیفیت تغذیه‌ای و هضمی غذا و افزایش تجمع ترکیبات مضر برای سلامتی انسان می‌شود [۶-۸]. برای جلوگیری از اکسیداسیون روغن‌ها و چربی‌های گیاهی روش‌های مختلفی وجود دارد و متداول‌ترین و آسان‌ترین روش افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی و سنتزی به روغن می‌باشد. اثرات سمیت، سرطان‌زایی و آسیب‌های کبدی آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی در مطالعات گوناگون به اثبات رسیده است [۹، ۱۰]. لذا تمایل به استفاده از آنتی اکسیدان‌های با منشأ طبیعی افزایش یافته است. عصاره‌ها با ترکیبات شیمیایی متنوع نظیر فنول‌ها، فلاونوئیدها و توکوفرول‌ها از منابع گیاهی گوناگون استخراج می‌شوند. این عصاره‌ها اغلب خصوصیات ضد اکسایشی، ضد میکروبی و ضد ویروسی دارند. اثرات مفید مصرف پلی فنول‌های عصاره بر سلامتی انسان و همچنین در محیط آزمایشگاهی^۱ در مطالعات گوناگون اثبات شده است [۹، ۱۰].

کیوی (*Actinidia deliciosa*) محصول باغی متعلق به

خانواده Actinidiaceae می‌باشد. گیاهی دو پایه، نیمه گرمسیری و بالارونده با شاخه‌های ماشوره‌ای است. کیوی به دلیل دارا بودن ویتامین‌های C، D، A، B، منیزیم و مقادیر بالایی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بسیار با ارزش است. مقدار تولید کیوی در ایران در سال ۲۰۱۶ ۲۹۴۴۱۳ تن بوده است که از این حیث بعد از چین، ایتالیا و نیوزلند در رتبه چهارم دنیا قرار دارد [۱۱، ۱۲]. ترکیبات فنولی در سلول‌های گیاهی به دو شکل آزاد و باند شده وجود دارند. ترکیبات فنول آزاد به آسانی با استفاده از حلال جدا می‌شوند در حالیکه فنول‌های باند شده با پیوندهای کووالانسی محکم به سایر بخش‌های گیاه متصل هستند در نتیجه نمی‌توان به آسانی آنها را با روش‌های متداول استخراج جداسازی نمود [۱۳]. روش استخراج با فراصوت به دلیل زمان و دمای پائین استخراج، مصرف حلال بسیار کم در مقایسه با روش متداول و همچنین قابلیت شکستن پیوندهای کووالانسی بین ترکیبات فنولی با سایر پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها و بخش‌های سلول گیاهی برای استخراج ترکیبات فنولی باند شده بسیار مناسب می‌باشد [۱۴]. ریزپوشانی مواد خوراکی و دارویی بسیار پرطرفدار، جذاب و جالب توجه است و تولید محصولات ریزپوشانی شده از نظر تکنولوژیکی امکان پذیر شده است [۹]. با استفاده از ریزپوشانی می‌توان از تخریب ماده غذایی در برابر فاکتورهای مختلف جلوگیری نمود. همچنین ریزپوشانی راهی برای دستیابی به مواد با اندازه نانو و میکرو در بستری از سایر ترکیبات است [۱۵]. پژوهش‌های زیادی مبنی بر استفاده از عصاره‌های گیاهان و میوه‌ها به عنوان آنتی اکسیدان‌های طبیعی جهت افزایش عمر ماندگاری و پایداری روغن‌های خوراکی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به عصاره پوست کیوی [۱۶]، سیب‌زمینی [۱۷] و چغندر قند [۱۸]، بادمجان [۱۹]، پیاز [۲۰] اسانس گیاه باریجه و درمنه [۸، ۱۰] و عصاره شاتره گل ریز [۲] اشاره نمود. با توجه به اینکه ترکیبات فنولی به دو گروه آزاد و باند شده تقسیم می‌شوند؛ درک این موضوع که کدام یک از فنول‌های آزاد یا باند شده دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری در ماده غذایی هستند بسیار مهم است. لذا این پژوهش با هدف مقایسه فعالیت آنتی اکسیدانی فنول آزاد و باند شده نانوریزپوشانی عصاره پوست کیوی در مقایسه با آنتی اکسیدان سنتزی معمول مورد استفاده در صنعت غذا (TBHQ) جهت افزایش عمر ماندگاری روغن سویا انجام شد.

1. In vitro

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

کیوی رقم هیوارد از باغات شهرستان رامسر در استان مازندران تهیه شد. روغن سویای بدون آنتی اکسیدان (با مشخصات عدد پراکسید = $1/15$ میلی اگی والان پراکسید بر کیلوگرم روغن، رطوبت = $0/09$ ، عدد اسید تیوباربتوریک = $0/1654$ میکروگرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم روغن، عدد پاراآنیزیدین = $4/71$ ، ترکیبات قطبی = $1/6\%$ و پایداری اکسایشی = $14/8$ ساعت) از مجتمع کشت و صنعت شمال در شهرستان بهشهر استان مازندران تهیه شد. دانه شاهی از عطاری در شهر ساری خریداری شد. سایر مواد شیمیایی مورد نیاز در پژوهش از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- استخراج عصاره پوست کیوی و ترکیبات

فنولی آزاد و باند شده

برای استخراج عصاره پوست کیوی با استفاده از حلال اتانول:آب (۵۰:۵۰) در حمام فراصوت (مدل PARSONIC 2600، شرکت پارس نهاد، ایران) و فراصوت نوع پروبی (مدل E Series ساخت شرکت Scientz کشور China) در دو دامنه نوسان ۵۰ و ۸۰ درصد از روش اسماعیل زاده کناری و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شد [۲۱]. پس از استخراج عصاره‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفوژ شدند و سوپرناتانت حاصله برای اندازه گیری میزان فنول آزاد مورد استفاده قرار گرفت [۲۲]. مقدار کل ترکیبات فنولی بر اساس روش مکدونالد و همکاران (۲۰۰۱) و IC50 بر اساس میزان مهار رادیکال آزاد DPPH مطابق روش اسماعیل زاده کناری و همکاران (۲۰۱۴) اندازه گیری شد [۲۱، ۲۳]. جهت انجام هیدرولیز اسیدی مطابق با روش بونولی و همکاران (۲۰۰۴) عمل شد. بدین منظور تفاله باقیمانده از سانتریفوژ در مرحله قبل با ۱۲۰ میلی‌لیتر محلول متانول/سولفوریک اسید ریخته شد و به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد بر روی شیکر بهم زده شد. مخلوط با استفاده از سدیم هیدروکسید ۱۰ مولار خنثی شد. حلال‌های موجود در مخلوط حاصل در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد تبخیر شد و بوسیله حلال اتانول:آب ۵۰٪ بازسازی شد و جهت اندازه گیری ترکیبات فنولی مورد استفاده قرار گرفت [۲۴].

۲-۲-۲- نانوریزپوشانی ترکیبات فنولی آزاد و باند شده

و اندازه‌گیری خصوصیات آن‌ها

صمغ دانه شاهی مطابق با روش حسینی پرور و همکاران (۲۰۰۹) استخراج شد [۲۵] و به عنوان ماده پوششی دیواره جهت نانوریزپوشانی انتخاب شد. ریزپوشانی ترکیبات فنولی آزاد و باند شده مطابق با روش کارنیرو و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد. غلظت 800 ppm از هر ترکیب فنولی برای نانوریزپوشانی انتخاب شد [۲۶]. برای خشک کردن نانوریزپوشانه‌ها از خشک کن انجمادی در فشار $0/017$ میلی- پاسکال و دمای -57 درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد [۲۷]. راندامان ریزپوشانی ترکیبات فنولی مطابق با روش جیوان و همکاران (۲۰۱۴) [۲۸] اندازه‌گیری شد. اندازه ذرات و پتانسیل زتا با استفاده از دستگاه انکسار نور لیزر (مدل Zetasizer nano zs، شرکت Malvern، کشور انگلستان) تعیین گردید [۲۹].

۲-۲-۳- نگهداری روغن سویا

فنول آزاد و باند شده به صورت نانوریزپوشانی شده و در غلظت 800 ppm به روغن اضافه شدند. یک نمونه فاقد آنتی‌اکسیدان به عنوان شاهد و یک نمونه حاوی 100 ppm آنتی اکسیدانی سنتزی TBHQ برای ارزیابی رقابت آنتی اکسیدانی طبیعی و سنتزی استفاده شد. نمونه‌های روغن سویا درون ظروف شیشه‌ای (مک کارتی) ریخته شد و به مدت ۴۰ روز در آون با دمای 60 درجه سانتیگراد نگهداری شدند. آزمون‌های اندازه‌گیری عدد پراکسید، عدد اسید تیوباربتوریک و اندیس پاراآنیزیدین در فواصل زمانی ۸ روزه (۰، ۸، ۱۶، ۲۴، ۳۲ و ۴۰ روز) بر روی روغن انجام شد.

۲-۲-۴- آزمون‌های روغن سویا

عدد پراکسید، عدد اسید تیوباربتوریک، اندیس آنیزیدین و پروفایل اسیدهای چرب روغن با استفاده از روش AOCS به ترتیب به شماره‌های (Cd 8b-90)، (Cd 19-90)، (Cd-90-18) و (Cc13c-50) تعیین شد [۳۰]. رهایش و ته نشینی ترکیبات فنولی ترتیب مطابق با روش اسفنجانی و همکاران (۲۰۱۵) [۳۱] و محمدی و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد [۳۲]. جدول ۱ کدگذاری تیمارهای مورد بررسی در پژوهش را نشان می‌دهد.

Table 1 Code of samples

Sample	Type of ultrasound	Intensity	Type of phenol
BF	Bath	-	Free
P50B	Probe	50%	Bounded
P80B	Probe	80%	Bounded

۲-۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های بدست آمده از این پژوهش با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب دانکن با یکدیگر مقایسه شدند. آزمون آماری آنوای دو طرفه با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ در سطح اطمینان ۹۵٪ ($p < 0.05$) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. رسم نمودارها با نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۵ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصات ریزپوشینه‌ها

ترکیبات فنولی بزرگترین گروه از متابولیت‌های ثانویه موجود در سلول‌های گیاهی هستند. اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنولی و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی آن‌ها بسیار مهم است چراکه فنول‌ها در غلظت‌های بسیار بالا ممکن است خصوصیات پرواکسیدانی بروز دهند [۳۳]. بیشترین میزان ترکیبات فنولی مربوط به فنول‌های آزاد در عصاره استخراج شده با حمام فراصوت بود اما بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی مربوط به فنول باند شده استخراج شده توسط پروب فراصوت بود. روش مهار رادیکال آزاد DPPH بر اساس جابجایی الکترون می‌باشد که منجر به کاهش قدرت آنتی اکسیدانی ترکیب فنولی می‌شود. نوع و میزان ترکیبات فنولی بر فعالیت آنتی اکسیدانی به صورت مهار رادیکال آزاد DPPH موثر است [۳۴]. بطوریکه مشاهده می‌شود در نمونه‌های فنول باند شده با افزایش میزان ترکیبات فنولی میزان IC_{50} کاهش یافته است. اما در مورد ترکیبات فنول آزاد IC_{50} بالاتر است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی فنول‌های مختلف به تعداد گروه‌های هیدروکسیل و خصوصیات مهار کنندگی آنها بستگی دارد [۱۵]. تقی نیا و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند با افزایش شدت فراصوت نوع پروب از ۵۰٪ به ۷۵٪ فعالیت آنتی اکسیدانی به صورت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش یافته است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. سونیکاسیون به دلیل ایجاد پدیده کاویتاسیون منجر به شکستن پیوندهای استری بین فنول‌های

باند شده می‌شود. همچنین استفاده از اتانول به عنوان حلال به دلیل فراریت بیشتر منجر به ایجاد حباب‌های بیشتر، به میزان بیشتری ترکیبات فنولی را جدا می‌نماید. نتایج مربوط به مشخصات نانوریزپوشینه‌های فنول آزاد و باند شده عصاره پوست کیوی در جدول ۲ نشان داده شده است. روش پراکندگی نور پویا (DLS^2) متداول ترین روش جهت تعیین اندازه ذرات است. اساس این تکنولوژی بر برهمکنش بین ذرات و نور می‌باشد. ترکیبات ریزپوشانی شده از نظر اندازه در سه گروه نانوکپسول (اندازه کمتر از ۱ میکرون)، میکروکپسول (اندازه بین ۱ تا ۱۰۰۰ میکرون) و ماکروکپسول (اندازه بزرگتر از ۱۰۰۰ میکرون) تقسیم بندی می‌شوند [۳۵]. تمامی نمونه‌ها اندازه نانومتری داشتند. گنجی و سیدالنگی (۲۰۱۷) اندازه ذرات برای نانوذرات عصاره زنجبیل را ۱۶۴/۵ نانومتر و PDI را ۰/۱۸۶ گزارش نمودند [۱۵]. در پژوهش دیگر آیشا و همکاران (۲۰۱۴) اندازه نانوکپسول‌های عصاره چای جاوه را ۱۵۲/۵ نانومتر و پتانسیل زتا را ۴۹/۸- میلی ولت گزارش نمودند [۳۶]. توکلی و همکاران (۲۰۲۱) اندازه نانوذرات عصاره پوست سیب زمینی در صمغ دانه شاهی را که با استفاده از ۳، ۵، ۷ و ۱۰ سیکل ۹۰ ثانیه‌ای تهیه شده بود را به ترتیب ۱۶۵/۲، ۱۶۱/۵، ۱۴۴/۳ و ۱۷۹/۹ نانومتر اعلام نمودند که مطابق با اندازه‌های بدست آمده از پژوهش حاضر است [۱۷]. راندمان ریزپوشانی یک پارامتر مهم و قابل توجه در مورد فرآیند ریزپوشانی است [۳۷]. راندمان ریزپوشانی نمونه‌ها بالای ۵۰ درصد بود و نمونه‌های فنول باند شده بالاترین راندمان ریزپوشانی را داشتند. پتانسیل زتا یک پارامتر مهم برای ارزیابی دیسپرسیون‌های کلوئیدی است. سیستم‌های کلوئیدی در حین یونیزاسیون گروه‌های عملکردی با به دلیل جذب سطحی یون‌های موجود در محیط، بار سطحی پیدا می‌کنند. دافعه الکترواستاتیک بار سطحی نانوذرات از تجمع ذرات جلوگیری می‌کند و بنابراین، ثبات سیستم را بهبود می‌بخشد [۱۷]. پتانسیل زتا تمام نمونه‌ها منفی بود. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز منفی بودن پتانسیل زتا عصاره پوست سیب زمینی

ذرات و همچنین شاخص پراکندگی ذرات نانومولسیون بسیار مهم است زیرا بر خصوصیات ظاهری، بافت، رئولوژی، پایداری و طعم نانومولسیون تاثیر می‌گذارد [۳۹].

ریزپوشانی شده در دیواره صمغ شاهی [۱۷]، عصاره کلخونگ در صمغ دانه شنبلیله و بالنگو [۳۷] و عصاره نعناقللی در صمغ دانه قدومه شهری [۳۸] اثبات نموده‌اند. با افزایش اندازه نانوذرات شاخص پراکندگی اندازه ذرات کاهش یافت. اندازه

Table 2 Properties of nanoencapsulated phenols

Sample	TPC (mg/g)	IC50 (ppm)	Efficiency (%)	Particle Size (nm)	Zeta potential (mv)	PDI
BF	265.88±2.8 ^a	812.31±3.42 ^a	51.96±1.8 ^b	146.5±6.5 ^b	-18.74±1.9 ^b	0.383±0.0 ^a
P50B	60.36±3.0 ^b	794.23±2.05 ^{ab}	79.42±3.6 ^a	169.7±8.2 ^a	-14.12±1.6 ^a	0.328±0.0 ^b
P80B	63.83±2.6 ^b	788.65±2.37 ^b	82.36±2.2 ^a	172.3±2.4 ^a	-14.73±2.0 ^a	0.320±0.0 ^c

Different letters in each column indicate statistically significant different ($P < 0.05$)

آنتوسیانین‌ها [۴۱] و ترکیبات فنولی [۱۷، ۳۷] طی دوره نگهداری را نشان می‌دهد. روند رهایش ترکیبات فنولی عصاره گلپر ایرانی [۳] و نعنا قللی [۳۸] با گذشت زمان را افزایش اعلام نمودند که مطابق با نتایج این پژوهش است.

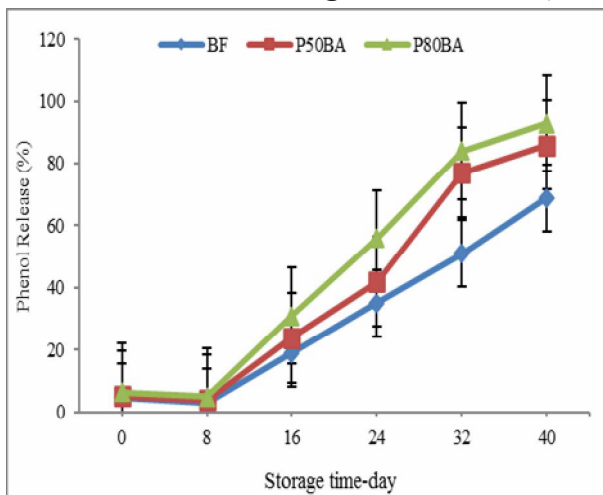


Fig 1 Release of free and bounded phenol during storage

۳-۳- اندازه‌گیری میزان ته‌نشینی

نتایج مربوط به میزان ته‌نشینی نمونه‌های مختلف فنول آزاد و باند شده ریزپوشانی شده در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود روند تغییرات میزان ته‌نشینی در تمام نمونه‌های مورد بررسی کاهشی است که نشان می‌دهد با گذشت زمان نگهداری میزان ته‌نشینی افزایش یافت. کمترین میزان ته‌نشینی به ترتیب مربوط به نمونه فنول آزاد استخراج شده به روش حمام فراصوت، نمونه فنول باند شده استخراج شده در شدت ۵۰٪ و فنول باند شده استخراج شده در شدت ۸۰٪ بود. در روز صفر دوره نگهداری هر سه نمونه فاقد هر گونه ته‌نشینی در ریزپوشینه‌های اضافه شده بودند از روز ۸ دوره نگهداری تا پایان همواره بین نمونه فنول آزاد ریزپوشانی

۳-۲- اندازه‌گیری میزان رهایش

پلی فنول‌ها ترکیبات بسیار حساس با قابلیت واکنش پذیری بالا هستند که پس از اضافه شدن در محصولات غذایی به سرعت اثرات خود را ظاهر می‌سازند. اثرات آنتی اکسیدانی پلی فنول‌ها به عنوان نگهدارنده‌های طبیعی باید به گونه‌ای باشد که طی زمان و به تدریج اتفاق بیفتد در غیر این صورت ممکن است اثرات پرواکسیدانی بر محصول غذایی داشته باشد. لذا اندازه‌گیری نرخ رهایش ترکیبات فنولی در نمونه‌های غذایی بسیار مهم است. نتایج مربوط به درصد رهایش ترکیبات فنولی از نانوکپسول‌ها طی دوره نگهداری در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود روند تغییرات میزان رهایش ترکیبات فنولی در نمونه‌های مورد بررسی طی دوره نگهداری افزایشی و اختلاف از نظر آماری معنی دار بود. بیشترین میزان رهایش مربوط به نمونه‌های فنول باند شده پروب فراصوت در شدت ۸۰٪ و کمترین رهایش ترکیبات فنولی مربوط به ترکیبات فنول آزاد بوده است که با هم اختلاف معنی دار آماری داشتند ولی با نمونه فنول باند شده پروب فراصوت در شدت ۵۰٪ اختلاف از نظر آماری معنی دار نبود ($p > 0.05$). تجزیه نسبی دیواره‌های کپسول منجر به آزادسازی فنول‌ها طی دوره نگهداری می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ترکیبات فنول آزاد ریزپوشانی شده پایداری بیشتری از خود نشان دادند و لذا کپسول محافظت بیشتری از آنها نشان داده است. استفاده از فنول‌های کپسوله شده می‌تواند محافظت بیشتری در برابر روغن ایجاد نماید ضمن اینکه زیست دسترس پذیری روغن را نیز افزایش می‌دهد [۴۰]. نتایج پژوهش‌های سایر محققین نیز رهایش ترکیبات درون هسته مانند ریزپوشانی

طی ۱۲ روز در دمای ۶۳ درجه سانتیگراد عدد پراکسید روغن آفتابگردان روند افزایشی دارد [۱۵] که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد نمونه شاهد فاقد آنتی اکسیدان بالاترین میزان اکسیداسیون و عدد پراکسید را داشت و بجز روز صفر در سایر روزهای نگهداری دارای اختلاف معنی دار آماری ($p < 0.05$) با سایر نمونه‌های روغن حاوی آنتی اکسیدان بود. تقوایی و همکاران (۲۰۱۴) همچنین بیشترین عدد پراکسید را به نمونه شاهد نسبت دادند و با استفاده از آنتی اکسیدان‌های مختلف مقدار اکسایش و در نتیجه عدد پراکسید را کاهش دادند [۴۰]. همچنین در پایان دوره نگهداری یک کاهش در میزان پراکسید در نمونه شاهد وجود داشت که مرتبط با تجزیه پراکسیدها می‌باشد. کمترین میزان عدد پراکسید مربوط به آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ بود که با نمونه روغن حاوی نانوریزپوشینه فنول باند شده در شدت ۸۰٪ اختلاف معنی دار آماری نداشت ($p > 0.05$). بطورکلی دلیل اختلاف در مقادیر عدد پراکسید و روند اکسایش در نمونه‌های مختلف مرتبط با شکل ساختاری آنتی اکسیدان است. در بین نمونه‌های حاوی فنول-های آزاد و باند شده عصاره استخراجی پوست کیوی، نمونه-های حاوی فنول آزاد بیشترین عدد پراکسید را داشتند و پس از آن به ترتیب نمونه‌های حاوی فنول باند شده استخراج شده در شدت ۵۰ و ۸۰ درصد قرار داشتند. محمدی و همکاران (۲۰۱۶) ضمن بررسی اثر عصاره برگ زیتون ریزپوشانی شده در روغن سویا روند افزایشی در تمام نمونه‌های مورد بررسی اعلام نمودند و همچنین نمونه شاهد بالاترین عدد پراکسید را نشان داد [۴۴]. بطور کلی فرآیند نانوریزپوشانی منجر به افزایش زیست دسترس پذیری ترکیبات فنولی، خاصیت آنتی اکسیدانی و پایداری آنها می‌شود. کنترل ترکیبات فنولی و رهاش تدریجی آنها باعث بروز خصوصیات آنتی اکسیدانی می‌شود که در مطالعات مختلف اثربخشی آنها نشان داده شده است [۴۵]. دلفانیان و همکاران (۲۰۱۸) روند تغییرات عدد پراکسید در نمونه‌های روغن سویا را افزایشی اعلام نمودند. همچنین نمونه شاهد بالاترین میزان اکسایش و عدد پراکسید را داشت و میزان اکسایش در نمونه‌های روغن حاوی فنول‌های ریزپوشانی شده کمتر بود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۴۶]. اگرگن و همکاران (۲۰۱۶) اثرات آنتی اکسیدانی عصاره جلبک قهوه ای (*Bifurcaria bifurcata*) را با آنتی اکسیدان سنتزی BHT در پایدارسازی روغن کانولا مورد

شده و نمونه فنول باند شده استخراج شده در شدت ۸۰٪ اختلاف معنی دار آماری مشاهده شد. محمدی و همکاران (۲۰۱۶) هیچ ته نشینی در نانوکپسول‌های عصاره برگ زیتون در روغن سویا مشاهده نکردند. دلیل ته نشینی نانوکپسول‌ها طی دوره نگهداری که در این پژوهش اتفاق افتاد می‌تواند مرتبط با ماهیت متفاوت نمونه‌های ریزپوشانی شده باشد [۴۲].

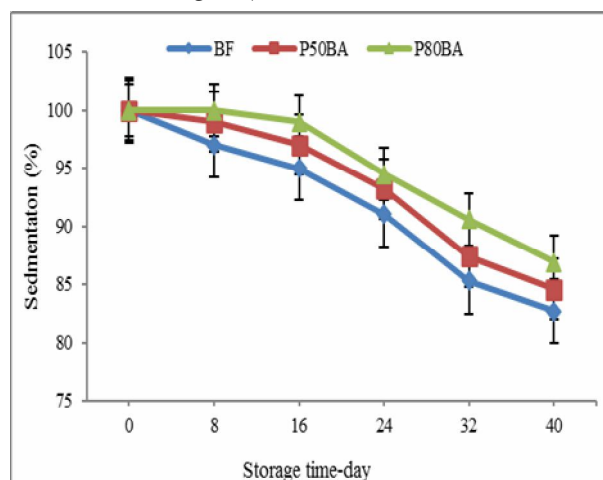


Fig 2 Sedimentation of free and bounded phenol during storage

۳-۴-آزمون‌های روغن

۳-۴-۱-عدد پراکسید

به منظور جلوگیری از اکسیداسیون روغن و محافظت از ماده غذایی استفاده از ترکیبات نگهدارنده ضروری می‌باشد. تعیین عدد پراکسید به عنوان شاخص فرآیند اکسیداسیون یکی از مهمترین شاخص‌ها جهت بررسی روند اکسایش روغن‌های خوراکی می‌باشد. این شاخص میزان هیدروپراکسیدهای تشکیل شده طی فرآیند اکسیداسیون را نشان می‌دهد. هیدروپراکسیدها بسیار ناپایدار هستند و با گذشت زمان نگهداری روغن به سایر ترکیبات با وزن مولکولی پایین مانند آلدئیدها، الکل‌ها، کتون‌ها و اسیدهای چرب شکسته می‌شوند [۴۳]. نتایج مربوط به تغییرات عدد پراکسید نمونه‌های مختلف روغن طی دوره نگهداری در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود روند تغییرات عدد پراکسید در تمام نمونه‌های مورد بررسی افزایشی است که نشان دهنده روند افزایشی اکسایش روغن طی دوره نگهداری است. تقوایی و همکاران (۲۰۱۴) عدد پراکسید نمونه‌های روغن سویا حاوی آنتی اکسیدان‌های مختلف را که به مدت ۲۰ روز در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد نگهداری شده بود را افزایشی اعلام نمودند [۴۰] در پژوهش دیگر گنجی و سیدالنگی (۲۰۱۷) نشان دادند

فنول باند شده در شدت ۸۰٪ بود که از نظر آماری نیز با یکدیگر اختلاف معنی دار آماری نداشتند ($p > 0.05$). همانطور که در بخش‌های ۲-۳ و ۳-۳ نشان داده شد نمونه P80BA بیشترین میزان رهایش و ته نشینی ترکیبات فنولی را از خود نشان داد. لذا می‌توان گفت رهایش بیشتر ترکیبات فنولی بر کاهش اکسیداسیون روغن موثر بوده است. در بین نمونه‌های حاوی فنول‌های آزاد و باند شده عصاره استخراجی پوست کیوی، نمونه‌های حاوی فنول آزاد بیشترین عدد اسید تیوباریتوریک را داشتند و پس از آن به ترتیب نمونه‌های حاوی فنول باند شده استخراج شده در شدت ۵۰ و ۸۰ درصد قرار داشتند. محمدی و همکاران (۲۰۱۶) اندازه‌گیری عدد اسید تیوباریتوریک در نمونه‌های سویا را انجام دادند نشان دادند که نمونه شاهد بالاترین میزان اسید تیوباریتوریک را داشته است و همچنین نمونه‌های حاوی عصاره ریزپوشانی شده بهتر از آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ عمل نمودند [۴۳]. در پژوهش دیگر باقری و همکاران (۲۰۱۶) اثرات آنتی اکسیدانی عصاره آزاد و ریزپوشانی شده رازیانه در افزایش پایداری روغن ماهی کِلکا مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که عصاره به دلیل دارا بودن ترکیبات فنولی از اکسایش چربی روغن جلوگیری می‌کند و اثرات آنتی اکسیدانی عصاره ریزپوشانی شده رازیانه بالاتر است [۴۸]. گنجی و سید النگی نیز نتایج مشابهی نشان دادند [۱۵]. توکلی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند عدد اسید تیوباریتوریک در نمونه‌های روغن سویای حاوی عصاره پوست سیب زمینی ریزپوشانی شده طی فرآیند آون گذاری کمتر از نمونه‌های شاهد و حاوی آنتی اکسیدان سنتزی است [۱۷].

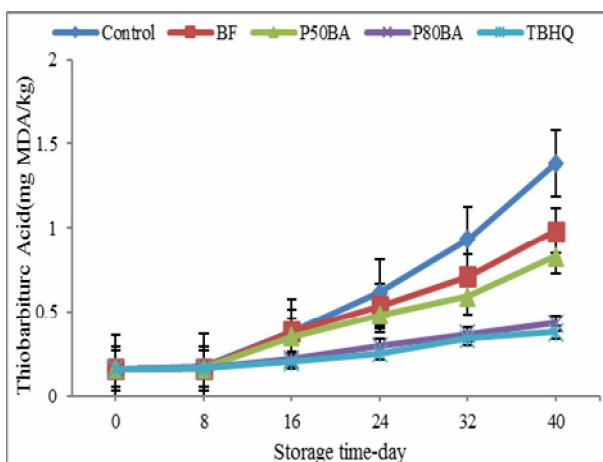


Fig 4 Change in thiobarbituric acid value of oil samples containing antioxidant during storage

بررسی قرار دادند و نشان دادند که با گذشت زمان نگهداری عدد پراکسید افزایش می‌یابد و در نمونه‌های حاوی آنتی اکسیدان سنتزی BHT عدد پراکسید کمتر از نمونه‌های حاوی ۱۰۰۰ ppm عصاره است که همراستا با نتایج پژوهش حاضر است [۴۷].

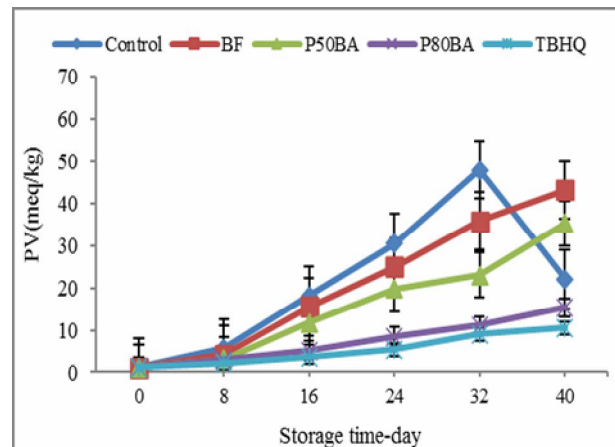


Fig 3 Change in peroxide value of oil samples containing antioxidant during storage

۳-۲-۴-عدد تیوباریتوریک اسید

عدد اسید تیوباریتوریک اسید توسعه اکسیداسیون روغن را به عنوان محصولات ثانویه اکسیداسیون مورد بررسی قرار می‌دهد [۴۰]. پراکسیدهای ایجاد شده از مرحله اول فرآیند اکسیداسیون بسیار ناپایدار هستند و به محصولات ثانویه تبدیل می‌شوند. نتایج مربوط به تغییرات عدد اسید تیوباریتوریک نمونه‌های مختلف روغن طی دوره نگهداری در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود روند تغییرات عدد اسید تیوباریتوریک در تمام نمونه‌های مورد بررسی افزایشی است که نشان دهنده روند افزایشی اکسایش در روغن طی دوره نگهداری است. اکسیداسیون محصولات ثانویه اکسیداسیون خودبخودی نمونه‌های روغن و شکل گیری اسیدهای کربوکسیلیک منجر به افزایش عدد اسید تیوباریتوریک نمونه‌ها طی دوره نگهداری می‌شود [۱۵، ۴۰]. نمونه شاهد فاقد آنتی اکسیدان بالاترین میزان اکسیداسیون و عدد اسید تیوباریتوریک را داشت و تا روز ۸ دوره نگهداری اختلاف معنی دار آماری با سایر نمونه‌های روغن حاوی آنتی اکسیدان و در روز ۱۶ نگهداری با نمونه‌های BF و P50BA نداشت ($p > 0.05$). کمترین میزان عدد اسید تیوباریتوریک مربوط به آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ و در نمونه‌های حاوی عصاره بود مربوط به نمونه روغن حاوی نانوریزپوشینه

۳-۴-۳- عدد آنیزیدین

اندیس پارا آنیزیدین تخمینی از محصولات ثانویه اکسیداسیون چربی است (به طور عمده ۲-آلکن‌ها و ۴-آلکادی انال‌ها) که طی مراحل مختلف تجزیه هیدروپراکسیدها تولید می‌شود. نتایج مربوط به تغییرات اندیس پارا-آنیزیدین در نمونه‌های مختلف روغن طی دوره نگهداری در جدول ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود روند تغییرات در تمام نمونه‌های مورد بررسی با گذشت زمان نگهداری از صفر تا روز ۴۰ افزایش یافته است و تغییرات از نظر آماری معنی دار است ($p < 0.05$). بیشترین اندیس پارا-آنیزیدین مربوط به نمونه شاهد فاقد آنتی اکسیدان بود که بجز روز صفر در سایر روزهای نگهداری با نمونه‌های مورد بررسی اختلاف معنی دار آماری داشت ($p < 0.05$). کمترین میزان اکسیداسیون روغن در نمونه روغن حاوی TBHQ مشاهده شد که با نمونه P80BA اختلاف

معنی‌دار آماری نداشت ($p > 0.05$) ولی با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار آماری داشت ($p < 0.05$). این نتایج با نتایج تقوایی و همکاران (۲۰۱۴) در مورد اندیس پارا-آنیزیدین در نمونه‌های مختلف روغن سویا مطابقت دارد [۴۰]. روش‌های همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند عدد پاراآنیزیدین در نمونه‌های روغن سویا حاوی TBHQ بالاتر از نمونه‌های حاوی عصاره نعنا فلفلی به صورت ریزپوشانی شده است [۳۸]. نتایج پژوهش استخر و همکاران (۲۰۲۰) نشان می‌دهد روغن سویای حاوی عصاره گیاه سکبیه به صورت آزاد و ریزپوشانی شده، عدد پاراآنیزیدین کمتری نسبت به نمونه شاهد دارد [۴۹]. بطور کلی می‌توان گفت روند تغییرات اندیس پارا-آنیزیدین و میزان پیشرفت اکسیداسیون با عدد پراکسید در نمونه‌های مختلف مطابق است.

Table 3 Change in *p*-anisidine value of oil samples containing antioxidant during storage

p-Anisidin	0	8	16	24	32	40
Control	4.71±0.1 ^{Fa}	5.82±0.15 ^{Ea}	7.12±0.25 ^{Da}	10.48±0.22 ^{Ca}	14.12±0.24 ^{Ba}	21.48±0.17 ^{Aa}
BF	4.71±0.1 ^{Da}	5.13±0.13 ^{CDab}	5.70±0.23 ^{Cb}	6.05±0.17 ^{Cb}	8.44±0.21 ^{Bb}	11.72±0.13 ^{Ab}
P50BA	4.71±0.1 ^{Da}	4.96±0.11 ^{Db}	5.23±0.19 ^{CDb}	5.91±0.21 ^{Cb}	7.04±0.14 ^{Bc}	9.64±0.21 ^{Ac}
P80BA	4.71±0.1 ^{Ca}	4.78±0.17 ^{Cb}	5.09±0.21 ^{BCc}	5.21±0.14 ^{Bc}	5.89±0.22 ^{Bd}	7.18±0.18 ^{Ad}
TBHQ	4.71±0.1 ^{Ba}	4.71±0.14 ^{Bb}	4.86±0.18 ^{Bc}	5.14±0.16 ^{ABc}	5.43±0.17 ^{Ad}	6.01±0.14 ^{Ae}

Different letters indicate statistically significant different ($P < 0.05$)

۳-۴-۴- پروفایل اسیدهای چرب روغن

نتایج مربوط به پروفایل اسیدهای چرب نمونه‌های روغن در جدول ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که افزودن فنول‌های آزاد و باند شده نانوریزپوشانی شده که در غلظت ۸۰۰ ppm به روغن اضافه شده است تاثیر معنی دار آماری بر روی پروفایل اسیدهای چرب روغن سویا نداشته است ($p > 0.05$) و اختلاف اسیدهای چرب در نمونه‌های مختلف از نظر آماری معنی دار نبود ($p > 0.05$). در جدول ۵ پروفایل اسیدهای چرب در پایان دوره نگهداری نشان داده شده است. مشاهده می‌شود نمونه‌های مختلف از نظر ترکیب اسیدهای چرب با هم اختلاف معنی دار آماری داشتند ($p < 0.05$). بیشترین میزان تغییرات در ترکیب اسیدهای چرب در نمونه شاهد مشاهده شد. روند تغییرات به صورتی که بود منجر به اشباع شدن بیشتر روغن شد. مثلاً در نمونه شاهد اسید چرب میریستیک اسید از ۰/۱۱ به ۰/۳۳ درصد افزایش یافت در

حالی‌که در نمونه روغن حاوی آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ مقدار افزایش در اسید چرب مذکور تنها ۰/۰۴ درصد بود. در میان نمونه‌های حاوی فنول نیز نمونه حاوی فنول استخراج شده با فراصوت در شدت ۸۰٪ کمترین میزان افزایش در اسید چرب میریستیک را نشان داد. همچنین روغن سویای اولیه از نظر اسیدهای چرب در محدوده استاندارد ملی ایران قرار داشت [۴۸]. در پایان دوره نگهداری پروفایل اسیدهای چرب روغن در نمونه‌های حاوی آنتی اکسیدان سنتزی TBHQ و حاوی فنول باند شده استخراج شده با پروب فراصوت در شدت ۸۰ درصد در تمامی اسیدهای چرب بجز لینولئیک اسید و پالمیتوئیک اسید با استاندارد ملی ایران مطابقت داشتند که نشان می‌دهد استفاده از آنتی اکسیدان‌ها توانسته است به خوبی از پروفایل اسیدهای چرب روغن محافظت کند و به مقدار کمتری ساختار اسیدهای چرب آن را دستخوش تغییر نماید [۴۸].

Table 4 Fatty acid profile of oil samples at first day of storage (%)

P80BA	P50BA	BF	TBHQ	Control	R _t (min)	Fatty acid
0.12 ^a	0.11 ^a	0.10 ^a	0.10 ^a	0.11 ^a	7.2	C14:0
10.36 ^a	10.41 ^a	10.35 ^a	10.38 ^a	10.39 ^a	7.9	C16:0
0.01 ^a	0.01 ^a	0.02 ^a	0.00 ^a	0.01 ^a	8.2	C16:1
5.01 ^a	4.97 ^a	4.98 ^a	4.96 ^a	4.98 ^a	8.6	C18:0
26.08 ^a	26.04 ^a	26.07 ^a	26.11 ^a	26.07 ^a	9.5	C18:1
51.18 ^a	51.2 ^a	51.24 ^a	51.19 ^a	51.21 ^a	11.3	C18:2
6.03 ^a	6.06 ^a	6.01 ^a	6.04 ^a	6.03 ^a	12.7	C18:3
0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.00 ^a	13.4	C20:0
0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.01 ^a	0.00 ^a	13.7	C20:1
0.01 ^a	0.01 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a	14.1	C20:2
0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	15.7	C20:3
0.35 ^a	0.35 ^a	0.33 ^a	0.32 ^a	0.34 ^a	16.1	C22:0
0.02 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	16.3	C22:1
0.01 ^a	0.0 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	18.5	C24:0
99.17	99.17	99.15	99.16	99.19		Total

Different letters in each row indicate statistically significant different (P<0.05)

Table 5 Fatty acid profile of oil samples at the end day of storage (%)

P80BA	P50BA	BF	TBHQ	Control	R _t (min)	Fatty acid
0.15 ^b	0.22 ^{ab}	0.27 ^{ab}	0.14 ^b	0.33 ^a	7.2	C14:0
12.32 ^c	13.61 ^b	14.02 ^a	11.56 ^d	14.77 ^a	7.9	C16:0
1.07 ^b	1.81 ^a	1.96 ^a	0.87 ^b	2.02 ^a	8.2	C16:1
5.23 ^{ab}	5.29 ^{ab}	5.43 ^a	5.03 ^b	5.59 ^a	8.6	C18:0
24.71 ^a	23.24 ^a	22.19 ^{ab}	25.58 ^a	21.86 ^b	9.5	C18:1
48.93 ^a	48.02 ^{ab}	47.53 ^b	49.01 ^a	47.36 ^b	11.3	C18:2
5.74 ^a	5.69 ^{ab}	5.26 ^b	5.90 ^a	5.11 ^b	12.7	C18:3
0.18 ^b	0.31 ^{ab}	0.52 ^a	0.14 ^b	0.69 ^a	13.4	C20:0
0.49 ^{bc}	0.54 ^{ab}	0.66 ^{ab}	0.25 ^d	0.78 ^a	13.7	C20:1
0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	14.1	C20:2
0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	15.7	C20:3
0.24 ^a	0.12 ^{ab}	0.08 ^a	0.28 ^a	0.02 ^b	16.1	C22:0
0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	16.3	C22:1
0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	18.5	C24:0
99.0	98.85	97.92	98.76	98.53		Total

Different letters in each row indicate statistically significant different (P<0.05)

۴- نتیجه گیری نهایی

عدد پراکسید، عدد اسید تیوباریتویک و اندیس پارآنیزیدین بود با گذشت زمان نگهداری افزایش یافت که نشان دهنده پیشرفت اکسیداسیون وابسته به زمان بود. بیشترین میزان اکسیداسیون روغن در نمونه شاهد فاقد آنتی اکسیدان مشاهده شد و در بین نمونه‌های حاوی فنول نانوریزپوشانی شده نمونه حاوی فنول باند شده در شدت ۸۰٪ بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی را نشان داد. این نوع فنول به دلیل عدم اختلاف معنی دار آماری ($p > 0.05$) با نمونه حاوی آنتی اکسیدان سنتزی به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی برای روغن انتخاب شد. استفاده از آنتی اکسیدان مذکور در صنایع روغن می‌تواند عمر ماندگاری روغن را افزایش داده و اثرات مضر آنتی اکسیدان‌های سنتزی را برای بدن ندارد.

در این پژوهش اثرات آنتی اکسیدانی فنول‌های آزاد و باند شده عصاره استخراجی پوست کیوی در جهت افزایش پایداری اکسایشی روغن سویا مورد بررسی قرار گرفت. فنول‌های آزاد و باند شده در هر دو روش استخراج با حمام و پروب فراصوت دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بودند و فنول‌های باند شده نسبت به فنول آزاد فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتری از خود نشان دادند. اندازه گیری میزان رهایش و ته نشینی در نمونه‌های روغن که به مدت ۴۰ روز در دمای ۶۰ درجه نگهداری شدند نشان داد با گذشت زمان ته نشینی افزایش می‌یابد که از این حیث بیشترین رهایش و ته نشینی مربوط به نمونه حاوی فنول آزاد بود. پارامترهای بررسی فعالیت اکسایشی در روغن که شامل

۵- منابع

- by Spray-Drying: Impact of Resistant-Maltodextrin Complemented with Sodium Caseinate, Skim Milk, and Beta-Cyclodextrin on the Quality of Spray-Dried Powders. *Molecules*, 24(8), 1461.
- [10] Hashemi, Z., M. Hojjati, and M. Tahanejad. (2015). Evaluation of antioxidant activity of essential oil extracted from *Ferula gummosa* Boiss in deep oil frying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 11(5), 631-642. [In Persian]
- [11] Roueita, G., M. Hojjati, and M. Noshad. (2020) Study of physicochemical properties of dried kiwifruits using the natural hypertonic solution in ultrasound-assisted osmotic dehydration as pretreatment. *International Journal of Fruit Science*, 491-507.
- [12] Mobaseri, N., Kenari, R.E., Razavi, R. (2020). Investigation of Antioxidant Properties of Free and Bounded Phenol of Kiwifruit Peel Extract and Its Nanocapsules Properties. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 51(1), 211-222. [In Persian]
- [13] Taghinia, P., Khodaparast, M.H.H. and Ahmadi, M., 2019. Free and bound phenolic and flavonoid compounds of *Ferula persica* obtained by different extraction methods and their antioxidant effects on stabilization of soybean oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-8.
- [14] Mohdaly, A.A.A., Hassanien, M.F.R., Mahmoud, A., Sarhan, M.A. and Smetanska, I., 2013. Phenolics extracted from potato, sugar beet, and sesame processing by-products. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 1148-1168.
- [15] 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.
- [16] Esmaeilzadeh Kenari, R., Mehdipour, S. and Razavi, R., 2017. Investigation the changes in fatty acid and antioxidant properties of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) peel extract on stability of sunflower oil in thermal conditions. 14, 68, 125-135 [In Persian]
- [17] Tavakoli, J., Abbasi, H., Zarei Jelyani, A., & Mousavi Khaneghah, A. 2021. The Use of *Salvia macrosiphon* and *Lepidium sativum* Linn. Seed Gums in Nanoencapsulation Processes: Improving Antioxidant Activity of Potato Skin Extract. *Journal of Food*
- [1] Rani, R., Sheoran, R. and Sharma, B., 2017. Perspectives of breeding for altering sunflower oil quality to obtain novel oils. *International Journal of Current Microbiology and Application Science*, 6(8), 949-962.
- [2] Razavi, R. and R.E. Kenari, 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, 2448-2457.
- [3] Kenari, R.E., Amiri, Z.R., Motamedzadegan, Milani, J.M., Farmani, J., Farahmandfar, R. 2020. Optimization of Iranian golpar (*Heracleum persicum*) extract encapsulation using sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum: chitosan as a wall materials and its effect on the shelf life of soybean oil during storage. *Food Measure* 14, 2828-2839.
- [4] Choe, E. and Min, D.B., 2006. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(4), 169-186.
- [5] Taghvaei, M. and Jafari, S.M., 2015. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. *Journal of food science and technology*, 52(3), 1272-1282.
- [6] McClements, D.J. and Decker, E.A., 2000. Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of food science*, 65(8), 1270-1282.
- [7] Gramza-Michalowska PhD, A., Korczak Prof, J. and Regula PhD, J., 2007. Use of plant extracts in summer and winter season butter oxidative stability improvement. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16(1), 85-88.
- [8] Hashemi, Z., M. Hojjati, and M. Tahanejad. 2014. Evaluation of antioxidant activity of *Artemisia sieberi* essential oil on oxidative stability of frying oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 6(1), 19-35. [In Persian]
- [9] Pudziuvėlyte, L., Marksa, M., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D.M. and Bernatoniene, J., 2019. Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* Herb Ethanolic Extract

- stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 443-451.
- [27] Chranioti, C., Nikoloudaki, A. and Tzia, C., 2015. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. *Carbohydrate polymers*, 127, 252-263.
- [28] Jivan, M.J., Yarmand, M. and Madadlou, A., 2014. Encapsulation of date palm pit extract via particulation of starch nanocrystals in a microemulsion. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(3), 920-923.
- [29] Davidov-Pardo, G., Joye, I.J. and McClements, D.J., 2015. Encapsulation of resveratrol in biopolymer particles produced using liquid antisolvent precipitation. Part 1: Preparation and characterization. *Food Hydrocolloids*, 45, 309-316.
- [30] AOCS, Official methods and recommended practices of the AMOS. 2004: AMOS press Champaign.
- [31] Esfanjani, A.F., Jafari, S.M., Assadpoor, E. and Mohammadi, A., 2015. Nano-encapsulation of saffron extract through double-layered multiple emulsions of pectin and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, 165, 149-155.
- [32] Mohammadi, A., Jafari, S.M., Esfanjani, A.F. and Akhavan, S., 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. *Food chemistry*, 190, 513-519.
- [33] Royshampour, F., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F. and Alaei, S.H., 2020. Improving antioxidant effect of phenolic extract of *Mentha piperita* using nanoencapsulation process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 23-32.
- [34] Chen, X.M., Tait, A.R. and Kitts, D.D., 2017. Flavonoid composition of orange peel and its association with antioxidant and anti-inflammatory activities. *Food chemistry*, 218, 15-21.
- [35] Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y. and Bhandari, B., 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26(7), 816-835.
- [36] Aisha, A.F., Majid, A.M.S.A. and Ismail, Z., 2014. Preparation and characterization of nano liposomes of *Orthosiphon stamineus* Quality, 1-10.
- [18] Mohdaly, A.A.A., Sarhan, M.A., Mahmoud, A., Ramadan, M.F. and Smetanska, I., 2010. Antioxidant efficacy of potato peels and sugar beet pulp extracts in vegetable oils protection. *Food Chemistry*, 123(4), 1019-1026.
- [19] Esmaeilzadeh Kenari, R., Razavi, R., Mohammadi, A., Jeghetai, M., 2019. Optimization of extraction conditions from eggplant peel by using response surface methodology. *FSCT*, 15(84), 243-255 [In Persian]
- [20] Razavi, R. and Esmaeilzadeh Kenari R., Antioxidant activity of red onion (*Allium cepa* L.) peel extract produced by maceration, ultrasonic assisted and supercritical extraction techniques. *First International & 24th National Food Science and Technology*.
- [21] 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.
- [22] Irakli, M., Kleisiaris, F., Kadoglidou, K. and Katsantonis, D., 2018. Optimizing Extraction Conditions of Free and Bound Phenolic Compounds from Rice By-Products and Their Antioxidant Effects. *Foods*, 7(6), 93.
- [23] 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.
- [24] Bonoli, M., Verardo, V., Marconi, E. and Caboni, M.F., 2004. Antioxidant phenols in barley (*Hordeum vulgare* L.) flour: comparative spectrophotometric study among extraction methods of free and bound phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(16), 5195-5200.
- [25] Hosseini-Parvar, S.H., 2009. Basil seed gum (BSG): Physico-chemical, rheological and emulsifying characterization and its synergistic interactions in combination with locust bean gum and guar gum. Department of Food Science and Technology. Ferdowsi University of Mashhad.
- [26] Carneiro, H.C., Tonon, R.V., Grosso, C.R. and Hubinger, M.D., 2013. Encapsulation efficiency and oxidative

- oil. Food chemistry, 190, 513-519.
- [44] Mohammadi, A., Jafari, S.M., Esfanjani, A.F. and Akhavan, S. 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. Food chemistry, 190, 513-519.
- [45] Flanagan, J. and Singh, H., 2006. Recent advances in the delivery of food-derived bioactives and drugs using microemulsions. In Nanocarrier Technologies, 95-111.
- [46] Delfanian, M., Razavi, S.M., Khodaparast, M.H.H., Kenari, R.E. 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.
- [47] Agregán, R., Lorenzo, J.M., Munekata, P.E., Dominguez, R., Carballo, J. and Franco, D., 2017. Assessment of the antioxidant activity of *Bifurcaria bifurcata* aqueous extract on canola oil. Effect of extract concentration on the oxidation stability and volatile compound generation during oil storage. Food Research International, 99, 1095-1102.
- [48] Bagheri, R., Izadi Amoli, R., Tabari Shahndasht, N. and Shahosseini, S.R., 2016. Comparing the effect of encapsulated and unencapsulated fennel extracts on the shelf life of minced common kilka (*C. lupeonella cultriventrtris caspia*) and *P.seudomonas aeruginosa* inoculated in the mince. Food science & nutrition, 4(2), 216-222.
- [49] Estakhr, P., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., Alaei, S. and Mousavi Khaneghah, A., 2020. Incorporation of the nanoencapsulated polyphenolic extract of *Ferula persica* into soybean oil: Assessment of oil oxidative stability. Food science & nutrition, 8(6), 2817-2826.
- ethanolic extract in soybean phospholipids. BMC biotechnology, 14(1), 23.
- [37] Hosseinialhashemi, M., Tavakoli, J., Rafati, A., & Ahmadi, F. (2021). The application of *Pistacia khinjuk* extract nanoemulsion in a biopolymeric coating to improve the shelf life extension of sunflower oil. Food Science & Nutrition, 9(2), 920-928.
- [38] Royshanpour, F., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F. and Alaei, S.H. 2021. Improving antioxidant effect of phenolic extract of *Mentha piperita* using nanoencapsulation process. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(1), 23-32.
- [39] Chaari, M., Theochari, I., Papadimitriou, V., Xenakis, A. and Ammar, E., 2018. Encapsulation of carotenoids extracted from halophilic Archaea in oil-in-water (O/W) micro-and nano-emulsions. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 161, 219-227.
- [40] Taghvaei, M., Jafari, S.M., Mahoonak, A.S., Nikoo, A.M., Rahmanian, N., Hajitabar, J. and Meshginfar, N., 2014. The effect of natural antioxidants extracted from plant and animal resources on the oxidative stability of soybean oil. LWT-Food Science and Technology, 56(1), 124-130.
- [41] Betz, M. and Kulozik, U., 2011. Microencapsulation of bioactive bilberry anthocyanins by means of whey protein gels. Procedia Food Science, 1, 2047-2056.
- [42] Mohammadi, A., Jafari, S.M., Assadpour, E. and Esfanjani, A.F., 2016. Nano-encapsulation of olive leaf phenolic compounds through WPC-pectin complexes and evaluating their release rate. International journal of biological macromolecules, 82, 816-822.
- [43] Mohammadi, A., Jafari, S.M., Esfanjani, A.F. and Akhavan, S., 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean



Comparison of Antioxidant Activity of Free and Bonded Phenols of Nanoencapsulated Kiwi Fruit Peel Extract on Increasing Oxidative Stability of Soybean Oil

Mobasser, N. ¹, Esmailzadeh Kenari, R. ^{2*}, Razavi, R. ³

1. Graduated MSc Student of Food Science and Technology, Khazar University, Mahmood abad, Iran
2. Professor, Department of Food Science & Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Graduated Ph.D. Student of Food Science and Technology, Department of Food Science & Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2019/ 11 /11
Accepted 2021/ 08/ 30

Keywords:

Kiwifruit peel,
Soybean oil,
Garden cress seed gum,
Phenol.

DOI: 10.52547/fsc.18.09.29

*Corresponding Author E-Mail:
Reza_kenari@yahoo.com

ABSTRACT

In this study, kiwifruit peel extract was obtained by sonication (probe at two intensities of 50 and 80% and bath). The bonded phenol extracted by probe ultrasound at 80% (P80B) (63.83 mg/g) and 50% (P50B) (60.36 mg /g) and bath ultrasound (BF) (265.88 mg/g) exhibited higher antioxidant activity in DPPH free radical scavenging method, respectively. Nano-encapsulated phenolic compound was performed using *garden cress* seed gum. Encapsulation efficiency of phenolic compounds was over 50% (51.82-96.36 %) and BF phenolics had the lowest encapsulation efficiency. All three nano-encapsulated phenols had nanometer size (146.5-172.3 nm) and negative zeta potential in range of -18.74 to -14.12. In order to compare the antioxidant activity of free and bonded phenolic compounds nano-encapsulated phenols at 800 ppm and synthetic antioxidant TBHQ at 100 ppm were added to soybean oil without antioxidant. The samples were stored at 60 ° C for 40 days and tests were performed on the samples for 8 days intervals. The results showed that with increasing storage time, the amount of phenolic compounds release increased and sedimentation decreased. Oxidation of oil increased with storage time. The lowest and highest oxidation rates were observed in TBHQ and control samples, respectively. The use of bonded phenol at 80% intensity due to no statistically significant difference ($p>0.05$) with the sample containing synthetic antioxidant can be used as a natural antioxidant to extend the shelf life of the oil.