

علمی پژوهشی

## ارزیابی خواص آنتی اکسیدانی سلنیوم ریزپوشانی شده در روغن سویای تصفیه شده عاری از آنتی اکسیدان

ساناز عباسی<sup>۱</sup>، محمد گلی<sup>۲،۳\*</sup>

۱- دانش آموخته 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

۳- دانشیار مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۰)

### چکیده

تحقیقات بسیاری پیرامون جایگزین کردن آنتی اکسیدانهای سنتزی با آثار تغذیه‌ای سوء صورت گرفته است. این تحقیق به بررسی اثر آنتی اکسیدانی سلنیت سدیم ریزپوشانی شده در به تأخیراندازی اکسیداسیون روغن سویا پرداخت. ریزپوشانی ۱۵۰۰۰ پی‌پی‌ام سلنیت سدیم با صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹٪، صمغ فارسی (متناظر با صمغ عربی مصرفی بترتیب شامل ۵، ۴، ۳، ۲، ۱٪) و از نسبت حلال اتانول ۹۶٪ به مخلوط صمغ و سلنیت سدیم (۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲) استفاده شد. فرمول بهینه اول (صمغ عربی ۲۹٪، صمغ فارسی ۱٪ و نسبت اتانول به مخلوط ۱۲ به ۱ با کارایی ریزپوشانی ۹۴٪، اندازه ذرات ۶۴/۹ میکرومتر) و فرمول بهینه دوم (صمغ عربی ۲۷٪، صمغ فارسی ۳٪ و نسبت اتانول به مخلوط ۱۰ به ۱ با کارایی ریزپوشانی ۸۴/۴٪، اندازه ذرات ۷۴ میکرومتر) انتخاب شد. نمونه‌های بهینه (۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام)، بوتیل هیدروکسی آنیزول (۲۰۰ پی‌پی‌ام)، سلنیت سدیم فاقد کپسول (۸/۶ پی‌پی‌ام معادل سلنیوم کپسول‌های بهینه) به روغن سویای فاقد آنتی اکسیدان اضافه شد و دما و زمان نگهداری روغن سویا در انکوباتور با کمک برنامه شتابدهنده شلف لایف (۵۵ درجه سانتی گراد و ۰، ۲۳، ۴۴ روز) معادل با انبارداری (۲۰ درجه سانتی گراد و ۰، ۱۸۰، ۳۶۰ روز) تنظیم گردید و شاخص‌های اکسیداسیون مقایسه شد. با افزایش درصد صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط، کارایی افزایش و سایز ذرات کاهش یافت. سلنیوم کپسوله شده همانند بوتیل هیدروکسی آنیزول منجر به افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و کاهش شاخص‌های اکسیداسیون روغن سویا گردید. بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی حداکثری در بازه یکساله نگهداری به شرح زیر بود. بهینه اول (رهايش تدريجي) < بهينه دوم = بوتیل هیدروکسی آنیزول < سلنیت سدیم کپسول نشده (مصرف آنی) < شاهد (فاقد آنتی اکسیدان).

**کلید واژگان:** سلنیت سدیم، ریزپوشانی، روش تبخیر حلال، روش سطح پاسخ، شاخص‌های اکسایش

\* مسئول مکاتبات: mgolifood@yahoo.com

## ۱- مقدمه

روغن‌ها و چربی‌ها ترکیبات غذایی با ارزشی هستند که علاوه بر تأمین انرژی نقش مهمی در سلامت و ادامه‌ی حیات انسان داشته و در گروه مواد غذایی ضروری قرار می‌گیرند [۱]. روغن‌ها و چربی‌ها حاوی ویتامین‌های محلول در چربی (A, D, E, K) و سرشار از اسیدهای چرب ضروری می‌باشند [۲]. روغن سویا یکی از منابع سرشار از اسیدهای چرب امگا ۳ به شمار می‌آید [۳] اما وجود مقدار نسبتاً زیاد اسید لینولنیک با سه پیوند دوگانه ماندگاری آن را در برابر اکسیداسیون کاهش داده و باعث تغییر طعم و ایجاد بوی نامطلوب در محصول نهایی می‌گردد که این امر فساد تدریجی روغن را به همراه داشته و زمان ماندگاری آن را به شدت کاهش می‌دهد [۴]. اکسیداسیون لیپیدها در حین نگهداری و فرآوری غذا باعث ازدست رفتن کیفیت تغذیه‌ای و هضمی غذا می‌شود و همچنین محصولاتی مانند رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند که منجر به واکنش‌های نامطلوب شیمیایی و احتمالاً بیولوژیک می‌شوند که نقش آن‌ها در سرطان، پیری زودرس و تصلب شرایین مورد توجه است. در نتیجه استفاده از آنتی اکسیدان‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۱]. ضد اکساینده‌های شیمیایی که بیشترین استفاده را در صنعت غذا دارند شامل ترشیری بوتیل هیدروکینون<sup>۱</sup>، بوتیل هیدروکسی آنیزول<sup>۲</sup>، بوتیل هیدروکسی تولوئن<sup>۳</sup> و پروپیل گالات هستند که سرطان‌زایی و تأثیر منفی این ترکیب‌ها بر سلامت انسان در تحقیقات متعدد نشان داده شده است [۵ و ۶]. از این نظر در دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی صورت گرفته تا از آنتی اکسیدان‌های طبیعی برای جلوگیری از اکسایش روغن استفاده شود [۷ و ۸]. سلنیوم از دسته‌ی آنتی اکسیدان‌های طبیعی است [۹]. سلنیوم عمدتاً در گوشت، غذاهای دریایی، غلات و آجیل یافت می‌شود. بسیاری از سبزیجات حاوی مقادیر کمی از سلنیوم هستند [۱۰]. سلنیوم مصرف شده از طریق غذاها و مکمل‌ها به شکل‌های آلی و معدنی شامل سلنومیتونین (منبع گیاهی، حیوانی و مکمل غذایی)، سلنوسیتستین (اساساً منبع حیوانی)، سلنیت و سلنید (مکمل غذایی) وجود دارد. دسترسی زیستی و توزیع سلنیوم در بافت‌ها

به شکل آلی و معدنی بودن سلنیوم مصرف شده، بستگی دارد [۱۱]. این عنصر جزء اصلی سلنواگزیم‌ها است، در مرکز همه این پروتئین‌ها، اسید آمینه سلنوسیتستین وجود دارد که به عنوان عامل اکسایش و کاهش عمل می‌کند [۱۰]. سلنیوم به عنوان یک جزء مهم پراکسیدازگلوتاتیون<sup>۴</sup> شناخته شده که در همه بافت‌های زنده نقش کلیدی دارد. این آنزیم، پراکسیدهای سلول را کاهش می‌دهد [۱۲ و ۱۳] و به این ترتیب با رادیکال‌های آزاد که باعث بروز بیماری‌هایی مانند سرطان و بیماری‌های قلبی می‌شوند مقابله می‌کند [۱۴]. ریزپوشانی<sup>۵</sup> تکنیک بسته‌بندی اجزاء و ترکیبات حساس در داخل یک پوشش یا دیواره است تا از تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی محیطی مصون بمانند. با استفاده از این روش ضمن جلوگیری از هدر رفتن ترکیبات فرار و حساس به شرایط محیطی، می‌توان آن‌ها را تحت شرایط کنترل شده‌ای رها کرد. لذا ترکیبات فعال، حساس یا فرار، می‌توانند با استفاده از این روش به شکل پایداری تبدیل شوند [۱۵]. روش تبخیر حلال<sup>۶</sup> یا هیدراسیون سرد می‌تواند جهت ریزپوشانی مواد هسته‌ای محلول در آب استفاده شود. این روش را به عنوان یک روش جایگزین برای خشک کردن پاششی جهت ریزپوشانی مواد بسیار فرار و الثورزین<sup>۷</sup> و پاپریکا<sup>۸</sup> و استرهای معطر گزارش کردند. هسته با استفاده از روش تبخیر حلال مانند الکل‌ها به عنوان محیط دهیراته‌سازی ریزپوشانی می‌شود. به محض اینکه مواد پوششی با الکل تماس پیدا می‌کنند، دهیراته شده و باعث ایجاد میکروکپسول‌ها می‌شود، میکروکپسول‌ها از الکل جدا شده و باقی مانده الکل در دماهای پایین (۴ تا ۷ درجه سانتی‌گراد) تبخیر می‌شود [۱۶]. گوپتا و همکاران (۲۰۱۵)، میکروکپسول‌های آهن را با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال تهیه کردند. پارامترهای فرآیند ریزپوشانی برای دستیابی به بیشترین کارایی ریزپوشانی و پایداری میکروکپسول‌ها، بهینه‌سازی شدند و اثر غلظت‌های مختلف الکل، نسبت‌های مختلف الکل به ترکیب، ترکیب مختلف مواد دیواره و مقادیر مختلف نمک آهن را بر روی کارایی

4. Peroxid Glutathione  
5. Microencapsulation  
6. Solvent evaporation  
7. Oleoresin  
8. Paprica

1. tert-Butylhydroquinone  
2. Butylated hydroxyanisole  
3. Butylated hydroxytoluene

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

اسیداستیک گلایسال، کلروفرم، الکل اتیلیک، پتاسیم پدید، فنل فتالین، پارآنیزیدین، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید، تیوسولفات سدیم، هگزان، نشاسته و صمغ عربی از شرکت مرک (آلمان)، بوتیل هیدروکسی آنیزول از شرکت تیتراچم (ایران)، اسیدتیوباریتوریک اسید از شرکت سروا (آمریکا)، سلنیت سدیم و توئین ۸۰ از شرکت سیگما (آمریکا) و صمغ فارسی از ایران تهیه گردید. روغن سویای تصفیه شده فاقد آنتی اکسیدان نیز از کارخانه طارم زنجان خریداری شد.

### ۲-۲- روش کار

ابتدا جهت فرآیند ریزپوشانی به روش تبخیر حلال، ۳۰۰ میلی- گرم سلنیت سدیم، توسط ۲۰ سی سی آب مقطر و ترکیب ۶ گرم صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹٪) و صمغ فارسی متناظر (۵، ۴، ۳، ۲، ۱٪)، (مجموع درصد صمغ عربی و فارسی در هر تیمار ۳۰٪ باشد) و حلال اتانول ۹۶٪ در نسبت های (۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲) به مخلوط صمغ و سلنیت سدیم، به روش تبخیر حلال ریزپوشانی شد، میکروکپسول های سلنیت سدیم از طریق فیلتراسیون توسط کاغذ صافی از اتانول جدا شدند. مواد باقی مانده تحت شرایط یخچالی (دمای ۴ تا ۷ درجه سانتی گراد) به مدت ۱۲ تا ۱۴ ساعت خشک شدند. محتوای سلنیومی که در ابتدا برای تهیه میکروکپسول های سلنیوم اضافه شد، به عنوان محتوای کل سلنیوم در نظر گرفته و سلنیوم کپسول شده در مواد باقی مانده، توسط اسپکتروفتومتر جذبی در ۲۴۸/۳ نانومتر از طریق روش AOAC (۲۰۰۵) تخمین زده شد [۲۰]. کارایی از طریق رابطه ی زیر اندازه گیری شد [۱۷].

رابطه ی ۱

$$100 \times (\text{سلنیوم کل} / \text{سلنیوم باندشده}) = \text{کارایی کپسول}$$

برای آنالیز اندازه ذرات میکروکپسول ها روی اسلایدهای شیشه ای قرار داده شدند و یک یا دو قطره آب مقطر برای پخش مناسب بر روی آن ها چکانده شد. این میکروکپسول ها با میکروسکوپ نوری وارونه با بزرگ نمایی ۴۰۰ برابر مشاهده و اندازه میکروکپسولها با استفاده از نرم افزار Image J تخمین

ریزپوشانی آهن ارزیابی کردند. میزان تیوباریتوریک اسید شیر غنی شده با میکروکپسول های آهن به شدت پایین تر از شیر غنی شده با نمک آهن در روز پنجم انبارداری بود. شیر غنی شده با میکروکپسول های آهن دارای زیست دسترسی آهن بالاتری در شرایط آزمایشگاهی در مقایسه با شاهد و شیر غنی شده با نمک آهن بود. نتایج این مطالعه پتانسیل کاربرد صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده را به عنوان یک ماده دیواره عالی و مقرون به صرفه برای ریزپوشانی آهن نشان داد [۱۷]. مک نیم و همکاران (۲۰۰۱)، تأثیر جایگزینی بخشی از صمغ عربی با کربوهیدرات ها را بر روی خواص ریزپوشانی صمغ عربی مورد بررسی قرار دادند. بررسی این محققان نشان داد صمغ عربی به تنهایی دارای راندمان ریزپوشانی ۷۴ درصد می باشد، در حالی که ترکیب آن با نشاسته ذرت باعث کاهش راندمان ریزپوشانی تا کمتر از ۳۰ درصد گردید. اما ترکیب صمغ عربی با گلوکز به نسبت ۱ به ۱ باعث افزایش راندمان ریزپوشانی تا ۹۴ درصد شد. جایگزینی صمغ عربی با مالتودکسترین حاوی دکستروزهای مختلف، تأثیر چندانی در راندمان ریزپوشانی نداشت. بیشترین راندمان ریزپوشانی نیز در دیواره حاصل از مخلوط گلوکز با صمغ عربی مشاهده شد. علاوه بر این، افزایش غلظت مواد جامد باعث افزایش درصد ریزپوشانی و اندازه ذرات میکروکپسول ها گردید [۱۸]. ترینداد و همکاران (۲۰۰۰)، در پژوهش خود اسید آسکوربیک را با صمغ عربی و نشاسته برنج و با روش خشک کن پاششی ریزپوشانی کردند و مدت زمان ماندگاری آن ها را در دمای اتاق (رطوبت نسبی حدود ۶۰-۶۵ درصد) و هم چنین ۴۵ درجه ی سانتی گراد (رطوبت نسبی ۶۰-۶۵ و ۹۰/۷ درصد) مورد ارزیابی قرار داده و مشاهده کردند که در شرایط محیطی، پایداری اسید آسکوربیک ریزپوشانی شده با صمغ عربی بیش تر از اسید آسکوربیک ریزپوشانی شده با نشاسته برنج بود [۱۹]. در این تحقیق از سلنیت سدیم به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی استفاده شد و برای محافظت بالا و افزایش بازده نگهداری در طی زمان، به روش تبخیر حلال ریزپوشانی شد سپس به روغن سویا اضافه گردید و اثر آنتی اکسیدانی آن در مقایسه با سلنیت سدیم ریزپوشانی نشده و آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول مورد بررسی قرار گرفت.

به ترتیب (۵، ۴، ۳، ۲، ۱ درصد) و فاکتور B نسبت اتانول به مخلوط [صمغ + سلنیت سدیم] (۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲)، در نظر گرفته شد. 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 ریزپوشانی انتخاب شد و به همراه نمونه فاقد میکروکپسول، نمونه‌ی فاقد آنتی اکسیدان و نمونه‌ی حاوی آنتی اکسیدان BHA، به روغن سویا اضافه گردید و در بازه‌ی زمانی ۴۶ روزه در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد با یکدیگر از نظر خواص آنتی اکسیدانی مقایسه شدند. دما و زمان نگهداری روغن سویا در انکوباتور با کمک برنامه‌ی Shelf Life accelerator (۵۵ درجه سانتی گراد و ۰، ۲۳، ۴۴ روز) معادل انبارداری ۲۰ درجه سانتی گراد و ۰، ۱۸۰، ۳۶۰ روز) معادل سازی شد. طبق این روش تسریع شده، در عمل ماده غذایی تحت تأثیر درجه حرارت بالا قرار گرفت و نتایج از طریق معادله آرنیوس و Q10 معادل ۲ به شرایط معمولی تعمیم داده شد [۲۸ و ۲۹]. اختلاف بین مقادیر در نمونه‌ها با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون LSD در سطح احتمال ۰.۰۵ ( $P<0.05$ ) انجام گردید. برای تحلیل نتایج از روش آماری تحلیل واریانس با استفاده از نرم افزار SPSS استفاده گردید و برای رسم نمودارها از اکسل استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مقادیر پاسخ های آزمون تعیین کارایی و اندازه کپسول‌ها

رابطه‌ی تجربی، بین متغیرهای آزمایش و درصد کارایی کپسولاسیون به صورت کدگذاری شده به واسطه استفاده از روش سطح پاسخ به شرح ذیل بدست آمد.

رابطه ی ۲

$$(Encapsulation\ Efficiency\ (\%))^{-0.4} = 0.36902 - 3.48 \times 10^{-3} (A) - 0.019625 (B) + 8.96 \times 10^{-4} (B)^2$$

Mix solution = 20 mL final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 PPM);  $R^2: 0.89$ , Adj- $R^2: 0.87$ , Pred- $R^2: 0.85$ , Adeq precision: 21.68, C.V.: 2.77%

زده شد [۱۷]. شرایط بهینه برای میکروکپسوله کردن سلنیت سدیم با استفاده از پروفایل صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط صمغ و سلنیت سدیم، با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی انجام شد، سپس با کمک روش سطح پاسخ (RSM1)، بهینه‌سازی براساس بالاترین راندمان کپسولاسیون و پایین‌ترین اندازه‌ی ذرات، صورت گرفت. دو فرمول مطلوبتر که بالاترین درصد مطلوبیت را داشتند انتخاب شد. میکروکپسول‌های سلنیت سدیم با دو فرمول بهینه، شامل بهینه‌ی اول (غلظت صمغ عربی ۲۹٪، صمغ فارسی ۱٪، نسبت اتانول به مخلوط [صمغ + سلنیت سدیم] ۱۲ به ۱) و بهینه‌ی دوم (غلظت صمغ عربی ۲۷٪، صمغ فارسی ۳٪، نسبت اتانول به مخلوط [صمغ + سلنیت سدیم] ۱۰ به ۱)، با در نظر گرفتن حدمجاز روزانه مصرف سلنیوم که ۵۵-۴۰۰ میکروگرم است [۲۱] به مقدار ۱۸۰/۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۳/۹۲ پی‌پی‌ام سلنیوم)، آنتی اکسیدان سنتزی BHA (۲۰۰ پی‌پی‌ام) و سلنیت سدیم فاقد کپسول (۸/۶ پی‌پی‌ام)، به روغن سویای فاقد آنتی اکسیدان اضافه شدند. و در بازه زمانی ۴۶ روزه، در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد نگهداری و شاخص‌های اکسیداسیون آن‌ها، شامل اندیس پراکسید، تیوباربتوریک اسید، آنیزیدین، توتوکس، اسیدیت و فعالیت آنتی-اکسیدانی با روغن سویای فاقد آنتی اکسیدان مقایسه شد. به منظور جلوگیری از ته نشین شدن میکروکپسول‌ها در روغن، از توتوین ۸۰ استفاده شد.

#### ۳-۲- آزمون‌های شیمیایی روغن

عدد پراکسید طبق روش فرستون (۱۹۹۴) [۲۲] آزمون تیوباربتوریک اسید با روش ایگان و همکاران (۱۹۹۷) [۲۳] اندیس آنیزیدین مطابق با روش تامپکینز و پرکینز (۱۹۹۹) [۲۴] اندیس توتوکس مطابق با رابطه‌ی ارائه شده‌ی واناساندرا و شهیدی (۲۰۵۵) [۲۵] اسیدیت طبق استاندارد ملی ایران، شماره ۴۱۷۸ [۲۶] و فعالیت آنتی اکسیدانی طبق رابطه‌ی ارائه شده توسط قنبری و همکاران (۲۰۰۶) [۲۷] اندازه‌گیری شد.

#### ۳-۲- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای ریزپوشانی کردن، ۲ فاکتور A شامل میزان درصد صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹ درصد) و صمغ فارسی متناظر با آن

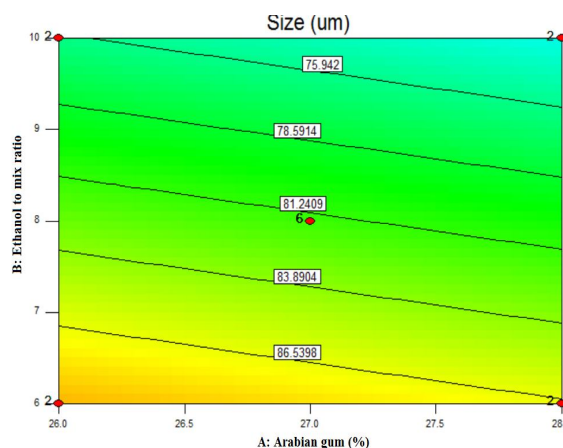
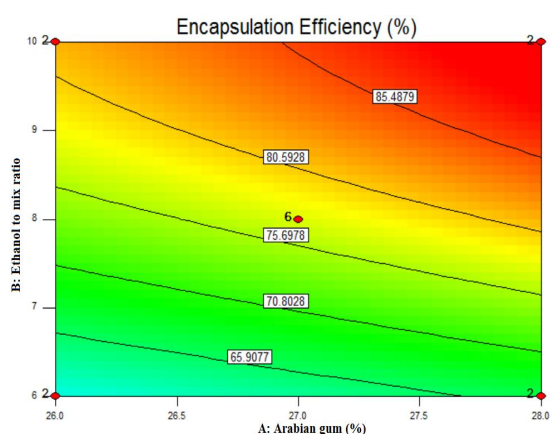
رابطه ۳

$$(\text{Particle-size (um)})^{1.76} = 5404.83853 - 65.69995(A) - 164.87565(B)$$

Mix solution = 20 mL final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 PPM);  
 $R^2$ : 0.95, Adj- $R^2$ : 0.94, Pred- $R^2$ : 0.93, Adeq precision: 40.98, C.V.: 3.77%

ضریب خطی A (درصد صمغ عربی) و B (نسبت اتانول به مخلوط) تأثیر معنی داری بر اندازه کپسولاسیون داشتند و با توجه به ضرایب آنها در رابطهی ۳، ضریب B تأثیر بیشتری داشت. بررسی ضریب تبیین مدل‌ها نشان‌دهنده این بود که این مقادیر برای رابطهی درجه ۱ به میزان ۰/۹۵ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بوده، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری داشته و برای پیشگویی پیشنهاد گردید.

ضریب خطی A (درصد صمغ عربی) و B (نسبت اتانول به مخلوط) و ضریب مربوط به اثر درجه‌ی دوم  $B^2$  تأثیر معنی‌داری بر راندمان ریزپوشانی داشتند و با توجه به ضرایب آنها در رابطهی ۲، ضریب B تأثیر بیشتری نسبت به بقیه داشت. بررسی ضریب تبیین مدل‌ها نشان داد که این مقادیر برای رابطهی درجه دوم به میزان ۰/۸۹ بود که نسبت به سایر مدل‌ها دارای مقادیر بالاتری بوده و بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری داشته و برای پیشگویی پیشنهاد گردید. همچنین رابطهی تجربی بین متغیرهای آزمایش و اندازه‌ی کپسولاسیون به صورت کدگذاری شده، به واسطه‌ی استفاده از روش سطح پاسخ به شرح زیر بدست آمد (رابطه ی ۳).



**Fig 1** Investigation of the interaction of the percentage of gum Arabian and the ratio of ethanol to the mix solution on the particle size and microencapsulation efficiency of selenium  
 [Mix solution =20 mL final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum and 300 mg Na-selenite]

۱ و ۲ نسبت اتانول به مخلوط در مقایسه با غلظت صمغ عربی، تأثیر بیشتری بر کارایی و ساینز ذرات داشت. یافته‌های بدست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط، کارایی ریزپوشانی افزایش و اندازه ذرات کاهش یافت. زیلبرویم و همکاران (۱۹۸۶)، گزارش کردند که نسبت الکل به امولسیون پایین‌تر از ۱۰ به ۱ باعث کاهش کارایی نگهداری میکروکپسول‌ها می‌شود. با

باتوجه به شکل ۱، رابطهی مستقیم میان غلظت صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط با راندمان کپسولاسیون بود، به طوری که با افزایش غلظت صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط، کارایی ریزپوشانی افزایش یافت. در حالی که رابطهی میان غلظت صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط با اندازه ذرات معکوس بود. یعنی با افزایش غلظت صمغ عربی و نسبت اتانول به مخلوط، اندازه ذرات کاهش یافت. همچنین با توجه به ضرایب در روابط

صمغ و سلنیت سدیم ۱۰ با راندمان ۸۴/۴ درصد، اندازه ذرات ۷۴ میکرومتر) انتخاب گردید.

### ۳-۳- اثر متقابل تیمار در زمان بر ویژگی‌های

#### کیفی روغن سویا

##### ۳-۳-۱- عدد پراکسید

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بطور کلی، پایین‌ترین میزان پراکسید در همه تیمارها در روز صفر مشاهده شد و با توجه به عدم وجود آنتی اکسیدان در نمونه شاهد، بالاترین میزان پراکسید در نمونه شاهد در روز بیست و سوم گزارش گردید. میزان پراکسید از روز صفر تا روز بیست و سوم دوره نگهداری، یک روند افزایشی را نشان داده که این افزایش در مقدار پراکسید را می‌توان به شروع فرایند اکسیداسیون اولیه و تشکیل هیدروپراکسیدها نسبت داد و پس از آن تا روز چهل و ششم روند کاهشی داشت. علت کاهش عدد پراکسید در انتهای دوره نگهداری ممکن است بدلیل تجزیه هیدروپراکسیدها و واکنش‌های ثانویه اکسیداسیون و تولید کربونیل‌ها و ترکیبات فرار باشد [۳۴]. در میان تیمارها نیز نمونه روغن حاوی سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۱) در روز چهل و ششم کمترین عدد پراکسید را به نمایش گذاشت. در واقع آنتی اکسیدان‌ها قادرند با رادیکال‌های آزاد حاصل از اکسایش لیپیدها واکنش داده و موجب قطع واکنش‌های زنجیره‌ای و افزایش زمان اکسایش گردند [۳۵]. نمونه‌های روغن دارای سلنیت سدیم کپسوله شده در مقایسه با نمونه روغن حاوی سلنیت سدیم کپسوله نشده، عدد پراکسید پایین‌تری را نشان داد، که علت آن را می‌توان به حفظ پایداری آنتی اکسیدان درون کپسول نسبت داد. چرا که کپسول موجب آزادسازی کنترل شده‌ی آنتی اکسیدان در طی دوره نگهداری شده است، در حالی که آنتی اکسیدان در حالت آزاد بیشتر در معرض عوامل اکسید کننده قرار گرفته و خاصیت آنتی اکسیدانی خود را زودتر از دست داده است.

چانگ و همکاران (۲۰۱۳)، به این نتیجه دست یافتند که عصاره رازیانه با خاصیت آنتی اکسیدانی خود موجب تأخیر در تشکیل هیدروپراکسیدها و کاهش عدد پراکسید می‌گردد [۳۶]. بن علی و همکاران (۲۰۱۳)، اذعان کردند که عصاره متانولی ریحان اثر آنتی اکسیدانی خوبی بر پایداری روغن آفتاب گردان در طول ۲۴

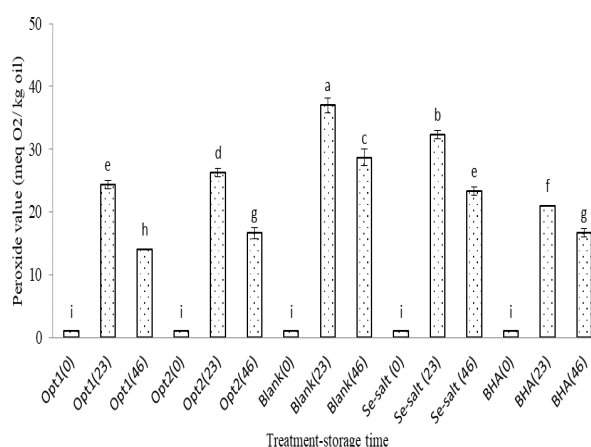
این حال، نسبت‌های بالاتر الکل باعث کاهش محتوای آب بدون اثرگذاری بر کارایی نگه‌داری می‌شود زیرا نسبت بالاتر الکل به امولسیون باعث سریع خشک شدن میکروکپسول‌ها و تشکیل یک لایه محافظتی خشک می‌شود که از شسته شدن بیش از حد مواد مرکزی جلوگیری می‌کند [۳۰]. پاکزاد و همکاران (۲۰۱۳)، در طی پژوهشی نشان دادند که افزایش غلظت صمغ عربی و ژلاتین به کار رفته در دیواره میکروکپسول حاوی روغن نعنا، موجب کاهش اندازه ذرات کپسول و نیز افزایش کارایی آن شده است [۳۱]. فرناندز و همکاران (۲۰۱۴)، گزارش کردند که در میان مطالعات انجام شده بر روی تأثیر انواع مواد به کار رفته در دیواره پوشش ریزپوشانی، صمغ عربی بدلیل داشتن خاصیت امولسیفایری یکی از رایج‌ترین و مناسب‌ترین مواد جهت بهبود و افزایش کارایی ریزپوشانی می‌باشد [۳۲]. گوپتا و همکاران (۲۰۱۵)، گزارش کردند که در ریزپوشانی آهن با مخلوطی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح یافته، افزایش غلظت صمغ عربی از ۱ به ۴ گرم و نیز افزایش نسبت اتانول به مخلوط از ۶ به ۱۰، موجب افزایش کارایی ریزپوشانی و کاهش سایز میکروکپسول‌ها گردیده است [۱۷]. پریمی و همکاران (۲۰۱۷)، در طی تحقیقی نشان دادند که استفاده از مخلوط صمغ عربی- مالتودکسترین در مقایسه با ترکیبی از مالتودکسترین- کنسانتره پروتئین آب پنیر، در افزایش راندمان ریزپوشانی نقش به سزایی دارد، بطوریکه با افزایش نسبت صمغ عربی در مخلوط صمغ عربی- مالتودکسترین، راندمان بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد و علت آن خصوصیات فیزیکی شیمیایی صمغ عربی می‌باشد [۳۳].

##### ۳-۲- بهینه‌یابی

بهینه‌یابی بر اساس میزان صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹ درصد)، صمغ فارسی (۵، ۴، ۳، ۲، ۱ درصد)، نسبت اتانول به مخلوط صمغ و سلنیت سدیم (۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲)، کارایی کپسولاسیون (۵۰-۸۸/۲۹ درصد) و سایز ذرات (۶۴-۹۴ میکرومتر) طراحی شد. دو نمونه بهینه ۱ (صمغ عربی ۲۹٪، صمغ فارسی ۱٪ و نسبت اتانول به مخلوط صمغ و سلنیت سدیم ۱۲ با راندمان ۹۴ درصد، اندازه ذرات ۶۴/۹ میکرومتر) و نمونه بهینه ۲ (صمغ عربی ۲۷٪، صمغ فارسی ۳٪ و نسبت اتانول به مخلوط

کلی، بالاترین میزان عدد تیوباریتوریک اسید در نمونه شاهد و نمونه حاوی نمک سلنیت سدیم در روز چهل و ششم گزارش گردید و پایین ترین میزان عدد تیوباریتوریک اسید در همه تیمارها در روز صفر مشاهده شد. نتایج حاکی از آن بود که سلنیت سدیم کپسوله شده و آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول در مقایسه با سلنیت سدیم کپسوله نشده در به تعویق انداختن فرایند اکسیداسیون مؤثرتر بودند. تعیین عدد تیوباریتوریک اسید، میزان مالون آلدئید را که محصول جانبی مرحله‌ی ثانویه‌ی اکسیداسیون می‌باشد، نشان می‌دهد. میزان عدد تیوباریتوریک اسید، تحت تأثیر مدت زمان دوره‌ی نگهداری قرار می‌گیرد و با افزایش زمان دوره‌ی نگهداری، افزایش می‌یابد [۳۹]. از آنجایی که مالون آلدئیدها از تجزیه هیدروپراکسیدها حاصل می‌گردد، در روزهای ابتدایی مقدار تیوباریتوریک اسید پایین است اما بعد از گذشت زمان که مقدار محصولات اولیه اکسیداسیون افزایش یافته و شروع به تجزیه شدن می‌کند، مقدار عدد تیوباریتوریک اسید افزایش می‌یابد. علاوه بر این آنتی اکسیدان‌ها طی مدت زمان معینی فعال باقی مانده و با گذشت زمان به تدریج از درجه تأثیر آن‌ها کاسته می‌شود که دلیل آن می‌تواند نگهداری نمونه در شرایط اکسیداسیون و حرارت باشد. از این رو با افزایش زمان دوره نگهداری، میزان عدد تیوباریتوریک اسید افزایش می‌یابد [۳۴]. گوپتا و همکاران (۲۰۱۵)، بیان کردند که عدد تیوباریتوریک اسید شیر غنی شده با میکروکپسول‌های آهن به شدت پایین‌تر از شیر غنی شده با نمک آهن در روز پنجم انبارداری بود [۱۷]. کبیری و سیدالنگی (۱۳۹۴)، با بررسی ویژگی‌های آنتی اکسیدانی عصاره‌های مختلف برگ گیاه بادرنجویه حاصل از دو روش استخراج غرقابی و استخراج به کمک امواج ماکروویو و تأثیر آن بر پایداری اکسایشی روغن سویا نشان دادند که با افزایش زمان دوره نگهداری، میزان عدد تیوباریتوریک اسید افزایش می‌یابد [۳۴]. بتول و همکاران (۲۰۱۸)، گزارش کردند سلنیوم و ویتامین E به طور قابل توجهی اکسایش لیپیدها و خصوصاً تولید محصولات ثانویه اکسایش مالون دی آلدئید را در حین رسیدن پنیر مهار کرد. بطوریکه از سلنیوم و ویتامین E به عنوان آنتی اکسیدان در تسریع رسیدن پنیر استفاده شد. مقدار تولید مالون دی آلدئید با غلظت آنتی اکسیدان ترکیبی ویتامین E و سلنیوم، رابطه غیر مستقیم داشت

روز دوره نگهداری داشته و موجب تأخیر در تشکیل هیدروپراکسیدها گردیده و با افزایش غلظت عصاره کاهش بیشتری در عدد پراکسید مشاهده شده است، همچنین عدد پراکسید نمونه شاهد تا روز ۲۰ روند افزایشی و پس از آن تا روز ۲۴ روند کاهشی نشان داده است [۳۷]. کالو و همکاران (۲۰۱۲)، در طی تحقیقی اذعان داشتند که تولید محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون در روغن زیتون کپسوله شده نسبت به روغن زیتون کپسوله نشده، در طول مدت ۱۱ ماه دوره نگهداری کمتر بوده و تکنیک ریزپوشانی باعث بهبود شاخص‌های پایداری اکسیداتیو شده است [۳۸].



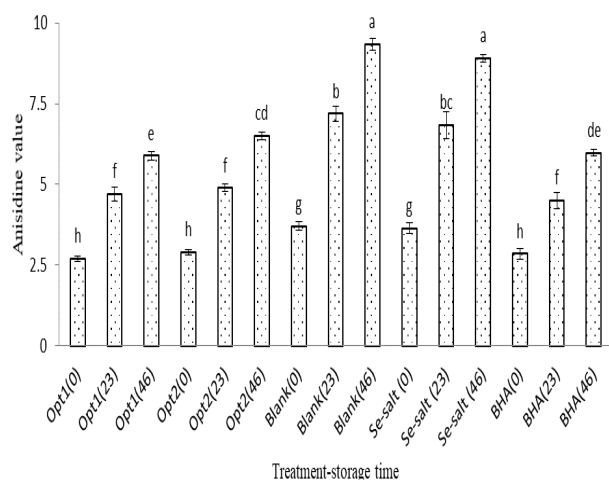
**Fig 2** The interaction effect of treatment at different storage time on soybean oil peroxide content Mean  $\pm$  SD values, followed by the same superscript letter within each column (treatment  $\times$  storage time interaction) have not significant differences in  $p \leq 0.05$  by ANOVA. Mix solution: 20 ml final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 ppm), Opt1: Arabian-Persian gum profile (29-1% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 12 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite Or 3.92 ppm selenium). Opt2: Arabian-Persian gum profile (27-3% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 10 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite or 3.92-ppm selenium). Blank (Antioxidant free). Se-salt: (un-microencapsulated sodium-selenite or  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  8.6 ppm, i.e., 3.92 ppm Se); BHA: 200 ppm.

### ۳-۲- عدد تیوباریتوریک اسید

با توجه به شکل ۳، میزان عدد تیوباریتوریک اسید از روز صفر تا روز چهل و ششم دوره نگهداری روند افزایشی داشت. بطور

[۴۰]

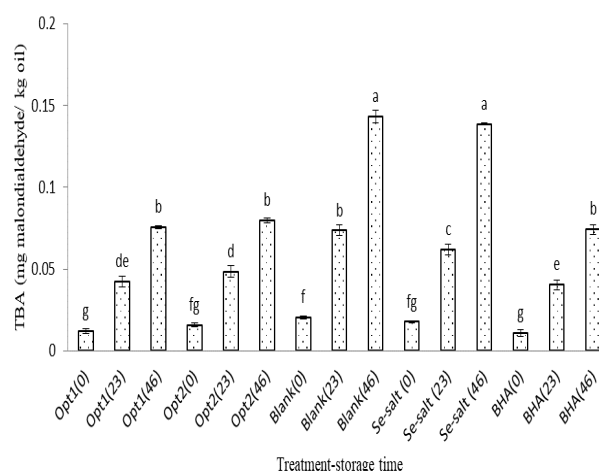
داشتند. اندیس آنیزیدین میزان محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون را نشان می‌دهد [۴۱]. با افزایش زمان دوره نگهداری، روند اکسایش شدت گرفت و مقدار محصولات ثانویه اکسایش نیز افزایش یافت.



**Fig 4** The interaction effect of treatment at different storage time on soybean oil Anisidine value Mean  $\pm$  SD values, followed by the same superscript letter within each column (treatment  $\times$  storage time interaction) have not significant differences in  $p \leq 0.05$  by ANOVA. Mix solution: 20 ml final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 ppm), Opt1: Arabian-Persian gum profile (29-1% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 12 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite Or 3.92 ppm selenium). Opt2: Arabian-Persian gum profile (27-3% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 10 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite or 3.92-ppm selenium). Blank (Antioxidant free). Se-salt: (un-microencapsulated sodium-selenite or  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  8.6 ppm, i.e., 3.92 ppm Se); BHA: 200 ppm.

### ۳-۳-۴- اندیس توتوکس

با توجه به نتایج شکل ۵، کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر پایین‌ترین اندیس توتوکس را نشان دادند. میزان اندیس توتوکس از روز صفر تا روز بیست‌وسوم دوره نگهداری یک روند افزایشی و پس از آن تا روز چهل‌وششم روند کاهشی داشت. بالاترین اندیس توتوکس در نمونه شاهد در روز بیست‌وسوم دوره نگهداری مشاهده شد. اثر تیمار حاوی سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۱) در کاهش روند افزایشی اندیس توتوکس در روز



**Fig 3** The interaction effect of treatment at different storage time on soybean oil malondialdehyde content Mean  $\pm$  SD values, followed by the same superscript letter within each column (treatment  $\times$  storage time interaction) have not significant differences in  $p \leq 0.05$  by ANOVA. Mix solution: 20 ml final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 ppm), Opt1: Arabian-Persian gum profile (29-1% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 12 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite Or 3.92 ppm selenium). Opt2: Arabian-Persian gum profile (27-3% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 10 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite or 3.92-ppm selenium). Blank (Antioxidant free). Se-salt: (un-microencapsulated sodium-selenite or  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  8.6 ppm, i.e., 3.92 ppm Se); BHA: 200 ppm.

### ۳-۳-۳- اندیس آنیزیدین

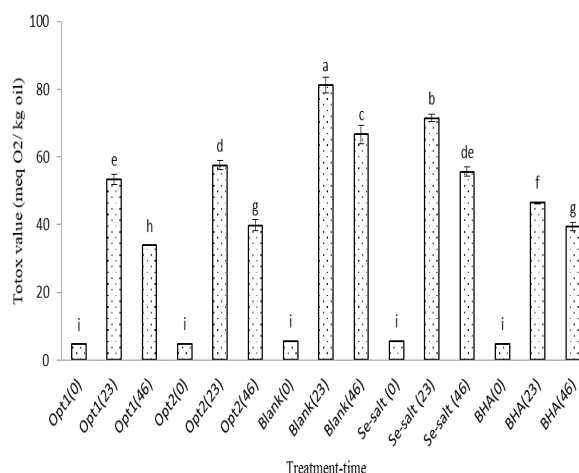
بر اساس شکل ۴، کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر کم‌ترین اندیس آنیزیدین را داشتند. میزان اندیس آنیزیدین از روز صفر تا روز چهل‌وششم دوره نگهداری یک روند افزایشی نشان داد. بالاترین اندیس آنیزیدین در نمونه شاهد بدون آنتی اکسیدان و نمونه دارای سلنیت سدیم کپسوله نشده در روز چهل‌وششم مشاهده شد. در میان تیمارها، نمونه‌ای دارای آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و نمونه‌های حاوی سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۱ و ۲) پایین‌ترین اندیس آنیزیدین را در روز بیست‌وسوم داشتند و بیشترین تأثیر را در کاهش اندیس آنیزیدین

نظر به اینکه در نمونه‌ی شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان نیز از روز بیست‌وسوم تا روز چهل‌وششم یک روند کاهشی مشاهده شد، باید اذعان کرد که برخی از این محصولات جانبی حاصل از واکنش مایلارد مانند ملانوئیدین‌ها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند، و می‌توانند نقش مؤثری در کاهش اندیس توتوکس داشته باشند [۴۴].

### ۳-۳-۵- عدد اسیدی

با توجه به شکل ۶، کلیه نمونه‌های روغن در روز صفر پایین‌ترین عدد اسیدی را نشان دادند. میزان عدد اسیدی از روز صفر تا روز چهل‌وششم دوره نگهداری یک روند افزایشی داشت. زیرا با افزایش زمان ذخیره سازی، واکنش‌های اکسیداسیون افزایش می‌یابد. بالاترین عدد اسیدی در نمونه شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان در روز چهل‌وششم مشاهده شد. در میان تیمارها، نمونه‌ی دارای آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و نمونه‌های حاوی سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۱ و بهینه ۲) پایین‌ترین عدد اسیدی را در روز بیست‌وسوم به نمایش گذاشتند. عدد اسیدی شاخص تجزیه اول تری گلیسیریدها قبل از ورود به مرحله آغازین واکنش اکسایش خود به خودی است [۴۵]. آنتی‌اکسیدان معدنی سلنیوم، با رادیکال آزاد حاصل از اکسایش لیپیدها واکنش داده و موجب قطع واکنش‌های زنجیره‌ای و افزایش زمان اکسایش در مقایسه با نمونه شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان گردید و از آنجائی که اسیدهای آلی از محصولات نهایی اتوکسیداسیون چربی‌های غیراشباع است [۴۰]، لذا شاخص اسیدی بطور معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد بدون آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم کاهش یافت و مشابه با نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول بود. وجود آنتی‌اکسیدان مانع از اکسایش روغن و تولید محصولات اولیه اکسیداسیون در طول مدت نگهداری می‌شود [۴۶]. فدوی و همکاران (۲۰۱۵)، با بررسی روغن سویا پس از افزودن عصاره‌ی برگ سبز و سیاه شده پرتقال، نشان دادند که اسیدیته تمامی تیمارها در مدت نگهداری، کاهش می‌یابد و عصاره‌ها توانایی جلوگیری از افزایش اسیدیته را دارند [۴۷].

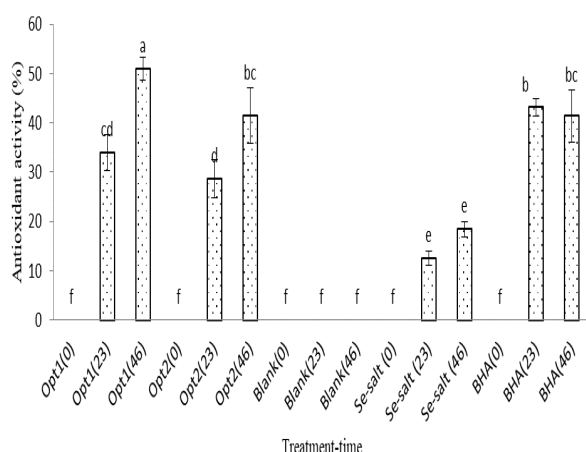
چهل‌وششم بیشتر بود. شاخص توتوکس بیانگر اکسیداسیون کامل و شامل فرآورده‌های اولیه و ثانویه اکسایش می‌باشد [۴۲]. این اندیس طبق فرمولی از عدد پراکسید و اندیس آنیزیدین بدست می‌آید و تغییرات آن تقریباً مشابه این دو اندیس است [۴۳]. همانطور که نتایج این پژوهش نشان داد، روند تغییرات اندیس توتوکس تقریباً مشابه روند تغییرات عدد پراکسید بود.



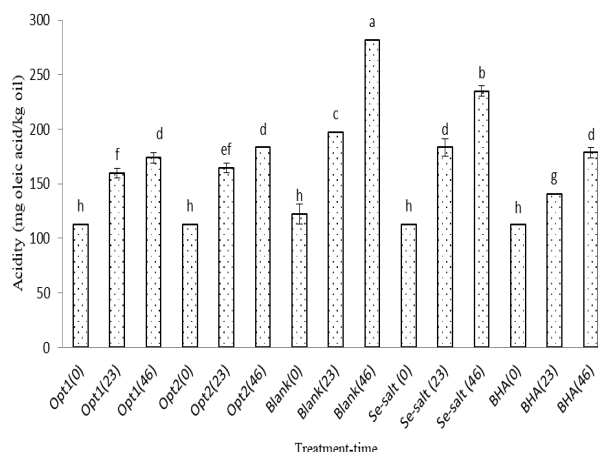
**Fig 5** The interaction effect of treatment at different storage time on soybean oil TOTOX value. Mean  $\pm$  SD values, followed by the same superscript letter within each column (treatment  $\times$  storage time interaction) have not significant differences in  $p \leq 0.05$  by ANOVA. Mix solution: 20 ml final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 ppm), Opt1: Arabian-Persian gum profile (29-1% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 12 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite Or 3.92 ppm selenium). Opt2: Arabian-Persian gum profile (27-3% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 10 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite or 3.92-ppm selenium). Blank (Antioxidant free). Se-salt: (un-microencapsulated sodium-selenite or  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  8.6 ppm, i.e., 3.92 ppm Se); BHA: 200 ppm.

بالاتر بودن اندیس توتوکس در روز بیست‌وسوم نسبت به روز چهل‌وششم را می‌توان به احتمال وقوع واکنش‌های مایلارد و مشابه مایلارد در دماهای بالا و در زمان طولانی نسبت داد زیرا ترکیبات جانبی حاصل از مایلارد می‌تواند معرف آنیزیدین را مهار کرده و باعث ایجاد خطا در شدت جذب طول موج شده و در نتیجه ممکن است اندیس آنیزیدین را بیشتر نشان دهد [۳۵].

بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH و همچنین بازدارندگی اکسیداسیون اسید لینولئیک می باشد [۴۸]. نتایج این پژوهش نشان داد که نمونه‌ی شاهد بدون آنتی اکسیدان فعالیت آنتی اکسیدانی نداشته است. الماسی (۱۳۹۵)، با بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی روغن سویا، دریافت که نمونه شاهد (فاقد آنتی اکسیدان) مقادیری فعالیت آنتی اکسیدانی داشته که دلیل آن باقی ماندن آنتی اکسیدان-های طبیعی نظیر توکوفرول‌ها در روغن سویای تصفیه شده است [۴۹]. اورتیز-سوازکوز و همکاران (۲۰۱۱)، عنوان کردند مهاجرت آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی تولوئن به داخل روغن نارگیل در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد حتی پس از گذشت ۱۰۰ روز نیز متوقف نمی‌شود [۵۰].



**Fig 7** The interaction effect of treatment at different storage time on soybean oil antioxidant activity Mean  $\pm$  SD values, followed by the same superscript letter within each column (treatment  $\times$  storage time interaction) have not significant differences in  $p \leq 0.05$  by ANOVA. Mix solution :20 ml final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 ppm), Opt1: Arabian-Persian gum profile (29-1% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 12 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite Or 3.92 ppm selenium). Opt2: Arabian-Persian gum profile (27-3% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 10 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite or 3.92-ppm selenium). Blank (Antioxidant free). Se-salt: (un-microencapsulated sodium-selenite or  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  8.6 ppm, i.e., 3.92 ppm Se); BHA: 200 ppm.



**Fig 6** The interaction effect of treatment at different storage time on soybean oil total acid number Mean  $\pm$  SD values, followed by the same superscript letter within each column (treatment  $\times$  storage time interaction) have not significant differences in  $p \leq 0.05$  by ANOVA. Mix solution: 20 ml final spray solution which including 6 g (30%) Arabian-Persian gum combination and 300 mg Na-selenite (15000 ppm), Opt1: Arabian-Persian gum profile (29-1% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 12 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite Or 3.92 ppm selenium). Opt2: Arabian-Persian gum profile (27-3% per mix solution) & ethanol to mix solution ratio 10 with a concentration of 180.6 ppm (i.e., 8.6-ppm sodium selenite or 3.92-ppm selenium). Blank (Antioxidant free). Se-salt: (un-microencapsulated sodium-selenite or  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  8.6 ppm, i.e., 3.92 ppm Se); BHA: 200 ppm.

### ۳-۶- فعالیت آنتی اکسیدانی

مطابق با نتایج شکل ۷، کلیه نمونه‌ها در روز صفر فاقد فعالیت آنتی اکسیدانی هستند. از روز بیست و سوم تا چهل و ششم یک روند افزایشی در فعالیت آنتی اکسیدانی کلیه نمونه‌ها به‌جز نمونه شاهد مشاهده گردید. بیشترین میزان فعالیت احیاکنندگی رادیکال‌های آزاد را نمونه حاوی سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۱) در روز چهل و ششم نشان داد. همچنین کم‌ترین فعالیت آنتی اکسیدانی را نمونه حاوی سلنیت سدیم کپسوله نشده در روز بیست و سوم به خود اختصاص داد. براساس یافته‌های این بررسی حضور سلنیت سدیم در روغن بر تقویت فعالیت آنتی اکسیدانی روغن نقش داشته و همچنین روی شدت اکسیداسیون لیپید اثر معکوس نشان داد. کوپروز و همکاران (۲۰۰۹)، گزارش کردند که سیر بدلیل غنی بودن از سلنیوم و ترکیبات ارگانوسولفور دارای فعالیت

antioxidant in soybean oil. *Journal of Food Chemistry*, 85: 215-220.

- [2] Mirnezami Ziabari, H. 2009. Oil technology and refinery. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 467. [In Persian].
- [3] Hammond, E. G., Johnson, L. A., Su, C., Wang, T., White, P. J. 2005. Soybean oil. John Wiley & Sons. New Jersey. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (6ed), 577-672.
- [4] Hui, Y H. 1996. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (5ed). John Wiley & Sons. New York. Vol 2 & 4.
- [5] Namiki, M. 1990. Antioxidants, antimutagens in food. *Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(4): 273-300.
- [6] Kahl, R., Kappus, H. 1993. Toxicity of synthetic antioxidants BHT and BHA in comparison with natural antioxidants vitamin E. *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 196, 329-338.
- [7] 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), 129-137.
- [8] 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.
- [9] Schwatz, S. 1976. Essentiality and metabolic function of Selenium. *Medical Clinics of North America*, 60:745-58.
- [10] Rayman, M. P. 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet*, 356(9225), 233-241.
- [11] Spallholz, J. E. 2001. Selenium and the prevention of cancer. *The Bulletin of Selenium-Tellurium Development Association*, 1-6.
- [12] Patrick, L. 2004. Selenium biochemistry and Cancer: a review of literature. *Alternative Medicine Review*, 9(3): 238-58.
- [13] Ursini, P., Heim, S., Kiess, M., Maiorino, M., Roveri, A., Wissing, J. 1999. Dual function of the selenoprotein PHGPx during sperm maturation. *Science*, 285(5432): 1393-6.

## ۴- نتیجه گیری

استفاده از ریزپوشانی با محافظت از آنتی اکسیدان، منجر به افزایش توان ضد اکسایشی آن شد و نیز با رهایش کنترل شده‌ی سلنیت سدیم از کپسول به درون روغن، باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن طی مدت زمان نگهداری شد. همچنین با حضور آنتی اکسیدان سلنیت سدیم ریزپوشانی شده و آنتی اکسیدان سنتزی BHA، در روغن سویا، عدد پراکسید، عدد تیوباریتوریک اسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس و عدد اسیدی کاهش و فعالیت آنتی اکسیدانی روغن سویا افزایش یافت. ارجحیت آنتی اکسیدان سنتزی BHA نسبت به نمونه‌های بهینه Opt1 و Opt2 از نظر عدد پراکسید و اندیس توتوکس و عدد اسیدی و همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی در روز بیست و سوم نگهداری روغن سویا در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد، گزارش شد و برتری نمونه بهینه Opt1 نسبت به نمونه بهینه Opt2 و آنتی اکسیدان سنتزی BHA از حیث عدد پراکسید و اندیس توتوکس و همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی در روز چهل و ششم نگهداری روغن سویا در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد، گزارش شد. میان نمونه‌های بهینه Opt1 و Opt2 و آنتی اکسیدان سنتزی BHA از حیث عدد تیوباریتوریک اسید و اندیس آنیزیدین در روزهای بیست و سوم و چهل و ششم و از نظر عدد اسیدی در روز چهل و ششم تفاوت معنی داری گزارش نشد ( $P > 0.05$ ). در مجموع با در نظر گرفتن اثرات نامطلوب آنتی اکسیدان‌های سنتزی روی سلامتی، می‌توان آنتی اکسیدان سلنیت سدیم ریزپوشانی شده را به عنوان جایگزین آنتی اکسیدان سنتزی BHA جهت حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری روغن سویا به کار برد.

## ۵- سپاسگزاری

از شرکت دانش بنیان معیار دانش پارس به دلیل همکاری‌های علمی و پژوهشی در راستای محقق شدن این تحقیق کمال تشکر را دارد.

## ۶- منابع

- [1] Rahman, Z., Habib, F., Shah, W. 2004. Utilization of potato peels extract as a natural

- of Iran, the method of measuring the acidity in edible oils and fats. ISIRI no 4178. ISIRI; 1999. P. 1-7. [In Persian].
- [27] Ghanbari, R., Ghavami, M., & Safafar, 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].
- [28] Labuza, T. P., & Schmidl, M. K. 1985. Accelerated shelf life testing of foods. *Food technology (USA)*, 39(9): 57-64.
- [29] Robertson, G. L. 2012. Food packaging: principles and practice, *Shelf Life of Foods*: CRC press, Chapter 12, 329-63.
- [30] Zilberboim, R., Kopelman, I. J., Talmon, Y. 1986. Microencapsulation by a dehydrating liquid: retention of paprika oleoresin and aromatic esters. *Journal of Food science*, 51(5): 1301-1306.
- [31] Pakzad, H., Alemzadeh, I., Kazemi, A. 2013. Encapsulation of peppermint oil with Arabic gum-gelatin by complex coacervation method. *International Journal of Engineering*, 26(8): 807-814.
- [32] Fernandes, R. V. B., Borges, S. V., Botrel, D. A. 2014. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary oil. *Carbohydrate Polymers*, 101: 524-532.
- [33] Premi, M., Sharma, H. K. 2017. Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behaviour and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(1): 1232-1240.
- [34] 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. [In Persian].
- [35] Mojerloo, z., Elhamirad, A. H., Najafi, A. 2015. The study of the antioxidative effect of the ethanolic extract of the olive meal on the oxidative stability of soybean oil compared to some chemical antioxidants. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 3: 15-23. [In Persian].
- [14] Brody, T. 1999. *Nutritional biochemistry* (2ed). San Diego: Academic Press; p. 837.
- [15] Lokuwan, J. 2007. Characteristics of microencapsulated  $\beta$ -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 21, 928-935.
- [16] Richmond, F. L., Moss, R. D. 1983. Vitamin encapsulation. US Patent-4389419, 6-1.
- [17] 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.
- [18] McNamee, B. F., O’Riorda, E. D., O’Sullivan, M. 2001. Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(7): 3385-3388.
- [19] Trindade, M. A., Grosso, C. R. F. 2000. The stability of ascorbic acid microencapsulated in granules of rice starch and in gum arabic. *Journal of Microencapsulation*, 17(2): 169-176.
- [20] AOAC. 2005. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International (18th Ed.): 481. North Fredrick Avenue Gaithersburg, Maryland, USA.
- [21] 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.
- [22] Firestone, D. 1994. AOCS, Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th Ed.: AOCS Press, Champaign.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Wanasundara, P. K. J. P. D., & Shahidi, F. 2005. *Antioxidants: Science, Technology, and Applications*. Bailey's Industrial Oil and Fat Products.
- [26] Institute of Standards and Industrial Research

- and Bioprocess Technology, 5(8): 3090-3102.
- [43] Fathollahi, A., & Keramat, j. 2017 May. Anti-oxidative activities of carrot and beet extract on soybean oil. Paper presented at the first National Conference on New Technologies in Food Science and Tourism, Sari. [In Persian].
- [44] Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon M. 2001. Antioxidants in Food: Practical application. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC, pp. 311-330.
- [45] Shahidi, F. 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Products (sixth Ed), John Wiley & Sons Inc., simultaneously in Canada, 1-3687.
- [46] Roshan, M., Esmaeel-zade Kenari, R. 2017. Antioxidant effect of strawberry leaves extracts on stabilization of sunflower oil during storage condition. Iranian Journal of Food Science and Technology; 65(14): 301-309. [In Persian].
- [47] 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. [In Persian].
- [48] Queiroz, Y. S., Ishimoto, E., Bastos, D. H. M., Sampaio, G. R. 2009. Garlic and ready to eat garlic products. Journal of food chemistry, 115: 371-374.
- [49] Almasi, H. 2016. Comparison of direct addition and using of antioxidant active film containing nettle leaves extract in oxidative stability of soybean oil. Journal of Food Research, 26(3): 411-427. [In Persian].
- [50] Ortiz-Vazquez, H., Shin, J., Soto-Valdez, H., Auras, R. 2011. Release of butylated hydroxytoluene (BHT) from poly (Lactic acid) films. Polymer testing, 30: 463-471.
- [36] Chang, S., Bassiri, A., Jalali, H. 2013. Evaluation of antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extract on oxidative stability of olive oil. Journal of Chemical Health Risks, 3(2): 53-61.
- [37] 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.
- [38] Calvo, P., Castan˜o AL, Lozano M., Gonza'lez-Go'mez, D. 2012. Influence of themicroencapsulation on the quality parameters and shelf life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. Food Research International, 45(1): 256-61.
- [39] Mohammadi, A., Jafari, SM., Esfanjani, A. F., Akhavan S. 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. Food Chemistry, 190: 513-519.
- [40] 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.
- [41] Doleschall, F., Kemeny, Z., Recseg, K., Kovari, K. 2002. A new analytical method to monitor lipid peroxidation during bleaching. European Journal of Lipid Science and Technology, 104:14-18.
- [42] 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

## Evaluation of antioxidant properties of selenium microencapsulated in antioxidant-free soybean oil refined

Abbasi, S.<sup>1</sup>, Goli, M.<sup>2, 3\*</sup>

1. MSc, 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
3. Associate professor, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

(Received: 2020/05/16 Accepted: 2020/08/31)

Much research was done approaching replacing synthetic antioxidants with adverse nutritional effects. In this study, the antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite in delaying oxidation of soybean oil investigated. Microencapsulation of 15000 ppm sodium-selenite was carried out, comprising the following combination: Arabic gum (25, 26, 27, 28, and 29%) and a corresponding amount of Farsi gum (corresponding to Arabic gum, respectively 1, 2, 3, 4, and 5%) using the solvent (ethanol with purity 96%) evaporation method. The ratio of ethanol to the mix solution [combination gum + sodium selenite] was (4, 6, 8, 10, and 12). Finally, optimal formula1 (EE 94%, particle-size 64.9 $\mu$ m, Arabic gum 29%, Farsi gum 1%, and the ratio of ethanol to the mix solution 12 ) and the optimal formula2 (EE 84.4%, particle-size 74 $\mu$ m, Arabic gum 27%, Farsi gum 3%, and the ratio of ethanol to the mix solution 10) were selected. Consequently, the two selected optimal formulas (180.6PPM), the BHA(200PPM), and the un-microencapsulated sodium-selenite (8.6PPM) were added to antioxidant-free soybean oil and then were placed at the 55<sup>0</sup>C for (0, 23, 46 days) equal to 20 <sup>0</sup>C, 180, 360 days) by shelf-life accelerator program. The oxidation indices compared with soybean oil that did not contain any anti-oxidant. EE increased and particle size decreased with increasing Arabic gum levels and the ethanol to mix solution ratio. Encapsulated selenium, such as BHA, increased antioxidant activity and decreased soybean-oil oxidation indices. The effective and propositional treatments are presented in the following order respectively: blank (antioxidant-free) < un-microencapsulated sodium-selenite < BHA = Opt2 < Opt1.

**Keywords:** Sodium selenite, Microencapsulation, Solvent evaporation method, Response surface methodology, Oxidation indices

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: mgolifood@yahoo.com