

مقایسه اثر ضد اکسایشی سلنیت سدیم میکروکپسول شده و ریزپوشانی نشده با بوتیل هیدروکسی آنیزول در روغن سویا

سپیده مشتاقی^۱، محمد گلی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
* نویسنده مسئول (mgolifood@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

واژه‌های کلیدی

روغن سویا
سلنیت سدیم
صمغ عربی-فارسی
فعالیت آنتی‌اکسیدانی
میکروکپسولاسیون

چکیده

این تحقیق به بررسی میکروانکپسولاسیون سلنیت سدیم همراه با صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد) و صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد) و خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد) به روش سطح پاسخ پرداخت. نسبت حلال اتانول به مخلوط (۶ گرم صمغ و ۳۰۰ میلی‌گرم سلنیت سدیم در ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط) ۱۰ به ۱ انتخاب شد. فرمول بهینه اول (صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد و درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد با راندمان ۸۹/۵ درصد، اندازه ذرات ۴۴/۶ میکرومتر) و فرمول بهینه دوم (صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد و خلوص اتانول ۸۹ درصد با راندمان ۸۶ درصد، اندازه ذرات ۴۸/۵ میکرومتر) انتخاب شدند. سپس نمونه‌های بهینه (۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام) با نمونه سنتزی آنتی‌اکسیدان بوتیل‌هیدروکسی آنیزول (BHA) (۲۰۰ پی‌پی‌ام)، سلنیت سدیم فاقد کپسول (۸/۶ پی‌پی‌ام معادل سلنیوم کپسول‌های بهینه) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شد و دما و زمان نگهداری روغن سویا در انکوباتور با کمک برنامه شلف‌لایف اکسلریاتور (۵۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۳، ۰ و ۴۴ روز) معادل انبارداری (۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۸۰، ۰ و ۳۶۰ روز) گردید و شاخص‌های اکسایش مقایسه شدند. نتایج نشان داد با افزایش درصد صمغ عربی (کاهش صمغ فارسی) و درصد خلوص اتانول، کارایی افزایش (۹۴/۶۳ درصد) و سایز ذرات کاهش (۳۷/۵ میکرومتر) یافت. ترتیب انتخاب تیمارها براساس اهمیت کاربردی در صنعت غذا برای داشتن فعالیت آنتی‌اکسیدانی حداکثری و خواص اکسایش حداقلی در بازه یکساله شاکل بهینه اول، بهینه دوم، بوتیل‌هیدروکسی آنیزول، سلنیت سدیم کپسول‌نشده (مصرف آبی) و نمونه شاهد (فاقد آنتی‌اکسیدان) شد.

مقدمه

فساد قرار دارند. چنانچه این فساد از حد خاصی تجاوز کند، روغن یا ماده حاوی آن را غیرقابل استفاده برای مصارف غذایی می‌کند (Ahmadi, Kadivar, & Shahedi, 2007). از طرفی برخی از ترکیبات به وجود آمده در اثر اکسیداسیون برای سلامت انسان زیان‌آور می‌باشد (Haumann, 1994). روغن سویا بزرگ‌ترین منبع روغن خوراکی در جهان است و به علت غیراشباع بودن و پایداری

روغن‌ها و چربی‌ها تأمین بخش قابل توجه انرژی موردنیاز بدن، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی را برعهده دارند (حسینی‌مظهری، کبریتی، غیائی‌طرزی، گرامی و اسفندیاری، ۱۳۹۱).

به دلیل وجود مقدار قابل توجهی از پیوندهای دوگانه در بسیاری از روغن‌ها، این مواد در معرض اکسیداسیون و

رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Rotruck *et al.*, 1973). در بدن سلنیوم به پروتئین‌ها متصل شده و تشکیل سلنوپروتئین‌ها را می‌دهد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند. مهم‌ترین خاصیت سلنیوم فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن بوده و خواص دیگری از قبیل خاصیت ضدالتهاپی و خواص ضدویروسی نیز دارد (یارنظری و همکاران، ۱۳۹۵). اثرات آنتی‌اکسیدانی سلنیوم و ویتامین E ممکن است یکدیگر را تقویت کنند (Agarwal & Prabakaran, 2005). سلنیوم به‌عنوان جانشین ویتامین E نیز عمل می‌کند. پایین‌بودن مقدار سلنیوم در بدن بیماران سرطانی نشانگر آن است که کمبود دریافت سلنیوم ممکن است به سرطان‌زایی کمک کند (Djujić, Jozanov-Stankov, Milovac, Janković, & Djermanović, 2000). لذا برای محافظت بالا و افزایش بازده اثرگذاری، آن را کپسوله کرده سپس به روغن اضافه گردید. ریزپوشانی کردن می‌تواند فرایندهای تجزیه (مثل اکسایش یا هیدرولیز) را آهسته نماید و یا مانع تخریب ترکیبات تا زمان انتقال فرآورده به مکان مناسب شود. بنابراین، ریزپوشانی کردن می‌تواند مواد زیست‌فعال حساس را پایدار نماید و از شرایط محیطی نامناسب محافظت کند و باعث افزایش دسترسی زیستی آنها گردد. میزان قابل تحمل، حدمجاز پیشنهادشده و میانگین نیاز برآوردشده برای انسان به ترتیب ۴۰۰، ۵۵ و ۴۵ میکروگرم سلنیوم در روز می‌باشد (Fraga, 2005). سلنیوم یک شبه‌فلز است لذا استفادهٔ بیش‌از‌حدمجاز سلنیت سدیم سمی است و علائمی چون بوی تنفس سیر، کاهش رشد مو و ناخن، اختلالات سیستم عصبی و کاهش سلامتی دندان همچنین منجر به تهوع و استفراغ می‌شود (Meltzer *et al.*, 1993).

مواد و روش‌ها

اسید استیک گلاسیال^۸، کلروفرم، الکل اتیلیک، پتاسیم یدید، فنول فتالئین، پارا آنیزیدین، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید، تیوسولفات سدیم، هگزان، نشاسته و صمغ عربی از شرکت مرک (ساخت آلمان)، بوتیل هیدروکسی‌آنیزول از شرکت تیتراچم (ساخت آلمان)، اسید تیوباربتوریک اسید از شرکت سروا (ساخت آمریکا)، سلنیت سدیم و توئین ۸۰ از شرکت سیگما (ساخت

حرارتی بالا در بین روغن‌های خوراکی از جایگاه خاصی برخوردار است (دباغها و وثوقی، ۱۳۹۰). این روغن به‌علت دارابودن ۵-۹ درصد اسیدلینولنیک و مستعدبودن به اتو-اکسیداسیون^۱، بتا-اکسیداسیون^۲ و برگشت طعم مصرف آن براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۷۳۴ (سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]، ۱۳۹۵) به‌صورت روغن خام بدون آنتی‌اکسیدان محدود است. یکی از راه‌های مهم مقابله با اکسیداسیون روغن‌ها استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد (Wanasundara & Shahidi, 2005). از متداول‌ترین این گروه از آنتی‌اکسیدان‌ها بوتیل هیدروکسی‌آنیزول (BHA^۳)، بوتیل هیدروکسی‌تولون (BHT^۴) و ترشیاری بوتیل هیدروکسینون (TBHQ^۵) می‌باشند (Eskin & Robinson, 2000). اما طبق پاره‌ای از بررسی‌های انجام‌شده، استفاده از چنین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی ممکن است تحت شرایطی با خطرهای سرطان‌زایی، جهش‌زایی و یا آثار سوء دیگری برای انسان همراه باشند (Dziezak, 1986; Sariri, 2012; Wanasundara & Shahidi, 1996). از این‌نظر در دهه‌های اخیر تحقیق‌های زیادی صورت‌گرفته تا از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی برای جلوگیری از اکسایش روغن استفاده شود (Martínez, Penci, Ixtaina, Ribotta, 2014; Ortega-Ramirez *et al.*, 2013; Maestri, 2013). در این مقاله از سلنیت سدیم به‌عنوان آنتی‌اکسیدان استفاده شد. سلنیوم^۶ یکی از املاح معدنی کمیاب و ضروری برای بدن می‌باشد. سلنیوم دارای ترکیبات مختلف آلی و غیرآلی می‌باشد (Stewart *et al.*, 2012). مهم‌ترین اشکال غیرآلی سلنیوم شامل سلنات سدیم، سلنیت سدیم، سلنید سدیم و کلرید سدیم می‌باشد (Combs & Combs, 1984). سلنیوم یکی از عنصرهای شیمیایی غیرفلزی و کمیاب است و در گروه ۶ جدول تناوبی قرار دارد (White *et al.*, 2004). این عنصر بیشتر به‌صورت ترکیب یافت می‌شود و به‌صورت خالص کمتر دیده می‌شود. سلنیوم به‌عنوان یک جزء مهم آنزیم پراکسیدازگلوکاتایون^۷ شناخته شده است و بدن را در مقابل آسیب‌های ناشی از اکسایش

¹ Auto-Oxidation

² β -Oxidation

³ Butylated Hydroxyanisole (BHA)

⁴ Butylated Hydroxytoluene (BHT)

⁵ Tertiary Butylhydroquinone (TBHQ)

⁶ Selenium

⁷ Peroxid Glutathione

⁸ Glacial Acetic Acid

کمک روش سطح پاسخ (RSM)، بهینه‌سازی براساس بالاترین راندمان کپسولاسیون و پایین‌ترین اندازه ذرات، صورت گرفت. دامنه مقادیر به دست آمده برای فرایند بهینه‌سازی شامل صمغ عربی (۲۵ تا ۲۹ درصد)، درصد خلوص اتانول (۸۰ تا ۱۰۰ درصد)، کارایی کپسولاسیون (۹۰ تا ۹۴/۶۳ درصد) و اندازه ذرات (۳۷/۵ تا ۵۰ میکرومتر) بود که دو فرمول مطلوب‌تر که بالاترین درصد مطلوبیت^۲ را داشتند، انتخاب شد. میکروکپسول‌های سلیت سدیم با دو فرمول بهینه، شامل بهینه اول (غلظت صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد، خلوص اتانول ۹۴ درصد) و بهینه دوم (غلظت صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد، خلوص اتانول ۸۹ درصد)، طبق دستورالعمل FDA میزان سلیت مصرفی مجاز روزانه ۴۰-۵۵ میکروگرم بوده (Fraga, 2005) و براساس محاسبه‌های انجام شده میزان روغن حاوی سلیت مجاز روزانه ۱۴ گرم می‌باشد) به مقدار ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام نمونه بهینه یک و دو (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلیت، آنتی‌اکسیدان سنتزی BHA (۲۰۰ پی‌پی‌ام) و سلیت سدیم فاقد کپسول (حاوی ۸/۶ پی‌پی‌ام سلیت) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و در بازه زمانی ۴۶ روزه در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و اندیس پراکسید، تیوباربیتوریک اسید، آنیزیدین، توتوکس^۳، اسیدیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان مقایسه شد.

به منظور جلوگیری از ته‌نشین شدن میکروکپسول‌ها در روغن، از توئین ۸۰ استفاده شد. به این منظور میکروکپسول‌ها را با چند قطره آب حل کرده و سپس ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام توئین ۸۰ و مقداری روغن به آنها اضافه شد و سپس به مدت ۵ دقیقه روی شیکر قرار گرفته و به کل روغن اضافه شدند.

آزمون‌های شیمیایی روغن

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید از روش Firestone (۱۹۹۴) و Kirk, Egan و Sawyer (۱۹۹۷) استفاده شد. آزمون تیوباربیتوریک اسید نیز طبق روش Egan و همکاران (۱۹۹۷) انجام شد، اندیس آنیزیدین مطابق با

آمریکا) و صمغ فارسی از ایران تهیه گردید. روغن سویا (تصفیه شده فاقد آنتی‌اکسیدان) نیز از کارخانه طارم زنجان خریداری شد.

روش‌ها

جهت انجام این پژوهش در ابتدا ۳۰۰ میلی‌گرم سلیت سدیم توسط ترکیب صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۰ درصد) و صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد) (مجموع درصد صمغ عربی و فارسی در هر تیمار ۳۰ درصد است) به روش تبخیر حلال، توسط درصدهای مختلف خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد) با نسبت ۱۰ به ۱ حلال به مخلوط (صمغ و سلیت سدیم) کپسوله شد و بعد از تهیه میکروکپسول‌ها، کارایی کپسولاسیون و آنالیز سایز و اندازه میکروکپسول‌ها مشخص گردید. میکروکپسول‌های سلیت سدیم از طریق فیلتراسیون توسط کاغذ صافی از اتانول جدا شدند. مواد باقی‌مانده (کپسول‌ها) تحت شرایط یخچالی (دمای ۴ تا ۷ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۲ تا ۱۴ ساعت خشک شدند. محتوای سلیت سدیم را که در ابتدا برای تهیه میکروکپسول‌های سلیت سدیم اضافه شد، به عنوان محتوای کل سلیت در نظر گرفته شد و سلیت کپسول شده در مواد باقی‌مانده، توسط اسپکتروفتومتر جذبی (مدل یووی ۱۹۰۰، شیمادزو، ساخت ژاپن) در ۲۴۸/۳ نانومتر از طریق روش AOAC (۲۰۰۵) تخمین زده شد. کارایی از طریق رابطه (۱) اندازه‌گیری شد (Tomar, & Singh, 2015):

رابطه (۱)

$$100 \times \text{سلیت کل / سلیت باندشده} = \text{کارایی کپسول}$$

برای آنالیز اندازه ذرات، میکروکپسول‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای قرار داده شدند و ۱ یا ۲ قطره آب مقطر برای پخش مناسب روی آنها چکانده شد. این میکروکپسول‌ها با میکروسکوپ نوری (Nikon, E200)، ساخت آمریکا، (با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر) مشاهده و اندازه میکروکپسول‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J نسخه ۱۰ تخمین زده شد.

شرایط بهینه برای میکروکپسوله کردن سلیت سدیم با استفاده از پروفایل صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انجام شد سپس با

¹ Response Surface Methodology

² Desirability

³ Totox

گردید. سپس ۱ میلی‌لیتر محلول فنول فتالین ۱ درصد به آن اضافه کرده و با سود ۰/۱ نرمال تا تشکیل رنگ صورتی کم‌رنگ تیترا شد.

آنالیز آماری

برای میکروکپسوله‌کردن ۲ فاکتور A شامل میزان درصد صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹ درصد) و صمغ فارسی متناظر آن به ترتیب (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد)، و فاکتور B درصد خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد) در نظر گرفته شد و برای تحلیل نتایج از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی و $\alpha=2$ با ۶ نقطه مرکزی استفاده شد. برای آزمون‌های روغن، ۲ عدد از فرمول‌های با درصد مطلوبیت بالاتر انتخاب شد و به همراه نمونه فاقد کپسول، نمونه فاقد آنتی‌اکسیدان و نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان BHA به روغن سویا اضافه شد و در بازه زمانی ۴۶ روزه در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان از نظر خواص آنتی‌اکسیدانی بررسی شدند. دما و زمان نگهداری روغن سویا در انکوباتور با کمک برنامه شلف‌لایف اکسلریاتور (۵۵ درجه سانتی‌گراد و ۰، ۲۳ و ۴۴ روز، معادل انبارداری ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روز) معادل‌سازی شد. طبق این روش تسریع‌شده، در عمل ماده غذایی تحت‌تأثیر درجه حرارت بالا قرار گرفت و نتایج از طریق معادله آرنیوس و Q_{10} معادل ۲ به شرایط معمولی تعمیم داده شد (Schmidl, 1985). اختلاف بین مقادیر در نمونه‌ها با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون LSD در سطح احتمال ($P < 0.05$) انجام گردید. برای تحلیل نتایج از روش آماری تحلیل واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۷) استفاده گردید و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر پاسخ‌های آزمون تعیین کارایی و سایز کپسولاسیون رابطه تجربی، بین متغیرهای آزمایش و درصد کارایی کپسولاسیون به صورت کدگذاری شده و به واسطه استفاده از روش سطح پاسخ و براساس رابطه (۲) به دست آمد:

رابطه (۲)

$$\begin{aligned} & 3.08 \times 10^{-6} - 1.56 \times 10^{-6} (\%) \text{ کارایی کپسولاسیون} \\ & 10^{-8}(A) - 2.71 \times 10^{-7}(B) + 4.24 \times 10^{-8}(B^2) - \\ & 3.51 \times 10^{-8}(A^2B) \\ & R\text{-Squared}=0.99 \end{aligned}$$

روش Tompkins و Perkins (۱۹۹۹) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۵۰ نانومتر ارزیابی شد. اندیس توتوکس مطابق با رابطه ارائه‌شده Wanasundara و Shahidi (۲۰۰۵) سنجیده شد، اسیدیته نیز طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۱۷۹ (سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]، ۱۳۸۷) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تمام نمونه‌ها طبق رابطه ارائه‌شده توسط قنبری، قوامی و صفار (۱۳۸۵) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید، ۵ گرم روغن در ارلن وزن شده و ۳۰ میلی‌لیتر محلول استیک اسید-کلروفرم (با نسبت ۲:۳) به آن اضافه شد و پس از آن به محلول به دست آمده ۰/۵ میلی‌لیتر محلول پتاسیم یدور اشباع اضافه شد و ۲ دقیقه در تاریکی قرار گرفت. سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر شناساگر نشاسته به آن اضافه گردید و تیتراسیون با تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی ادامه یافت. همراه با نمونه‌ها، تیتراسیون شاهد (تمام محلول‌ها به جزء روغن) نیز انجام شد.

برای اندازه‌گیری تیوباربیتوریک اسید مقدار ۰/۲ گرم از نمونه به یک بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری انتقال یافته و با ۱-بوتانول به حجم رسانده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول فوق به لوله‌های خشک درب‌دار منتقل و به آن ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیتوریک اسید افزوده شد. لوله‌های درب‌دار در حمام آبی با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. سپس مقدار جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد (آب مقطر) خوانده شد.

برای اندازه‌گیری اندیس آنیزیدین ۳ گرم روغن در ارلن ۲۵ میلی‌لیتری توزین شده و با هگزان به حجم رسانده شد، سپس جذب آن در ۳۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از هگزان به عنوان شاهد استفاده گردید. ۵ میلی‌لیتر از محلول چربی در لوله آزمایش ۱ و ۵ میلی‌لیتر حلال در لوله آزمایش ۲ ریخته شد. ۱ میلی‌لیتر معرف آنیزیدین به ۲ لوله آزمایش اضافه کرده، پس از هم‌زدن و بعد از ۱۰ دقیقه نگهداری در محیط تاریک، جذب نوری در ۳۵۰ نانومتر خوانده شد. از محتویات لوله ۲ به عنوان شاهد استفاده شد. شاخص توتوکس از حاصل جمع دو برابر اندیس پراکسید با اندیس آنیزیدین به دست می‌آید.

برای اندازه‌گیری اسیدیته ۱۰ گرم روغن در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری توزین و به آن ۵۰ میلی‌لیتر اتانول اضافه

ضریب تبیین مدل‌ها نشان‌دهنده این بود که این مقادیر برای رابطه درجه یک به میزان ۰/۹۷ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بوده، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری داشته و برای پیشگویی پیشنهاد گردید.

اعداد پیشگویی شامل راندمان (۸۹/۵ درصد) و اندازه ذرات (۴۴/۶ میکرومتر) و اعداد تجربی شامل راندمان (۸۸ درصد) و اندازه ذرات (۴۷ میکرومتر) برای فرمول بهینه انتخابی شماره ۱ زمانی به دست آمد که غلظت صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد و درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد بود و همچنین اعداد پیشگویی شامل راندمان (۸۶ درصد) و اندازه ذرات (۴۸/۵ میکرومتر) و اعداد تجربی شامل راندمان (۸۵/۵ درصد) و اندازه ذرات (۴۹ میکرومتر) برای فرمول بهینه انتخابی شماره ۲ زمانی به دست آمد که غلظت صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد و خلوص اتانول ۸۹ درصد بود. یافته‌های این تحقیق حاکی از وجود رابطه مستقیم میان غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با راندمان کپسولاسیون بود، به طوری که با افزایش غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول راندمان کپسولاسیون افزایش یافت (شکل ۱).

در حالی که رابطه میان غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با اندازه ذرات معکوس بود. یعنی با افزایش غلظت صمغ عربی و خلوص اتانول اندازه ذرات کاهش یافت و باتوجه به ضرایب در رابطه‌های (۱) و (۲) درصد خلوص اتانول تأثیر بیشتری بر افزایش کارایی و کاهش سایز ذرات داشت.

در رابطه (۲)، A: درصد صمغ عربی، B: درصد خلوص اتانول، B²: اثر درجه دوم درصد خلوص اتانول و A²B: اثر متقابل درجه دوم درصد صمغ عربی و درصد خلوص اتانول است.

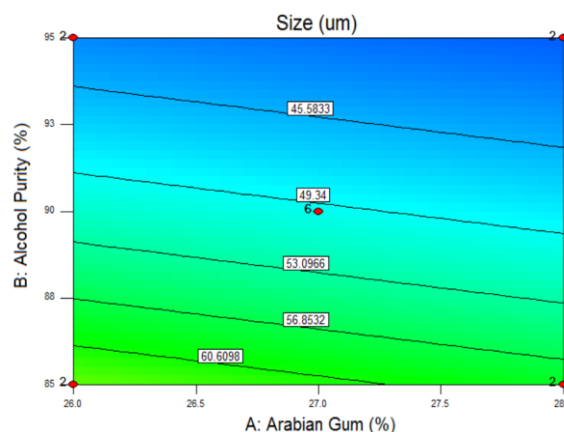
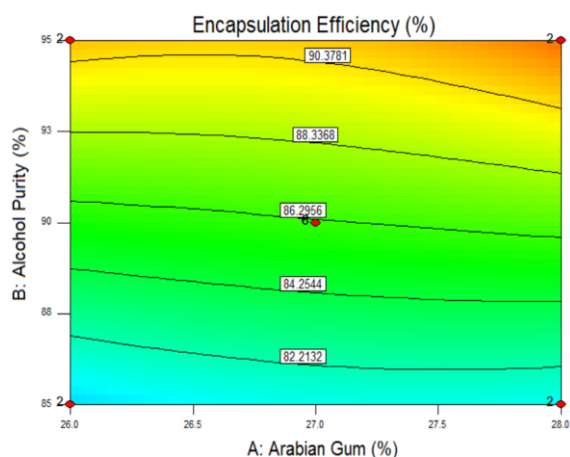
ضریب خطی A (درصد صمغ عربی)، B (درصد خلوص اتانول)، ضریب مربوط به اثر درجه دوم B² و نیز ضریب مربوط به اثر متقابل A²B تأثیر معنی‌داری بر راندمان کپسولاسیون داشتند و باتوجه به ضرایب آنها در رابطه (۱) ضریب B تأثیر بیشتری نسبت به بقیه داشت. بررسی ضریب تبیین مدل‌ها نشان داد که این مقادیر برای رابطه درجه سوم به میزان ۰/۹۹ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بوده و بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری داشته و برای پیشگویی پیشنهاد گردید. نتایج نشان داد با افزایش درصد خلوص اتانول و افزایش غلظت صمغ عربی کارایی کپسولاسیون افزایش یافت. همچنین رابطه تجربی بین متغیرهای آزمایش و اندازه کپسولاسیون به صورت کدگذاری شده، به واسطه استفاده از روش سطح پاسخ و براساس رابطه (۳) به دست آمد:

رابطه (۳)

$$Y = -4.30 \times 10^{-3} + 3.84 \times 10^{-5}(A) + 4.37 \times 10^{-5}(B) - 1.87(\text{اندازه ذرات})$$

$$R\text{-Squared}=0.97$$

در رابطه (۳)، ضریب خطی A (درصد صمغ عربی) و B (درصد خلوص اتانول) تأثیر معنی‌داری بر اندازه کپسولاسیون داشتند و باتوجه به ضرایب آنها در رابطه (۲) ضریب B تأثیر بیشتری نسبت به بقیه داشت. بررسی



شکل ۱- بررسی اثر متقابل درصد صمغ عربی و خلوص الکل بر میزان ابعاد و راندمان کپسولاسیون سلیت

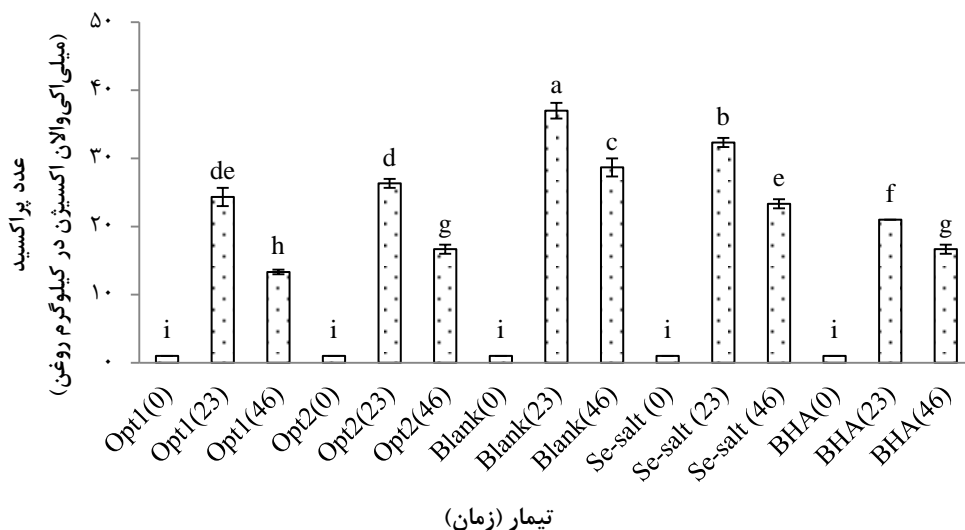
بهینه‌سازی

بهینه‌سازی براساس میزان صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد)، صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد)، خلوص اتانول (۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ درصد)، کارایی (۹۰-۹۴ درصد) و سایز (۳۷/۵-۵۰ میکرومتر) طراحی شد. دو نمونه بهینه ۱ (صمغ عربی ۲۷ درصد، صمغ فارسی ۳ درصد و درصد خلوص اتانول ۹۴ درصد با راندمان ۸۹/۵ درصد، اندازه ذرات ۴۴/۶ میکرومتر) و نمونه بهینه ۲ (صمغ عربی ۲۹ درصد، صمغ فارسی ۱ درصد و خلوص اتانول ۸۹ درصد با راندمان ۸۶ درصد، اندازه ذرات ۴۸/۵ میکرومتر) انتخاب گردید.

اثر متقابل تیمار در زمان بر ویژگی‌های کیفی روغن سویا عدد پراکسید

عدد پراکسید شاخصی است که نشان‌دهنده مرحله آغازین اکسایش می‌باشد. این شاخص غلظت هیدروپراکسیدها و پراکسیدها را نشان می‌دهد که ترکیباتی ناپایدار هستند و می‌توانند به آسانی اسیدهای چرب را به ترکیباتی با وزن مولکولی کم نظیر الکل، آلدئید، اسیدهای چرب آزاد و کتون‌ها، شکسته و موجب فساد اکسایشی روغن شوند (Sun-Waterhouse, Penin-Peyta, Wadhwa, & Waterhouse, 2012؛ محمدی، فاضل و خسروی، ۱۳۹۵).

همان‌طورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر، پایین‌ترین عدد پراکسید را نشان داده‌اند. میزان پراکسید از روز صفر تا روز ۲۳ دوره نگهداری، یک روند افزایشی را نشان داده است که نشان‌دهنده آغاز فرایند اکسایش و تجمع ترکیبات حاصل از آنها مانند پراکسیدهاست و پس از آن، تا روز ۴۶ روند کاهشی داشته است. از آنجایی که مالون آلدئیدها از تجزیه هیدروپراکسیدها حاصل می‌گردد، پس از گذشت مدت زمانی معین، که مقدار محصولات اولیه اکسایش یافت، پراکسیدها و هیدروپراکسیدها شروع به تجزیه شدن کرده و بنابراین عدد پراکسید کاهش می‌یابد (کبیری و سیدالنگی، ۱۳۹۴). نمونه‌های روغن دارای سلنیت سدیم کپسوله‌شده در مقایسه با نمونه روغن حاوی سلنیت سدیم کپسوله‌نشده، عدد پراکسید پایین‌تری را نشان داد، که علت آن را می‌توان به حفظ پایداری آنتی‌اکسیدان درون کپسول نسبت داد. چرا که کپسول موجب آزادسازی کنترل‌شده آنتی‌اکسیدان در طی دوره نگهداری می‌شود، درحالی‌که آنتی‌اکسیدان در حالت آزاد بیشتر در معرض عوامل اکسیدکننده قرار گرفته و خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود را زودتر از دست می‌دهد.



شکل ۲- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان پراکسید روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجه سانتی‌گراد)

تیمار Opt₁: (۲۷ درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)). تیمار Opt₂: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)). تیمار Se-salt: (Na₂SeO₃) نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم). تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و Blank (Antioxidant free): روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان

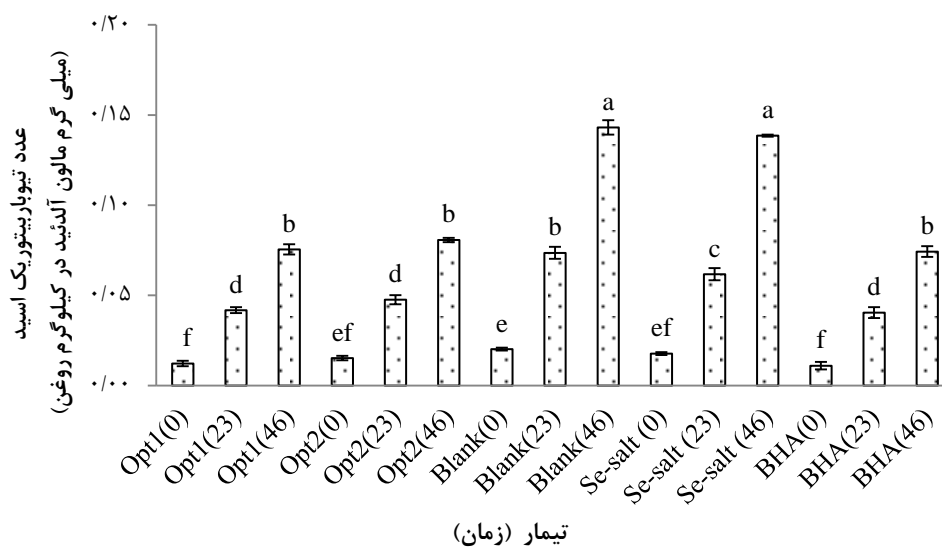
می‌دهد. میزان عدد تیوباربتوریک اسید، تحت تأثیر مدت زمان دوره نگهداری قرار می‌گیرد و با افزایش زمان دوره نگهداری، افزایش می‌یابد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). باتوجه به شکل (۳)، میزان عدد تیوباربتوریک اسید از روز صفر تا روز ۴۶ دوره نگهداری روند افزایشی داشت. زمانی که میزان پراکسید به حد معینی برسد، تغییرات مختلفی ایجاد می‌شود و مواد فرار آلدئیدی و کتوننی حاصل از تجزیه هیدروپراکسیدها تولید می‌شوند که در ایجاد بو و طعم نامطبوع مواد چرب، مؤثر می‌باشند و باعث بالارفتن عدد تیوباربتوریک اسید می‌شوند. علاوه بر این، آنتی‌اکسیدان‌ها طی مدت زمان معینی فعال باقی‌مانده و با گذشت زمان به تدریج از درجه تأثیر آنها کاسته می‌شود که دلیل آن می‌تواند نگهداری نمونه در شرایط اکسایش و حرارت باشد. از این رو با افزایش زمان دوره نگهداری، میزان عدد تیوباربتوریک اسید افزایش می‌یابد (Farag, Mahmoud, & Basuny, 2007؛ کبیری و سیدالنگی، ۱۳۹۴). اگرچه گاهی با گذشت زمان دوره نگهداری، آنتی‌اکسیدان (سلنیت سدیم) می‌تواند باعث بلوکه شدن مولکول‌های آنتی‌اکسیدان و حتی اثرات پراکسیدانی گردد (Armando, Maythe, & Beatriz, 1998).

در تحقیقی مشابه Ben-Ali, Dhouib, Damak و Allouche (۲۰۱۴) گزارش کردند که عصاره متانولی ریحان اثر آنتی‌اکسیدانی خوبی بر پایداری روغن آفتاب‌گردان در طول ۲۴ روز دوره نگهداری داشته و موجب تأخیر در تشکیل هیدروپراکسیدها شده است و با افزایش غلظت عصاره، کاهش بیشتری در عدد پراکسید مشاهده نمودند. عدد پراکسید نمونه شاهد تا روز ۲۰ روند افزایشی و پس از آن تا روز ۲۴ روند کاهشی نشان داده است.

در تحقیقی Batool و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر ویتامین E و سلنیوم بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و اکسایش چربی پنیر چدار را بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد سلنیوم و ویتامین E به‌طور قابل‌توجهی اکسایش لیپیدها را در حین رسیدن پنیر مهار می‌کنند. سلنیوم و ویتامین E می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در تسریع رسیدن پنیر استفاده شوند. در این تحقیق مقدار پراکسید و غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور کامل در ارتباط بودند.

عدد تیوباربتوریک اسید

تعیین عدد تیوباربتوریک اسید، میزان مالون‌آلدئید را که محصول جانبی مرحله ثانویه اکسایش می‌باشد، نشان



شکل ۳- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان عدد تیوباربتوریک اسید روغن سویا (انکوبه شده در ۵۵ درجه سانتی‌گراد) (تیمار Opt₁: ۲۷ درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt₂: ۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt: نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و Blank (Antioxidant free): روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان)

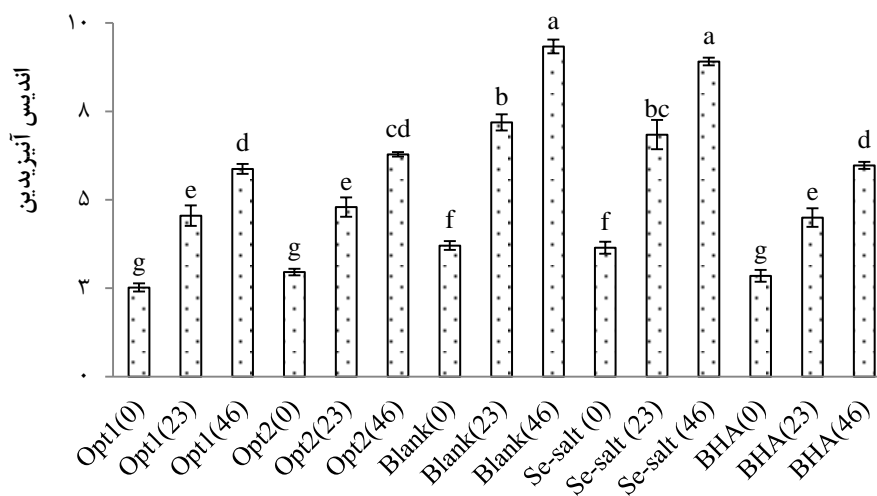
حاصل از اکسایش ازجمله آلفا و بتا-آلدئیدهای^۱ غیراشباع را نشان می‌دهد (Sun-Waterhouse *et al.*, 2012). براساس شکل (۴)، کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر کمترین اندیس آنیزیدین را داشتند. میزان اندیس آنیزیدین از روز صفر تا روز ۴۶ دوره نگهداری، یک روند افزایشی نشان داد. با افزایش زمان دوره نگهداری، روند اکسایش شدت یافته و مقدار محصولات ثانویه اکسایش افزایش می‌یابند.

بالاترین اندیس آنیزیدین در نمونه شاهد (فاقد آنتی‌اکسیدان) در روز ۴۶ مشاهده شد. در میان تیمارها، نمونه دارای آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی‌آنیزول و نمونه‌های حاوی سلنیت سدیم کپسوله‌شده (بهینه انتخابی اول و دوم) پایین‌ترین اندیس آنیزیدین را در روز ۲۳ داشتند.

کبیری و سیدالنگی (۱۳۹۴) با بررسی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های مختلف برگ گیاه بادرنجبویه حاصل از دو روش استخراج غرقابی و استخراج به کمک امواج مایکروویو و تأثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا نشان دادند که با افزایش زمان دوره نگهداری، میزان عدد تیوباریتوریک اسید افزایش می‌یابد. سلنیوم و ویتامین E به‌طور قابل توجهی اکسایش لیپیدها و بخصوص تولید محصولات ثانویه اکسایش مانند مالون‌دی‌آلدئید را درحین رسیدن پنیر مهار کرد. به‌طوری‌که از سلنیوم و ویتامین E به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در تسریع رسیدن پنیر استفاده شدند. مقدار تولید مالون‌دی‌آلدئید و غلظت آنتی‌اکسیدان ترکیبی ویتامین E و سلنیوم رابطه غیرمستقیم داشتند (Batool *et al.*, 2018).

اندیس آنیزیدین

اندازه‌گیری اندیس آنیزیدین میزان محصولات ثانویه



تیمار (زمان)

شکل ۴- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان اندیس آنیزیدین روغن سویا (انکوبه‌شده در ۵۵ درجه سانتی‌گراد) تیمار Opt₁: (۲۷ درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت * ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt₂: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت * ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt: (Na₂SeO₃) سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و Blank (Antioxidant free): روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان

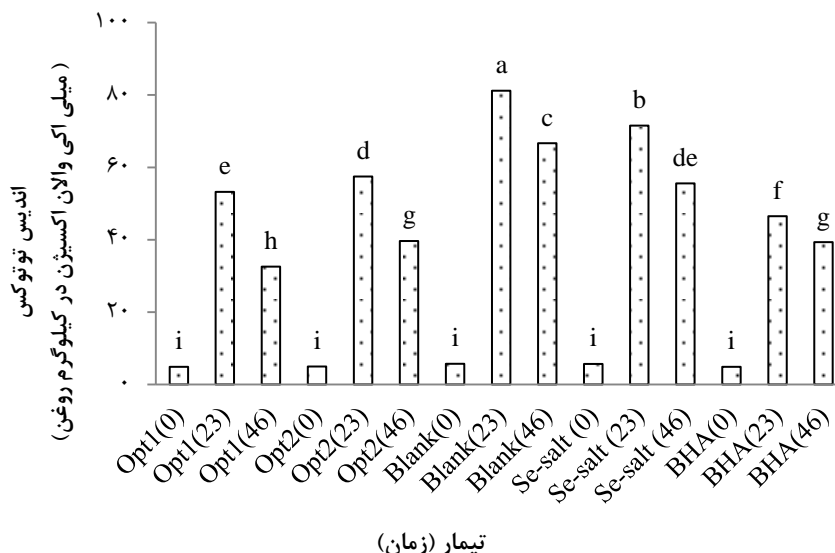
¹ α and β-Aldehydes

اندیس توتوکس

شاخص توتوکس نشان دهنده اکسایش کامل است و شامل فراورده‌های اولیه و ثانویه اکسایش می‌باشد (Sun- Waterhouse et al., 2012). این اندیس طبق فرمولی از عدد پراکسید و اندیس آنیزیدین به دست می‌آید و تغییرات آن تقریباً مشابه این دو اندیس است (فتح الهی و کرامت، ۱۳۹۶). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، روند تغییرات

اندیس توتوکس تقریباً مشابه روند تغییرات عدد پراکسید بوده است.

باتوجه به نتایج شکل (۵)، کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر، پایین‌ترین اندیس توتوکس را نشان داده‌اند. میزان اندیس توتوکس از روز صفر تا روز ۲۳ دوره نگهداری، یک روند افزایشی و پس از آن تا روز ۴۶ روند کاهشی داشت.



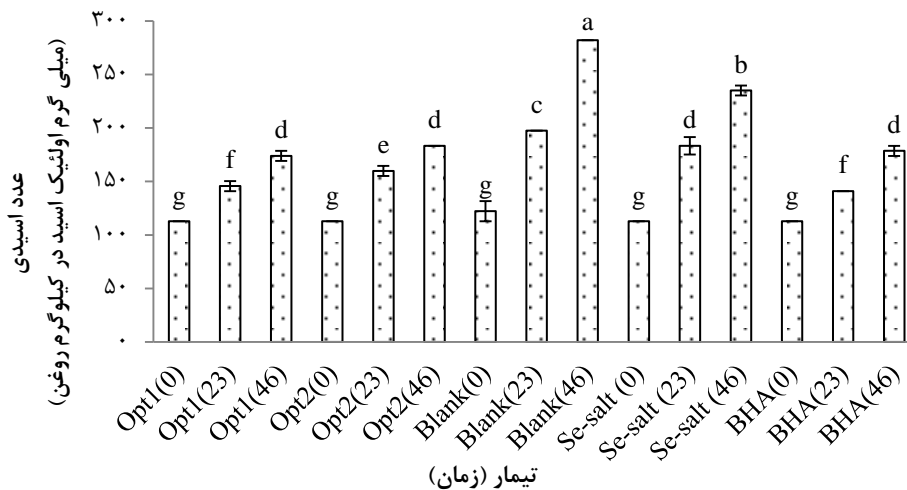
شکل ۵- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان اندیس توتوکس روغن سویا (انکوبه شده در ۵۵ درجه سانتی‌گراد)

تیمار Opt₁: (۲۷ درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی‌پی‌ام (حاوی ۲/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Opt₂: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم))، تیمار Se-salt: (Na₂SeO₃)، نمک سلنیت سدیم با غلظت ۱/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و Blank (Antioxidant free): روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان

عدد اسیدی

عدد اسیدی نشان دهنده شروع اکسایش روغن و از شاخص‌های مهم کیفی روغن در شرایط ذخیره‌سازی می‌باشد. باتوجه به شکل (۶)، کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر، پایین‌ترین عدد اسیدی را نشان دادند. میزان عدد اسیدی از روز صفر تا روز ۴۶ دوره نگهداری، یک روند افزایشی داشت. زیرا با افزایش زمان ذخیره‌سازی، روند اکسایش شدت می‌یابد. فدوی و کوهساری (۱۳۹۴) با بررسی روغن سویا پس از افزودن عصاره برگ سبزو سیاه‌شده پرتقال، نشان دادند که اسیدیته تمامی تیمارها در مدت نگهداری، کاهش می‌یابند و عصاره‌ها توانایی جلوگیری از افزایش اسیدیته را دارند.

آنتی‌اکسیدان‌های معدنی، با رادیکال‌های آزاد حاصل از اکسایش لیپیدها واکنش نشان داده و موجب قطع واکنش‌های زنجیره‌ای و افزایش زمان اکسایش در مقایسه با نمونه شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان گردید و از آنجایی که اسیدهای آلی از محصولات نهایی اتوکسیداسیون چربی‌های غیراشباع است (Batool et al., 2018) لذا شاخص اسیدی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد بدون آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم کاهش یافت و مشابه با نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول بود.



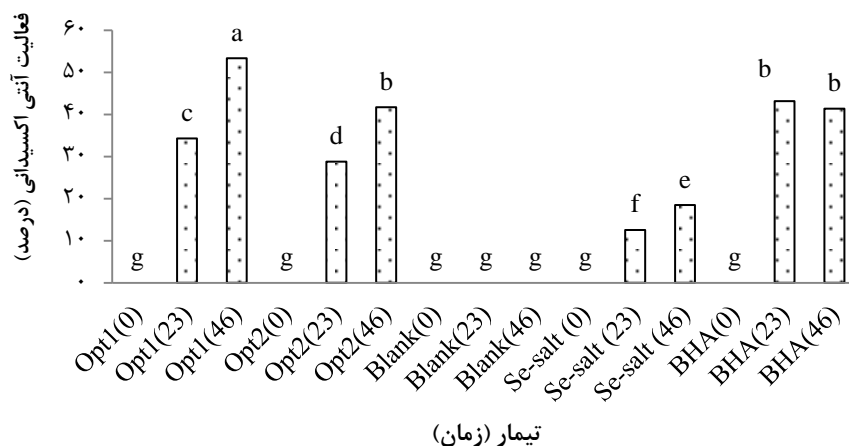
شکل ۶- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان عدد اسیدی روغن سویا (انکوبه شده در ۵۵ درجه سانتی گراد) تیمار Opt₁: (۲۷ درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی پی ام (حاوی ۳/۹۲ پی پی ام سلنیوم))، تیمار Opt₂: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی پی ام (حاوی ۳/۹۲ پی پی ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی پی ام (حاوی ۳/۹۲ پی پی ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی پی ام و Blank (Antioxidant free): روغن سویای فاقد آنتی اکسیدان

پس از گذشت ۱۰۰ روز نیز متوقف نمی شود.

در این راستا گزارش کردند که سیر به دلیل غنی بودن از سلنیوم و ترکیبات ارگانوسولفور، دارای فعالیت بازدارندگی رادیکال آزاد دی فنیل پیکریل هیدرازیل هیدرات (DPPH^۱) و همچنین بازدارنده اکسایش اسید لینولئیک می باشد.

فعالیت آنتی اکسیدانی

مطابق با نتایج شکل (۷)، کلیه نمونه ها در روز صفر، فاقد فعالیت آنتی اکسیدانی هستند. از روز ۲۳ تا ۴۶، یک روند افزایشی در فعالیت آنتی اکسیدانی کلیه نمونه ها به جز نمونه شاهد، مشاهده گردید. همان طور که عنوان کردند، مهاجرت آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی تولوئن به داخل روغن نارگیل در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد حتی



شکل ۷- اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری (روز) بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی روغن سویا (انکوبه شده در ۵۵ درجه سانتی گراد) تیمار Opt₁: (۲۷ درصد صمغ عربی، ۳ درصد صمغ فارسی، ۹۴ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی پی ام (حاوی ۳/۹۲ پی پی ام سلنیوم))، تیمار Opt₂: (۲۹ درصد صمغ عربی، ۱ درصد صمغ فارسی، ۸۹ درصد خلوص اتانول، با غلظت ۱۸۰/۶* پی پی ام (حاوی ۳/۹۲ پی پی ام سلنیوم))، تیمار Se-salt (Na₂SeO₃): نمک سلنیت سدیم با غلظت ۸/۶ پی پی ام (حاوی ۳/۹۲ پی پی ام سلنیوم)، تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت ۲۰۰ پی پی ام و Blank (Antioxidant free): روغن سویای فاقد آنتی اکسیدان

^۱ 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate

نتیجه گیری

استفاده از تکنیک ریزپوشانی با محافظت از آنتی اکسیدان، منجر به افزایش توان ضد اکسایشی سلنیت سدیم شد و همچنین با رهاش کنترل شده سلنیت سدیم از کپسول به درون روغن، باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن طی مدت زمان نگهداری شد. همچنین با حضور سلنیت سدیم میکروکپسوله شده و آنتی اکسیدان سنتزی (BHA) در روغن سویا، عدد پراکسید، عدد تیوباربیتوریک اسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس و عدد اسیدی کاهش و فعالیت آنتی اکسیدانی روغن سویا افزایش یافت.

آنتی اکسیدان سنتزی (BHA) نسبت به نمونه های بهینه، بهینه اول و دوم از نظر عدد پراکسید، اندیس توتوکس و عدد اسیدی و همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی در روز ۲۳ نگهداری روغن سویا در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد ارجحیت داشت و نمونه بهینه اول نسبت به

نمونه بهینه دوم و آنتی اکسیدان سنتزی (BHA) از حیث عدد پراکسید و اندیس توتوکس و همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی در روز ۴۶ نگهداری روغن در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد برتری داشت. میان نمونه های بهینه اول و دوم و آنتی اکسیدان سنتزی (BHA) از حیث عدد تیوباربیتوریک اسید و اندیس آنیزیدین در روزهای ۲۳ و ۴۶ و از نظر عدد اسیدی در روز ۴۶ تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در مجموع با توجه به اینکه سلنیت سدیم، کاربرد زیادی در درمان بسیاری از بیماری ها دارد و خاصیت آنتی اکسیدانی آن هم به اثبات رسیده است و همچنین با در نظر گرفتن اثرات نامطلوب آنتی اکسیدان های سنتزی روی سلامتی، می توان آنتی اکسیدان سلنیت سدیم میکروکپسوله شده را به عنوان جایگزین مناسب آنتی اکسیدان سنتزی (BHA) جهت حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری روغن سویا به کار برد.

منابع

- حسینی مظهری، س.، کهریتی، م.، غیاثی طرزی، ب.، گرامی، ع. و اسفندیاری، ج. (۱۳۹۱). بررسی میزان ضایعات و زائدات در واحدهای تصفیه روغن خام استان تهران. *علوم غذایی و تغذیه*، ۹(۲۳۵)، ۴۷-۵۶.
- دباغها، م. و وثوقی، م. (۱۳۹۰). استخراج آبی آنزیمی روغن از دانه روغنی سویا. *مجله علوم و صنایع غذایی*، ۸(۲۸ ویژه نامه)، ۷۳-۸۱.
- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۸۷). روغن ها و چربی های گیاهی و حیوانی- اندازه گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری- تعیین نقطه پایانی به طریق چشمی (استاندارد ملی ایران، شماره ۴۱۷۹، تجدیدنظر اول)، برگرفته از <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?id=44376>
- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۵). روغن ها و چربی های گیاهی و حیوانی- اندازه گیری پایداری اکسیداتیو (روش تسریع شده)- روش آزمون. (استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷۳۴، تجدیدنظر دوم)، برگرفته از <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?id=47422>
- فتح الهی، ا. و کرامت، ج. (۱۳۹۶- اردیبهشت). اثر آنتی اکسیدانی اسانس چغندر و هویج در پایداری روغن سویا. ارائه شده در اولین همایش ملی تکنولوژی های نوین در علوم و صنایع غذایی و گردشگری ایران، کرمان، ۲۲ اردیبهشت. https://www.civilica.com/Paper-FITI01-FITI01_037.html
- فدوی، ا. و کوهساری، ه. (۱۳۹۴). اثرات ضد اکسندگی و ضد میکروبی عصاره برگ درخت پرتقال (*Citrus sinensis*) کشت شده در ایران و بررسی پایداری اکسیداسیون روغن سویای غنی سازی شده با آن. *فناوری های نوین غذایی*، ۲(۳)، ۸۵-۹۶. doi:<https://doi.org/10.22104/jift.2015.128>
- قنبری، ر.، قوامی، م. و صفافر، ح. (۱۳۸۵). بررسی امکان تولید آنتی اکسیدان طبیعی از گیاه مریم گلی و تاثیر آن در افزایش زمان ماندگاری روغن دنبه، کانولا، پنبه دانه. *علوم غذایی و تغذیه*، ۳(۳)، ۱۸-۲۶.
- کبیری، س. و سیدالنگی، س.ز. (۱۳۹۴). مقایسه ویژگی های آنتی اکسیدانی عصاره های مختلف برگ گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) حاصل از دو روش استخراج غرقابی و استخراج به کمک امواج مایکروویو و تاثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا. *فناوری های نوین غذایی*، ۲(۴)، ۲۳-۳۸. doi:<https://doi.org/10.22104/jift.2015.201>
- محمدی، ر.، فاضل، م. و خسروی، ا. (۱۳۹۵). بررسی اثر آنتی اکسیدانی عصاره گیاه بیلهر (*Dorema aucheri*) بر پایداری روغن سویا. *علوم غذایی و تغذیه*، ۱۴(۱) (۵۳)، ۷۷-۸۸.

- بارنظری، آ.، نوروزی یگانه، م.، پورصالح کچومثقالی، ع.، زارعی، ر.، نجفی، م. و اسفندیاری، گ. (۱۳۹۵). بررسی ارتباط برخی از ترکیبات آنتی اکسیدانی در افراد با آب سیاه (گلوکوم). مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ۲۴(۶)، ۱۳۷-۱۲۷. doi:<https://doi.org/10.18869/acadpub.sjimu.24.6.127>
- Agarwal, A., & Prabakaran, S. A. (2005). Mechanism, measurement, and prevention of oxidative stress in male reproductive physiology. *NISCAIR-CSIR, India*, 43(11), 963-974.
- Ahmadi, F., Kadivar, M., & Shahedi, M. (2007). Antioxidant activity of *Kelussia odoratissima* Mozaff. in model and food systems. *Food chemistry*, 105(1), 57-64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.056>
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International (18th Ed.): 481. North Fredrick Avenue Gaithersburg, Maryland, USA.
- Armando, C., Maythe, S., & Beatriz, N. P. (1998). Antioxidant activity of grapefruit seed extract on vegetable oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(4), 463-467. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199808\)77:4<463::AID-JSFA62>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199808)77:4<463::AID-JSFA62>3.0.CO;2-1)
- Batool, M., Nadeem, M., Imran, M., Gulzar, N., Shahid, M. Q., Shahbaz, M., . . . Khan, I. T. (2018). Impact of vitamin E and selenium on antioxidant capacity and lipid oxidation of cheddar cheese in accelerated ripening. *Lipids in health and disease*, 17(1), 79. doi:<https://doi.org/10.1186/s12944-018-0735-3>
- Ben-Ali, M., Dhouib, K., Damak, M., & Allouche, N. (2014). Stabilization of sunflower oil during accelerated storage: use of basil extract as a potential alternative to synthetic antioxidants. *International journal of food properties*, 17(7), 1547-1559. doi:<https://doi.org/10.1080/10942912.2012.723659>
- Combs, G., & Combs, S. (1984). The nutritional biochemistry of selenium. *Annual review of nutrition*, 4(1), 257-280. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.nu.04.070184.001353>
- Dabbaghha, M., & Vossoughi, M. (2011). Effect of operational variables on aqueous enzymatic oil extraction from soybean. *Iranian Journal Of Food Science And Technology*, 8(28), 73-81 . (in Persian)
- Djujić, J. S., Jozanov-Stankov, O. N., Milovac, M., Janković, V., & Djermanović, V. (2000). Bioavailability and possible benefits of wheat intake naturally enriched with selenium and its products. *Biological Trace Element Research*, 77(3), 273-285. doi:<https://doi.org/10.1385/BTER:77:3:273>
- Dziezak, J. (1986). Preservatives: antioxidants. The ultimate answer to oxidation. *Food technology (Chicago)*, 40(9), 94-102 .
- Egan, H., Kirk, S., & Sawyer, R. (1997). *Pearson's composition and analysis of foods* London: (9th Ed .Longman Scientific and Technical Group Ltd. 609-634.
- Eskin, M., & Robinson, D. S. (2000). *Food shelf life stability: chemical, biochemical, and microbiological changes*: CRC Press.
- Fadavi, A., & Koohsari, H. (2015). Antioxidant and antimicrobial effects of orange (*Citrus sinensis*) leaves extract cultivated in Iran and stability investigation of soybean oil enriched with that. *Innovative Food Technologies*, 2(3), 85-96. doi:<https://doi.org/10.22104/jift.2015.128> (in Persian)
- Farag, R. S., Mahmoud, E. A., & Basuny, A .M. (2007). Use crude olive leaf juice as a natural antioxidant for the stability of sunflower oil during heating. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(1), 107-115. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01374.x>
- Fathollahi, A., & Keramat, j. (2017, May). *Anti-Oxidative Activities of Carrot and Beet Extract on Soybean Oil*. Paper presented at the 1st National Conference on New Technologies in Food Science and Tourism, Sari, 11 May. https://www.civilica.com/Paper-FIT101-FIT101_037.html (in Persian)
- Firestone, D. (1994). AOCS, Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th Ed.: AOCS Press, Champaign.
- Fraga, C. G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4), 235-244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.013>
- Ghanbari, R., Ghavami, M., & Safar, H. (2006). Evaluation of the possibility of natural antioxidant production from *salvia officinalis* increase shelf life of oily, canola, cottonseed oil. *Journal of Food Science and Technology*, 3, 18-26 . (in Persian)

- Gupta, C., Chawla, P., Arora, S., Tomar, S. K., & Singh, A. K. (2015). Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method – Milk fortification. *Food Hydrocolloids*, 43, 622-628. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.021>
- Haumann, B. (1994). Antioxidants: health implications. *Inform*, 5, 242-252 .
- Hoseini Mazhari, S. Z., Kebriti, M., Gerami, A., Ghiassi, B., & Esfandyari, C. (2011). Survey on the rate of losses and wastes in crude oil treatment units in Tehran province. *Food Technology & Nutrition*, 9(3-35), 47-56 . (in Persian)
- Iranian National Standardization Organization. (2017). Animal and vegetable fat and oils-Determination of oxidative stability (accelerated oxidation)-test method. (ISIRI Standard No. 3734, 2nd. Revision). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?id=47422> (in Persian)
- Iranian National Standardization Organization. (2008). Animal and vegetable fat and oils-Determination of peroxide value-Iodometric (visual) endpoint determination. (ISIRI Standard No. 4179, 1st. Revision). Retrieved from <http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?id=44376> (in Persian)
- Kabiri, S., & Sayyed-Alangi, S. Z. (2015). Comparison of Antioxidant effect of different extracts from Melissa officinalis leaves with immersion and microwave-assisted extractions and its oxidative stability on soybean oil. *Innovative Food Technologies*, 2(4), 23-38. doi:<https://doi.org/10.22104/jift.2015.201> (in Persian)
- Labuza, T. P., & Schmidl, M. K. (1985). Accelerated shelf-life testing of foods. *Food technology (USA)*, 39(9), 57-64 .
- Martínez, M. L., Penci, M. C., Ixtaina, V., Ribotta, P. D., & Maestri, D. (2013). Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of walnut oil under different storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 44-50. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.021>
- Meltzer, H. M., Bibow, K., Paulsen, I. T., Mundal, H. H., Norheim, G., & Holm, H. (1993). Different bioavailability in humans of wheat and fish selenium as measured by blood platelet response to increased dietary Se. *Biological Trace Element Research*, 36(3), 229-241. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02783957>
- Mohammadi, R., Fazel, M., & Khosravi, E. (2017). Evaluation of the antioxidant activity of dorema aucheri extract in soybean oil. *Journal Of Food Technology And Nutrition*, 14(1-53), 77-88 . (in Persian)
- Ortega-Ramirez, L. A., Rodriguez-Garcia, I., Leyva, J. M., Cruz-Valenzuela, M. R., Silva-Espinoza, B. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., . . . Ayala-Zavala, J. F. (2014). Potential of medicinal plants as antimicrobial and antioxidant agents in food industry: a hypothesis. *Journal of food science*, 79(2), R129-R137. doi:<https://doi.org/10.1111/1750-3841.12341>
- Rotruck, J. T., Pope, A. L., Ganther, H. E., Swanson, A. B., Hafeman, D. G., & Hoekstra, W. G. (1973). Selenium: Biochemical Role as a Component of Glutathione Peroxidase. *Science*, 179(4073), 588. doi:<https://doi.org/10.1126/science.179.4073.588>
- Sariri, R. (2012). 10. Antioxidant activity exhibited by medicinal plants, vegetables and fruits from North of Iran. *Research Signpost, Fort PO Trivandrum, Kerala, India*, 205-236 .
- Stewart, W., Bobe, G., Vorachek, W., Pirelli, G., Mosher, W., Nichols, T., . . . Hall, J. (2012). Organic and inorganic selenium: II. Transfer efficiency from ewes to lambs1. *Journal of Animal Science*, 90(2), 577-584. doi:<https://doi.org/10.2527/jas.2011-4076>
- Sun-Waterhouse, D., Penin-Peyta, L., Wadhwa, S. S., & Waterhouse, G. I. N. (2012). Storage Stability of Phenolic-Fortified Avocado Oil Encapsulated Using Different Polymer Formulations and Co-extrusion Technology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3090-3102. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-011-0591-x>
- Tompkins, C., & Perkins, E. G. (1999). The evaluation of frying oils with the p-Anisidine value. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(8), 945-947. doi:<https://doi.org/10.1007/s11746-999-0111-6>
- Wanasundara, P. K. J. P. D., & Shahidi, F. (2005). Antioxidants: Science, Technology, and Applications. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. doi:<https://doi.org/10.1002/047167849X.bio002>
- Wanasundara, U. N., & Shahidi, F. (1996). Stabilization of seal blubber and menhaden oils with green tea catechins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(9), 1183-1190. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02523382>
- White, P. J., Bowen, H. C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W. P., Spiby, R. E., . . . Broadley, M. R. (2004). Interactions between selenium and sulphur nutrition in Arabidopsis thaliana. *Journal of Experimental Botany*, 55(404), 1927-1937. doi:<https://doi.org/10.1093/jxb/erh192>
- Yarnazai, A., Nourozi yeganeh, M., Poursaleh kachoumesghali, A., Zarei, R., Najafi, M., & Esfandiari, G. (2017). The Study of Relationships between Some Antioxidants in Patients with Glaucoma. *Ilam-University-of-Medical-Sciences*, 24(6), 127-137. doi:<https://doi.org/10.18869/acadpub.sjimu.24.6.127> (in Persian)

Comparison of the Antioxidant Effect of Microencapsulated and Un-microencapsulated Sodium Selenite with Butyl Hydroxyanisole in Soybean Oil

Sepideh Moshtaghi¹, Mohammad Goli^{2*}

1- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

*Corresponding author (mgolifood@yahoo.com)

Abstract

Microencapsulation of sodium selenite (15000 ppm) was carried out, comprising the following combination: Arabic gum (25, 26, 27, 28 and 29%) and a proportionate amount of Farsi gum (1, 2, 3, 4 and 5%) and using the solvent evaporation method, where the Ethanol purity percentages (80, 85, 90, 95 and 100%) and the ratio of solvent to the mixture [gum+sodium selenite] was 10:1. Subsequently, utilizing the response surface methodology (RSM) software, the optimization was carried out based on the highest efficiency of encapsulation and the smallest size of particles. Two formulas of the optimization were chosen for this study comprised the following: the optimization formula 1 (efficiency 89.5%, particle-size 44.6 μ m, Arabic gum 27%, Farsi gum 3%, and the percentage of ethanol purity 94%) and the optimization formula 2 (efficiency 86%, particle-size 48.5 μ m, Arabic gum 29%, Farsi gum 1%, and the percentage of ethanol purity 89%). Ultimately, the two selected optimal (180.6 ppm), the synthetic antioxidants butylated hydroxyanisole (BHA) (200 ppm), and the un-microencapsulated sodium-selenite(8.6 ppm) were added to antioxidant-free soybean oil and then were placed at the 55 °C for (0, 23 and 46 days) equal to 20 °C (0, 180 and 360 days). The oxidation indices were compared with soybean oil that did not contain anti-oxidant. A direct relation was detected between the concentration of Arabic gum and alcohol purity percentage with the efficiency of the encapsulation (94.63%). A reverse relation was detected between the concentration of Arabic gum and alcohol purity percentage with the particle-size (37.5 μ m). The effective and propositional treatments are presented including, Opt1, Opt2, BHA, un-microencapsulated sodium-selenite and blank (antioxidant-free), respectively.

Keywords: Antioxidant activity, Arabic-Farsi gum, Microencapsulation, Sodium-selenite, Soybean oil