



## اثر آنتی‌اکسیدانی سلنیت سدیم میکروکپسوله شده در روغن سویا در طول مدت یکسال نگهداری

شیوا ذوالفقاری<sup>۱</sup>، محمد گلی<sup>۲\*</sup>، شریفه شاهی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه

آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

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

## چکیده

## اطلاعات مقاله

در این پژوهش ریزپوشانی سلنیت سدیم (۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی) با ترکیبی از مواد دیواره شامل صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درصد) و صمغ فارسی متناظر آن (۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ درصد) با استفاده از روش تبخیر حلال، با درصدهای خلوص اتانول (۸۰، ۸۴، ۸۸، ۹۲ و ۹۶ درصد) انجام شد. سپس با کمک نرم‌افزار سطح پاسخ، بهینه‌سازی میکروکپسول‌ها براساس بالاترین کارایی کپسولاسیون و کوچکترین اندازه ذرات صورت گرفت. دو فرمول بهینه شامل بهینه یک (سلنیت سدیم ۱۰۷ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی محلول اسپری شونده، غلظت صمغ عربی ۲۹٪، صمغ فارسی ۱٪ و درصد خلوص اتانول ۹۶٪) با کارایی ۹۹/۷۱٪ و اندازه ذرات ۳۰/۴۶ میکرومتر و بهینه دو (سلنیت سدیم ۳۰۷ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی محلول اسپری شونده، غلظت صمغ عربی ۲۹٪، صمغ فارسی ۱٪ و درصد خلوص اتانول ۹۶٪) با کارایی ۹۷/۷۳٪ و اندازه ذرات ۴۷/۴۶ میکرومتر انتخاب گردید. در نهایت بهینه یک و دو به ترتیب ۴۹۰ و ۱۷۶ پی‌پی‌ام کپسول (معادل ۸/۶ پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم)، آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول (۲۰۰ پی‌پی‌ام) و نمک سلنیت سدیم (۸/۶ پی‌پی‌ام) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و در دمای ۵۵°C در مدت زمان (۰ و ۲۳ و ۴۶ روز) قرار گرفتند. سپس به کمک نرم‌افزار اس پی اس اس، اندیس پراکسید، اسیدیته، تیوباریتوریک اسید، آنیزیدین، توتوکس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان مقایسه شد. نتایج سطح پاسخ نشان داد که غلظت سلنیت سدیم با کارایی رابطه معکوس و با اندازه ذرات رابطه مستقیم داشت، درحالی‌که غلظت صمغ عربی و درصد خلوص اتانول با کارایی رابطه مستقیم و با اندازه ذرات رابطه معکوس داشت. نتایج اس پی اس اس نشان داد که با حضور آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم میکروکپسوله شده و آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول در روغن سویا، عدد پراکسید، اسیدیته، عدد تیوباریتوریک اسید، اندیس آنیزیدین و اندیس توتوکس، کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن سویا افزایش یافت.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲

کلمات کلیدی:

انکپسولاسیون،

سلنیت سدیم،

صمغ عربی،

روغن سویا.

DOI: 10.22034/FSCT.19.130.283

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.23.2

\* مسئول مکاتبات:

mgolifood@yahoo.com

## ۱- مقدمه

در حال حاضر غذاهای عملگرا نقش مهمی را در زندگی روزمره انسان بازی می‌کند. غذای عملگرا می‌تواند غذایی طبیعی باشد یا اینکه غذایی باشد که ترکیبات سلامت بخش به آن افزوده شده و ترکیبات ساختمانی مضر از آن حذف شود. بعضی از ترکیبات مغذی نمی‌توانند برای یک مدت چشم‌گیری در غذا باقی بمانند یا در اثر ترکیب با دیگر ترکیبات غذا اثرات نامطلوبی را باعث می‌شوند. میکروکپسولاسیون تکنولوژی است که می‌تواند مدت زمان ماندگاری ترکیبات مغذی در غذا را بهبود دهد [۱]. کپسوله کردن به فرآیند به دام انداختن عوامل فعال در بین مواد پوشش‌دهنده یا دیواره‌ای گفته می‌شود و به عنوان وسیله‌ای برای بهبود در عمل‌رساندن مولکول‌های زیست‌فعال در غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اهداف اصلی کپسوله کردن محافظت از انواع ترکیبات فعال در برابر تبخیر، واکنش‌های شیمیایی یا مهاجرت به غذا، کنترل کردن عمل‌رساندن و آزادسازی ترکیبات فعال بر اثر مرور زمان، حفاظت و پایداری مواد زیست‌فعال در طی فرآیند و انبارداری، جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب با ترکیبات دیگر در محصول و مخفی کردن و پوشاندن طعم نامطلوب در طی عمل خوردن می‌باشد [۲]. روغن‌ها در گروه کالاهای مصرفی ضروری جای گرفته و دارای ارزش غذایی بالا هستند و علاوه بر تأمین انرژی لازم برای فعالیت انسان نقش مهمی در بقای سلامت و ادامه حیات دارند [۳]. روغن‌های خوراکی حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب غیر اشباع (به‌ویژه اسیدهای چرب چند غیر اشباعی) هستند که بسیار مستعد اکسیداسیون می‌باشند؛ در نتیجه ارزش تغذیه‌ای آن‌ها کاهش یافته و مخاطراتی را برای سلامت مصرف‌کنندگان به وجود می‌آورند [۴]. از جمله روغن‌های مستعد اکسایش، روغن سویا است؛ زیرا وجود مقادیر نسبتاً زیاد گاما لینولینیک اسید در روغن سویا پایداری این روغن را در مقابل اکسیداسیون کاهش می‌دهد؛ لذا استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در آن ضروری به نظر می‌رسد. امروزه با توجه به نگرانی‌هایی که راجع به اثرات سمی و سرطان‌زایی آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی ابراز شده است و به دلیل گستردگی زیاد و گران‌قیمت بودن، ارزیابی‌هایی باید روی افزودنی‌های مواد غذایی انجام گیرد تا

ایمنی آن‌ها تأیید گردد، استفاده از این آنتی‌اکسیدان‌ها در بسیاری از غذاها محدود شده‌است. جستجوی جایگزین‌های طبیعی برای آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی منجر به بررسی آنتی‌اکسیدان‌های متعددی از منابع مختلف شده‌است [۵]. سلنیوم یک آنتی‌اکسیدان غیرستزی قوی است که نقش مهمی در واکنش‌های اکسیداسیون و احیای داخل سلولی ایفا می‌کند [۶]. این عنصر یکی از اجزای سلنیوپروتئین‌ها و آنزیم‌های مهم بدن مانند گلوتاتیون پراکسیداز و یدوتیرونین ۵-دیدیناز است که برای اعمال متعددی از قبیل دفاعی ضد اکسیدانی و تولید هورمونی تیروئید ضروری است [۷]. همچنین این عنصر باعث کاهش ذخیره خون تومورها می‌شود و سلول‌های سرطان‌زا را از بین می‌برد [۸]. طبق مطالعات سال‌های اخیر برخی از خواص تغذیه‌ای سلنیوم عبارتند از: کاهش ریسک انواع خاصی از سرطان‌ها، پشتیبانی از عملکرد پروستات در مردان، کاهش علائم یائسگی در زنان، فراهم کردن تنظیم هورمونی سوخت‌وساز انرژی [۹]. ارتقای پاسخ ایمنی و تقویت سیستم ایمنی، بهبود باروری و تولید مثل، درمان عفونت [۱۰]، بهبود اختلالات پوستی [۱۱]، اثر بر متابولیسم هورمون تیروئید، اثر بر متابولیسم کلسترول، تأخیر در آلزایمر در سالخوردگان، تأخیر در شروع علائم پیری پوست [۱۲]. با توجه به آثار سلامتی بخش سلنیوم، غنی‌سازی رژیم غذایی با این ریزمغذی به منظور تأمین نیاز تغذیه‌ای انسان به سلنیوم حیاتی است. از این رو می‌توان با کپسوله کردن سلنیوم به منظور حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی، محافظت بالا و افزایش بازده اثرگذاری، آن را جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی در روغن سویا نمود. در این تحقیق به بررسی میکروکپسولاسیون سلنیت سدیم با ترکیبی از مواد دیواره شامل صمغ عربی و صمغ فارسی متناظر آن به روش تبخیر حلال با درصد‌های خلوص اتانول پرداخته شد. پس از بهینه‌سازی میکروکپسول‌ها، بهینه یک و دو، آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و نمک سلنیت سدیم به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و در مدت زمان (۰، ۲۳ و ۴۶ روز) تحت دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، از نظر اثر آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

به منظور انجام پژوهش، اسیداستیک گلاسیال، الکل اتیلیک، پارآنیزیدین، تیوسولفات سدیم، پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، فنل فتالین، کلروفرم، نشاسته، هگزان و هیدروکلریک اسید (مرک، آلمان)، بوتیل هیدروکسی آنیزول (تیراچرم، آلمان)، تیوباریتوریک اسید (سروا، آمریکا)، سلنیت سدیم و توین ۸۰ (سیگما، آمریکا) و صمغ فارسی (باریج اسانس، ایران) تهیه گردید. روغن سویا نیز از کارخانه طارم زنجان (ایران) خریداری شد.

### ۲-۲- روش کار

میکروکپسول‌ها از طریق حل کردن ترکیب صمغ عربی با نسبت‌های (۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵ درصد) و صمغ فارسی متناظر با نسبت‌های (۱-۲-۳-۴-۵ درصد) در ۱۰ سی سی آب مقطر ۶۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمدند. سپس به منظور هیدراته سازی مجدد به مدت ۱۲ ساعت در یخچال با دمای ۴ تا ۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سلنیت سدیم با نسبت‌های (۹۰۰-۷۰۰-۵۰۰-۳۰۰-۱۰۰ میلی گرم) در ۱۰ سی سی آب مقطر حل شدند و به محلول ترکیبی مجدداً هیدراته شده، اضافه شدند. این ترکیب در ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد، سپس تحت تاثیر حمام اولتراسونیک در همین دما به مدت ۱۸ دقیقه با فرکانس ۵۰ هرتز قرار گرفت. سپس این ترکیب با اسپری با فشار ۲ بار به الکل سرد با درصدهای خلوص اتانول (۸۰٪، ۸۴٪، ۸۸٪، ۹۲٪ و ۹۶٪) که توسط مگنت با سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه در حال چرخش بود، اسپری شد. ترکیب به مدت ۵ دقیقه رهاسازی شد. سپس فیلتراسیون تحت خلاء توسط کاغذ واتمن صورت گرفت. به منظور تبخیر کامل الکل باقی مانده در میکروکپسول‌ها و خشک شدن کامل آن‌ها باید تحت دمای پایین قرار میگرفتند، بدین منظور مواد باقی مانده درون یک پتری‌دیش پخش شدند، درون دسیکاتور قرار داده شدند و به مدت ۱۲ تا ۱۴ ساعت در یخچال ۴ تا ۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس میکروکپسول‌های حاصله توسط هاون آسیاب شد و در ظرفی در دمای اتاق نگهداری شدند [۱۳].

### ۲-۳- آزمون‌های فیزیکی روغن

میکروکپسول‌های پودر شده حاصله تحت انجام تست‌های

فیزیکی شامل راندمان کپسولاسیون، اندازه ذرات و ساختار خارجی میکروکپسول‌ها قرار گرفتند. [۱۳].

### ۲-۳-۱- تخمین محتوای سلنیوم

محتوای سلنیوم میکروکپسول‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتری جذبی- اتمی (AAS<sup>2</sup>) و از طریق روش استاندارد (۲۰۰۵) با طول موج ۱۹۶ نانومتر تخمین زده شد. میکروکپسول‌ها در معرض خاکستر شدن (با دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت) قرار داده شد و سپس در اسیدکلریدریک ۶ نرمال حل و به منظور انحلال کامل گرما داده شد. نمونه‌ها برای آنالیز توسط اسپکتروفتومتری جذبی- اتمی در طول موج بیشینه ۲۴۸/۳ نانومتر، بطور مناسبی رقیق شدند [۱۳].

### ۲-۳-۲- کارایی کپسولاسیون (EE)

در طول تهیه، میکروکپسول‌های سلنیوم از طریق فیلتراسیون از اتانول جدا شدند. فرض شده است که سلنیوم در مواد باقی مانده به صورت کپسول یا گوی حضور دارد. سلنیوم کپسول‌سازی نشده در مواد فیلتر شده نیز حضور دارد. مواد باقی مانده تحت شرایط یخچالی (دمای ۴ تا ۷ درجه سانتی-گراد) به مدت ۱۲ تا ۱۴ ساعت خشک شد. سلنیوم کپسول-سازی شده در مواد باقی مانده با استفاده از اسپکتروفتومتری جذبی- اتمی تخمین زده شد. محتوای سلنیوم که در ابتدا برای تهیه میکروکپسول‌های سلنیوم اضافه شد به عنوان محتوای کل سلنیوم در نظر گرفته شد و سلنیوم کپسول‌شده در مواد باقی مانده تخمین زده شد. ماده فیلتر شده حاوی مقادیر قابل توجهی اتانول فرار بود که کار اندازه‌گیری حجمی و ثقلی را مشکل کرد، بنابراین سلنیوم کپسول‌شده در مواد باقی مانده اندازه‌گیری شد. کارایی از طریق فرمول زیر اندازه‌گیری شد [۱۳].

$$\text{Encapsulation efficiency(\%)} = \frac{\text{Bound Selenium}}{\text{Total Selenium}} \times 100$$

### ۲-۳-۳- اسکن با میکروسکوپ الکترونی روبشی

#### (SEM)

ساختار خارجی میکروکپسول‌های پودر شده از طریق اسکن میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. میکروکپسول‌ها بر روی استوب اسکن میکروسکوپ الکترونی با استفاده از یک چسب دولایه محکم شدند. نمونه‌های نصب شده با طلا (به ضخامت ۲۰ نانومتر) پوشانده شدند (پوشش

2. Atomic Absorption Spectrophotometer

یونی) و به مدت ۴ دقیقه در ۰/۰۵-۰/۰۷ تور این پوشش یونی در ۶ میلی‌آمپر نگه داشته شد. در نهایت نمونه‌ها از طریق اسکن میکروسکوپ الکترونی در یک ولتاژ ۱۵ کیلووات تحت شرایط خلاء بالا بررسی شدند و ریزنگارها ثبت شدند [۱۳].

آنالیز اندازه میکروکپسول‌های سلنیوم: میکروکپسول‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای قرار داده شدند و یک یا دو قطره آب مقطر بر روی آن‌ها چکانده شد. آب مقطر برای پخش مناسب میکروکپسول‌ها بر روی اسلاید شیشه‌ای به کار برده شد. این میکروکپسول‌ها تحت میکروسکوپ نوری (با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر) مشاهده شدند و با استفاده از یک دوربین دیجیتالی مناسب عکس‌برداری شدند. اندازه میکروکپسول‌ها با استفاده از نرم‌افزار اینبولت و میکروسکوپ تخمین زده شد [۱۳]. سپس با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمون‌های فیزیکی، با کمک نرم‌افزار سطح پاسخ، بهینه‌سازی بر اساس بالاترین کارایی کپسولاسیون و پایین‌ترین اندازه ذرات صورت گرفت. میکروکپسول‌های سلنیت‌سدیم با دو فرمول بهینه، شامل بهینه یک (صمغ عربی ۲۹ درصد و صمغ فارسی ۱ درصد، سلنیت سدیم ۱۰۷ میلی‌گرم در ۲۰ میلی‌لیتر و درصد خلوص اتانول ۹۶ درصد) با کارایی ۹۹/۷۱٪ و اندازه ذرات ۳۰/۴۶ میکرومتر و بهینه دو (صمغ عربی ۲۹ درصد و صمغ فارسی ۱ درصد، سلنیت سدیم ۳۰۷ میلی‌گرم در ۲۰ میلی‌لیتر و درصد خلوص اتانول ۹۶ درصد) با کارایی ۹۷/۷۳٪ و اندازه ذرات ۴۷/۴۶ میکرومتر با در نظر گرفتن حد مجاز سلنیوم (۵۵ میکروگرم در روز) و سهم روغن مصرفی (یک قاشق غذاخوری برابر با ۱۴ گرم یا ۱۵ میلی‌لیتر)، به ترتیب مقدار ۴۹۰ پی‌پی‌ام و ۱۷۶ پی‌پی‌ام (حاوی ۸/۶ پی‌پی‌ام سلنیوم)، آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول (۲۰۰ پی‌پی‌ام) و نمک سلنیت‌سدیم (۸/۶ پی‌پی‌ام) به روغن سویای تصفیه شده فاقد آنتی‌اکسیدان با مشخصات شیمیایی اندازه‌گیری شده در روز صفر شامل (عدد پراکسید: ۱ میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن، اسیدیت: ۱۱۲/۸ میلی‌گرم اولئیک اسید بر کیلوگرم روغن، عدد تیوباریتوریک اسید: ۰/۰۲ میلی‌گرم مالون‌آلدئید بر کیلوگرم روغن، عدد آنیزیدین: ۳/۴۷، عدد توتوکس: ۵/۴۷ میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن و فعالیت آنتی‌اکسیدانی: ٪) اضافه شدند و در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، در مدت زمان (۰ و ۲۳ و ۴۶ روز) که معادل دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روز) بود، قرار گرفتند. سپس آزمون‌های شیمیایی

اندیس پراکسید، اسیدیت، تیوباریتیک اسید، آنیزیدین، توتوکس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها با روغن سویای فاقد آنتی-اکسیدان مقایسه شد. لذا به منظور جلوگیری از تنشین شدن میکروکپسول‌ها در روغن، از توئین ۸۰ استفاده شد. به این منظور ۴۹۰ پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه ۱ به همراه ۲۴۲،۸ پی‌پی‌ام توئین ۸۰ و مقدار ۱۷۶ پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه ۲ به همراه ۱۷۱،۴ پی‌پی‌ام توئین ۸۰ به مقدار کمی روغن افزوده و به مدت ۵ دقیقه روی شیکر قرار گرفته و سپس به کل روغن اضافه شدند.

## ۲-۴-آزمون‌های شیمیایی روغن

عدد پراکسید [۱۴]، آزمون تیوباریتوریک اسید و اندیس آنیزیدین [۱۵]، اندیس اسیدیت [۱۶]، اندیس توتوکس [۱۷] و ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی [۱۸]، برای آزمون روغن، دو نمونه بهینه به همراه نمونه نمک سلنیت سدیم، نمونه دارای بوتیل هیدروکسی آنیزول و نمونه روغن سویای فاقد آنتی-اکسیدان در روزهای ۰، ۲۳ و ۴۶ ام نگهداری در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد با انجام آزمون‌های شیمیایی در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد.

### ۲-۴-۱-اسیدیت

۱۰ گرم از روغن سویا در یک ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری وزن شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک خنثی شده‌ی داغ (الکل اتیلیک روی هیتز قرار داده شد و چند قطره فنل فتالین به آن اضافه شد و با محلول سود تا ظهور رنگ صورتی روشن خنثی شد) و یک میلی‌لیتر شناساگر فنل فتالین به آن اضافه شد. مخلوط داخل ارلن هم زده شد. سپس با سود ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی و پایداری آن به مدت ۳۰ ثانیه تیترا شد. اسیدیت از طریق فرمول زیر محاسبه شد و نتیجه بر حسب اولئیک اسید گزارش شد [۱۶].

$$\text{درصد اسیدیت} = \frac{28.2 \times V \times N}{W}$$

(میلی گرم اسید اولئیک بر کیلوگرم روغن)

$V$  = حجم محلول هیدروکسید سدیم استاندارد مصرف شده در تیتراسیون

$N$  = نرمالیه محلول هیدروکسید سدیم

$W$  = وزن روغن مورد آزمایش به گرم

### ۲-۴-۲-عدد پراکسید

اندیس پراکسید عبارت است از میلی‌اکی‌والان پراکسید یا

میلی لیتر معرف تیوباریک اسید به آن اضافه شد. سپس لوله‌ی حاوی معرف تیوباریک اسید و لوله‌ی حاوی نمونه و معرف تیوباریک اسید به حمام آب ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت منتقل شد. پس از ۲ ساعت زمانی که رنگ نارنجی ظاهر شد لوله‌ها به منظور سرد کردن زیر آب سرد قرار داده شد، سپس جذب نمونه‌ها و شاهد (معرف تیوباریک اسید) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۰ نانومتر خوانده شد و عدد تیوباریک اسید با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد [۱۵].

$$\text{اسید تیوباریک} = \frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب نمونه}}{\text{وزن نمونه}} \times 50$$

(میلی گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم روغن)

#### ۲-۴-۴- اندیس آنیزیدین

برابر است با صد برابر افزایش در جذب آزمون (در طول موج نانومتر ۳۵۰ در سل میلی‌متر ۱۰) اندیس آنیزیدین جهت سنجش محصولات ثانویه اکسایش (آلدئیدها و کتون‌ها) می‌باشد که نسبت به محصولات اولیه‌ی اکسیداسیون یعنی پراکسیدها با ثبات‌تر می‌باشند. ابتدا معرف آنیزیدین تهیه شد به این صورت که ۰/۲۵ گرم پارا آنیزیدین وزن شد سپس در یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری با استیک اسید به حجم رسید. ۴ لوله آزمایش برداشته شد، در لوله آزمایش اول ۳ گرم روغن توزین شد سپس در بالن ۲۵ میلی‌لیتری با هگزان به حجم رسانده شد. در لوله آزمایش دوم ۵ میلی‌لیتر هگزان منتقل شد و این لوله آزمایش به عنوان شاهد برای لوله آزمایش اول در نظر گرفته شد. در لوله آزمایش سوم ۵ میلی‌لیتر محلول روغنی منتقل شد سپس ۱ میلی‌لیتر معرف آنیزیدین به آن اضافه شد. در لوله آزمایش چهارم ۵ میلی‌لیتر حلال منتقل شد سپس ۱ میلی‌لیتر معرف آنیزیدین به آن اضافه شد، درب لوله بسته و به خوبی تکان داده شد سپس به مدت ۱۰ دقیقه در تاریکی نگه داشته شد، که این لوله آزمایش به عنوان شاهد برای لوله آزمایش سوم در نظر گرفته شد. در آخر جذب همه لوله‌های آزمایش توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۵۰ نانومتر خوانده شد و عدد آنیزیدین از طریق فرمول زیر محاسبه شد [۱۵].

$$\text{اندیس آنیزیدین} = \frac{25 \times (1/20 \times \text{As} - \text{Ab})}{\text{وزن نمونه}}$$

(میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن)

As = جذب نوری محلول چربی

Ab = جذب نوری محلول چربی بعد از واکنش با معرف

اکسیژن فعال موجود در یک کیلوگرم از نمونه‌ی روغن. این اندیس میزان محصولات اولیه اکسیداسیون یعنی هیدروپراکسیدها را نشان می‌دهد که نسبت به حرارت ناپایدارند. اندیس پراکسید شاخص برای نشان دادن میزان فساد اکسیداتیو در روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشد. برای روغن سالم این اندیس باید زیر ۶ باشد. برای اندازه‌گیری عدد پراکسید از روش یدومتری مطابق با استاندارد استفاده شد. به این ترتیب محلول اشباع پتاسیم یدید و محلول چسب نشاسته ۱٪ تهیه شد. ۵ گرم روغن سویا در یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری وزن شد و سپس در زیر هود ۱۵ میلی‌لیتر محلول استیک اسید و ۱۵ میلی‌لیتر محلول کلروفرم به آن اضافه و کاملاً باهم مخلوط شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر محلول پتاسیم یدید اشباع به آن اضافه شد و ۱ الی ۲ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. بعد از خروج از تاریکی، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱ میلی‌لیتر چسب نشاسته به آن اضافه شد سپس با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی تیترا شد. همراه با نمونه، تیتراسیون شاهد (مخلوط اسیداستیک و کلروفرم بدون روغن) نیز انجام شد. در نهایت عدد پراکسید با استفاده از فرمول زیر محاسبه و برحسب میلی‌اکی‌والان پراکسید در ۱۰۰۰ گرم روغن بیان شد [۱۴].

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{(V_2 - V_1) \times N \times 1000}{m}$$

(میلی‌اکی‌والان پراکسید یا اکسیژن فعال موجود در یک

کیلوگرم از نمونه روغن)

$V_2$  = حجم تیوسولفات سدیم مصرفی برای نمونه

$V_1$  = حجم تیوسولفات سدیم مصرفی برای شاهد

$N$  = نرمالیه تیوسولفات سدیم مصرفی

$m$  = وزن روغن سویا مصرفی به گرم

#### ۲-۴-۳- اندیس تیوباریک اسید

ابتدا معرف تیوباریک اسید آماده شد به این صورت که ۰/۲ گرم تیوباریتوریک اسید وزن شد و در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری با حلال ۱-بوتانول به حجم رسانده شد. سپس این محلول صاف شد و مجدداً در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری با حلال ۱-بوتانول به حجم رسانده شد و به لوله خشک درب دار منتقل شد. سپس ۰/۲ گرم روغن وزن شد و در بالن ۲۵ میلی‌لیتری با حلال ۱-بوتانول به حجم رسانده شد، محتویات داخل بالن هم زده شد سپس ۵ میلی‌لیتر از آن به لوله خشک درب دار منتقل شد و ۵

آنزیدین

## ۲-۴-۵- شاخص توتوکس

معیاری از اکسایش کل است که شامل فراورده‌های اولیه و ثانویه اکسایش می‌باشد. که از حاصل جمع دو برابر اندیس پراکسید با اندیس آنزیدین به دست می‌آید [۱۷].

## ۲-۴-۶- ارزیابی درصد فعالیت

## آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تمام نمونه‌ها طبق فرمول زیر محاسبه شد [۱۸].

$$[100 \times (\text{افزایش اندیس پراکسید شاهد} / \text{افزایش اندیس پراکسید نمونه})] - 100 = \text{درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی}$$

## ۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در مرحله اول برای میکروکپسوله کردن از سه فاکتور A شامل غلظت صمغ عربی (۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹٪) و صمغ فارسی متناظر آن به ترتیب (۵، ۴، ۳، ۲، ۱٪)، فاکتور B شامل میزان درصد خلوص اتانول (۸۰، ۸۴، ۸۸، ۹۲، ۹۶٪) و فاکتور C شامل مقدار سلنیت سدیم (۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰، ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی) استفاده شد. ۲۲ تیمار به کمک روش سطح پاسخ تعیین شدند. برای تحلیل نتایج ۲۲ تیمار و انتخاب دو نمونه بهینه با کمک نرم افزار دیزاین اکسپرت طرح

مرکب مرکزی با دوتکرار و  $\alpha=2$  استفاده گردید. در مرحله دوم برای آزمون روغن، دو نمونه بهینه به همراه نمونه نمک سلنیت سدیم، نمونه دارای بوتیل هیدروکسی آنیزول و نمونه روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان در روزهای ۰، ۲۳ و ۴۶ ام نگهداری در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد با انجام آزمون‌های شیمیایی در ۳ تکرار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد، سپس تحلیل نتایج با کمک نرم افزار اس پی اس و مقایسه میانگین‌ها با ال اس دی در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام و رسم نمودارها به کمک نرم افزار اکسل صورت گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- مقادیر پاسخ‌های آزمون تعیین کارایی و

## اندازه میکروکپسول‌ها

رابطه تجربی، بین متغیرهای آزمایش و درصد کارایی کپسولاسیون و اندازه میکروکپسول‌ها به واسطه استفاده از روش سطح پاسخ به شرح زیر بدست آمد.

Table 1 The analysis of variance of encapsulation efficiency (%) of Na-selenite microcapsules

Variable sources	Coefficient	sum of squares	Degrees of freedom	average of squares	The value of F	Prob>F	
Model	-	3162.48	7	451.78	91.32	<0.0001	Significan
A-Arabic Gum	104.44562	2140.71	1	2140.71	432.72 ***	< 0.0001	
B-Alcohol	-0.47891	142.17	1	142.17	28.74 ***	< 0.0001	
C-Na-selenite	-0.5589	457.46	1	457.46	92.47 ***	< 0.0001	
AC	0.014109	127.41	1	127.41	25.57***	< 0.0001	
BC	$2.01 \times 10^{-3}$	41.44	1	41.44	8.38 **	0.008	
A <sup>2</sup>	1.955	163.07	1	163.07	32.96***	< 0.0001	
C <sup>2</sup>	$1.80 \times 10^{-5}$	22.08	1	22.08	4.46*	0.0452	
Residual	-	118.73	24	4.95	-	-	
Lack of Fit	-	62.45	7	8.92	2.69	0.055	Not
Pure Error	-	56.28	17	3.31	-	-	
Cor Total	-	3281.22	31	-	-	-	
R-Squared	0.9638						
Adj R-Squared	0.9533						

نتایج آماری مدل چند جمله‌ای درجه ۱ بر اساس سائز میکروکپسول‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق با این جدول، فاکتورهای تاثیرگذار روی سائز کپسول‌ها، صمغ عربی (A)، خلوص اتانول (B) و سلنیت سدیم (C) گزارش شد.

نتایج آماری مدل چند جمله‌ای درجه ۲ بر اساس کارایی کپسولاسیون در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق با این جدول، فاکتورهای تاثیرگذار روی کارایی کپسولاسیون صمغ عربی (A)، خلوص اتانول (B)، سلنیت سدیم (C) و اثرات AC، BC، A<sup>2</sup> و C<sup>2</sup> گزارش شد.

**Table 2** The analysis of variance of particle size ( $\mu\text{m}$ ) of Na-selenite microcapsules

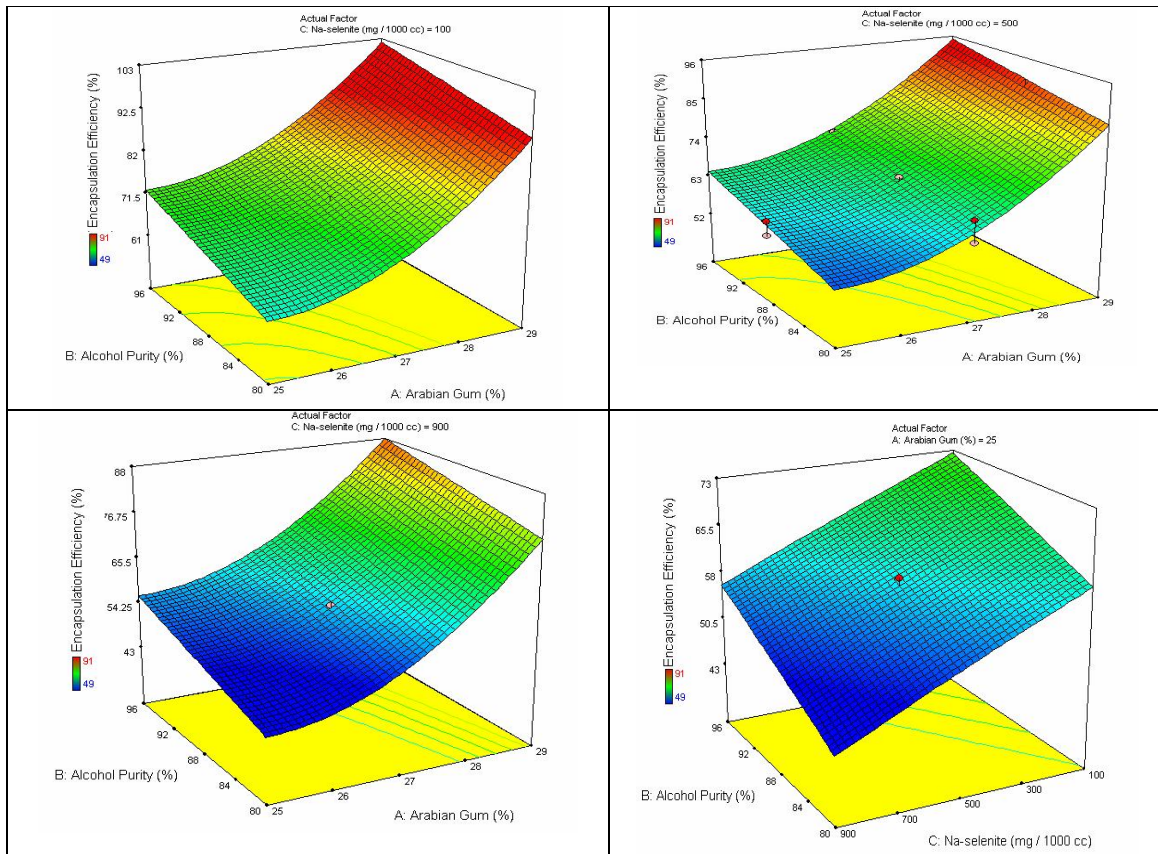
Variable sources	Coefficient	sum of squares	Degrees of freedom	average of squares	The value of F	Prob>F	
Model	-	9977.25	3	3325.75	263.8	<0.0001	Significant
A-Arabic Gum (%)	-2.53438	205.54	1	205.54	16.3***	0.0004	
B-Alcohol Purity (%)	-0.70986	257.99	1	257.99	20.46 ***	< 0.0001	
C-Na-selenite (mg/20cc)	+0.086212	9513.72	1	9513.72	754.62 ***	< 0.0001	
Residual	-	353	28	12.61	-	-	
Lack of Fit	-	142.16	11	12.92	1.04	0.4548	Not significant
Pure Error	-	210.84	17	12.4	-	-	
Cor Total	-	10330.25	31	-	-	-	
R-Squared	0.9658						
Adj R-Squared	0.9622						

می‌شود. درصد بالای صمغ فارسی در دیواره، کارایی کپسولاسیون را کاهش داد؛ زیرا این صمغ در غلظت‌های بالا ویسکوزیته ظاهری بالایی از خود نشان می‌دهد [۲۷]؛ به طوری که ویسکوزیته ظاهری در غلظت‌های کمتر از یک درصد ناچیز و در غلظت‌های بالاتر، ویسکوزیته افزایش می‌یابد؛ [۲۸] به عبارت دیگر مولکول‌ها در محلول رقیق هیدروکلوئید به صورت آزادانه و مستقل، بدون درگیری با یکدیگر در حال حرکت و جابجایی هستند [۲۹]. درحالی که در غلظت‌های بالا، تجمع مولکول‌ها و تعداد زیاد آن‌ها در واحد حجم باعث برخورد، درگیری و هم پوشانی آن‌ها با یکدیگر شده و همین امر باعث افزایش ویسکوزیته محلول می‌شود [۳۰]. ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ فارسی در غلظت یکسان، در مقایسه با صمغ عربی بیشتر است [۳۱] که این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت ساختار مولکولی این صمغ‌ها باشد به طوری که شکل مولکولی صمغ فارسی خطی و خشک است و سبب ایجاد ویسکوزیته بیشتر می‌شود همچنین ظرفیت جذب آب این صمغ بسیار زیاد است به طوری که منجر به تولید ژل یا محلول‌های با گرانروی بالا می‌گردد [۳۲]. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، افزایش غلظت صمغ فارسی در مقایسه با صمغ عربی، راندمان کپسولاسیون را کاهش می‌دهد. در پژوهشی فراسکالری و همکاران (۲۰۱۲) روغن قهوه را به روش خشک کن پاششی توسط صمغ عربی در نسبت‌های ۱ تا ۳۰ درصد ریزپوشانی کردند. بهترین حالت ریزپوشانی نسبت ۳۰ درصد، یعنی بالاترین حالت بود. از این پژوهش دریافتند که هر چه غلظت صمغ عربی (غلظت دیواره) افزایش یافت، راندمان ریزپوشانی روغن قهوه نیز افزایش یافت [۳۳]. همچنین

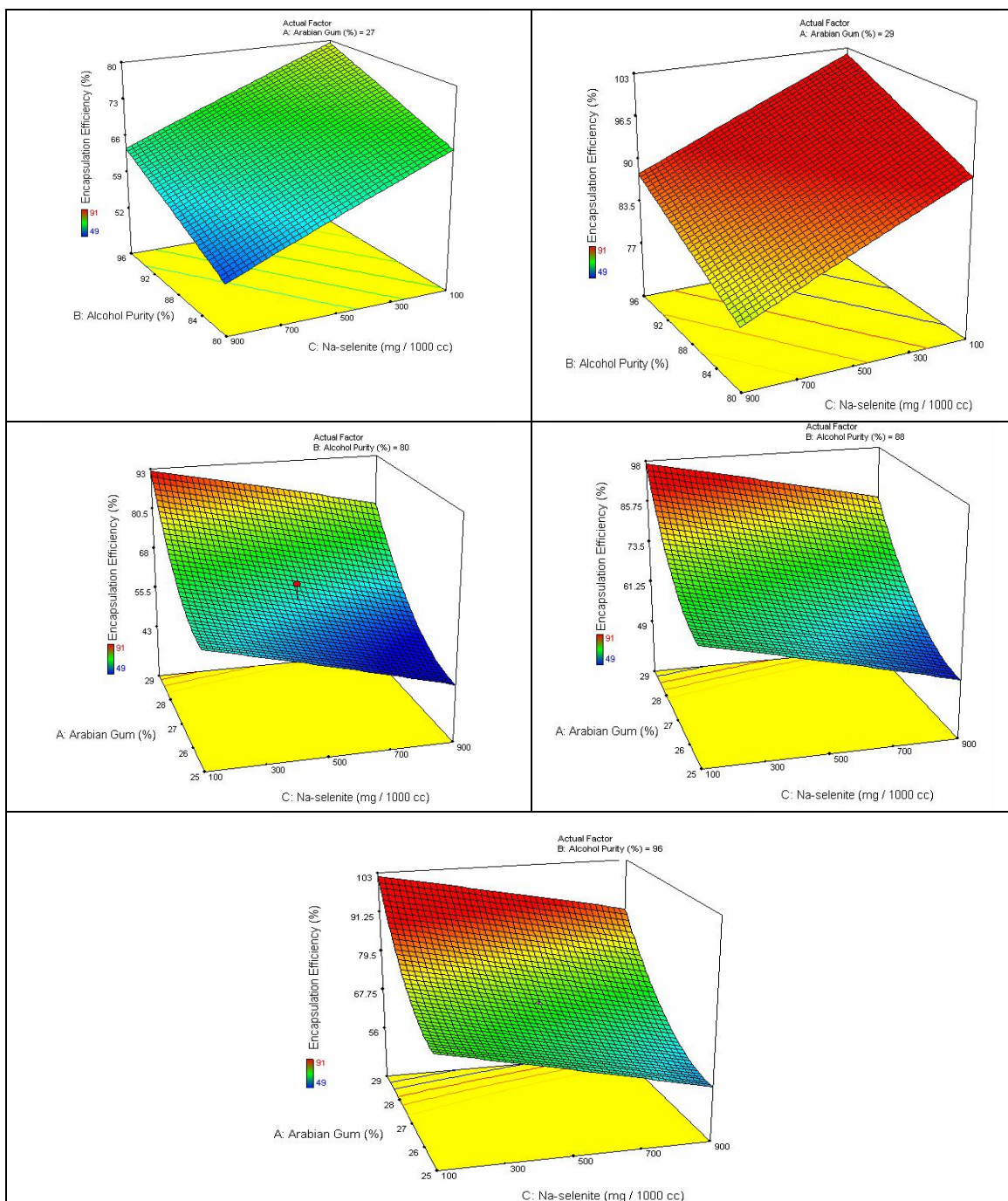
شکل (۱) و شکل (۲) بیانگر تاثیر سطوح مختلف فاکتورهای صمغ عربی، خلوص اتانول و مقدار سلنیت سدیم بر کارایی و سایز میکروکپسول هاست. مطابق با شکل (۱) تاثیر فاکتورهای سلنیت سدیم و خلوص اتانول در سطوح مختلف صمغ عربی (۲۵، ۲۷ و ۲۹٪) بر کارایی کپسولاسیون نشان داد که با افزایش غلظت صمغ عربی از ۲۵٪ به ۲۹٪ و کاهش غلظت صمغ فارسی در دیواره کپسول، کارایی کپسولاسیون افزایش یافت که احتمالاً دلیل این امر مربوط به یکسری خصوصیات ساختاری و ویژگی‌های منحصر به فرد این دو صمغ می‌باشد به طوری که علی و بلوندن (۲۰۰۹) و سارکار و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که صمغ عربی از متداول‌ترین مواد دیواره استفاده شده در میکروکپسول‌سازی است؛ زیرا دارای خصوصیاتی مانند چسبناکی پایین، قابلیت امولسیون‌کنندگی خوب، ایجاد پایداری بالا و تشکیل فیلم است. همچنین این صمغ دارای قابلیت بسیار خوب نگهداری مواد فرار و محافظت موثر در برابر اکسیداسیون است [۱۹ و ۲۰]. مادان و همکاران (۲۰۰۶) و مکنامی و همکاران (۱۹۹۸) صمغ عربی به دلیل خاصیت امولسیون‌کنندگی، ویسکوزیته پایین و قابلیت ایجاد پایداری بالا می‌تواند ماتریکس و ساختار قوی و محکمی را اطراف ماده مرکزی بوجود آورد علاوه بر این صمغ عربی دارای ساختار شاخه‌ای پیچیده‌ای است که باعث فشرده‌سازی ترکیب کروی می‌شود در نتیجه باعث افزایش راندمان کپسولاسیون می‌شود [۲۱ و ۲۲ و ۲۳] این صمغ به عنوان ماده میکروکپسول‌سازی جهت بهبود کارایی کپسولاسیون و خصوصیات اتصال به کار برده می‌شود [۲۵ و ۲۶]. بنابراین افزایش غلظت صمغ عربی باعث افزایش کارایی کپسولاسیون

اتانول بالاتر باشد، خاصیت جذب آب قوی‌تر و محیط مناسب‌تری برای دهیدراته‌سازی میکروکپسول‌ها بوجود می‌آید به طوری که زیلبربوم و همکاران (۱۹۸۶) گزارش کردند که خلوص بالاتر اتانول زمان دهیدراته‌سازی میکروکپسول‌ها را کاهش داده و در واقع با کوتاه کردن زمان ارتباط بین میکروکپسول و مایع دهیدراته کننده (اتانول)، باعث سریع خشک شدن میکروکپسول‌ها و تشکیل یک لایه محافظتی خشک می‌شود که از شسته شدن بیش از حد ماده‌ی مرکزی جلوگیری کرده و افزایش کارایی کپسولاسیون را در پی دارد؛ درحالی‌که کاهش در غلظت اتانول، باعث کاهش ظرفیت نگه‌داری میکروکپسول‌ها و کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود؛ زیرا غلظت پایین‌تر باعث رهاسازی کندتر آب از میکروکپسول‌ها و طولانی‌تر شدن زمان دهیدراته‌سازی می‌شود [۳۴].

گوپتا و همکاران به بررسی کپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین، نشاسته اصلاح شده و درصد‌های مختلف خلوص اتانول (۸۰٪، ۹۰٪ و اتانول مطلق) با استفاده از روش تبخیر حلال پرداختند. ترکیب صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت ۴:۱:۱ بالاترین کارایی و نسبت ۶:۰:۰ پایین‌ترین کارایی را برای میکروکپسول-سازی آهن نشان داد و راندمان با کاهش غلظت صمغ عربی به شدت کاهش یافت [۱۳]. مطابق با شکل (۱) تاثیر فاکتورهای صمغ عربی و سلنیت سدیم در سطوح مختلف خلوص اتانول (۸۰، ۸۸ و ۹۶٪) بر کارایی کپسولاسیون نشان داد که با افزایش درصد خلوص اتانول از ۸۰٪ به ۹۶٪، کارایی کپسولاسیون افزایش یافت؛ در واقع بالاترین میزان کارایی کپسولاسیون در بالاترین خلوص اتانول استفاده شده در این تحقیق (۹۶٪) مشاهده شد که احتمالاً دلیل این امر، خاصیت دهیدراته کنندگی اتانول می‌باشد که هر چه درصد خلوص







**Fig 1** The effect of different levels of gum Arabic, ethanol purity and sodium selenite on the efficiency of encapsulation

گوپتا و همکاران به بررسی کپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکستین، نشاسته اصلاح شده و درصد‌های مختلف خلوص اتانول (۸۰٪، ۹۰٪ و اتانول مطلق) با استفاده از روش تبخیر حلال پرداختند؛ آن‌ها مشاهده کردند که اتانول مطلق بالاترین کارایی کپسولاسیون را در مقایسه با اتانول‌های ۸۰٪ و ۹۰٪ نشان داد که برای تهیه میکروکپسول‌ها با بالاترین کارایی بین ۱:۵، ۱:۷/۵ و ۱:۱۰ متفاوت بود که نسبت ۱:۱۰

همچنین کاناکداند و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که در غلظت‌های پایین اتانول، دهیدراسیون میکروکپسول‌ها به کندی صورت می‌گیرد که این باعث تخریب تدریجی میکروکپسول‌ها و کاهش راندمان کپسولاسیون می‌شود. غلظت‌های پایین‌تر اتانول همچنین باعث تجمع ذرات به صورت توده متراکم و چسبناک می‌شود که کار فیلترسازی را نیز با مشکل مواجه کرده و کاهش کارایی کپسولاسیون را در پی دارد [۲۵]. در پژوهشی

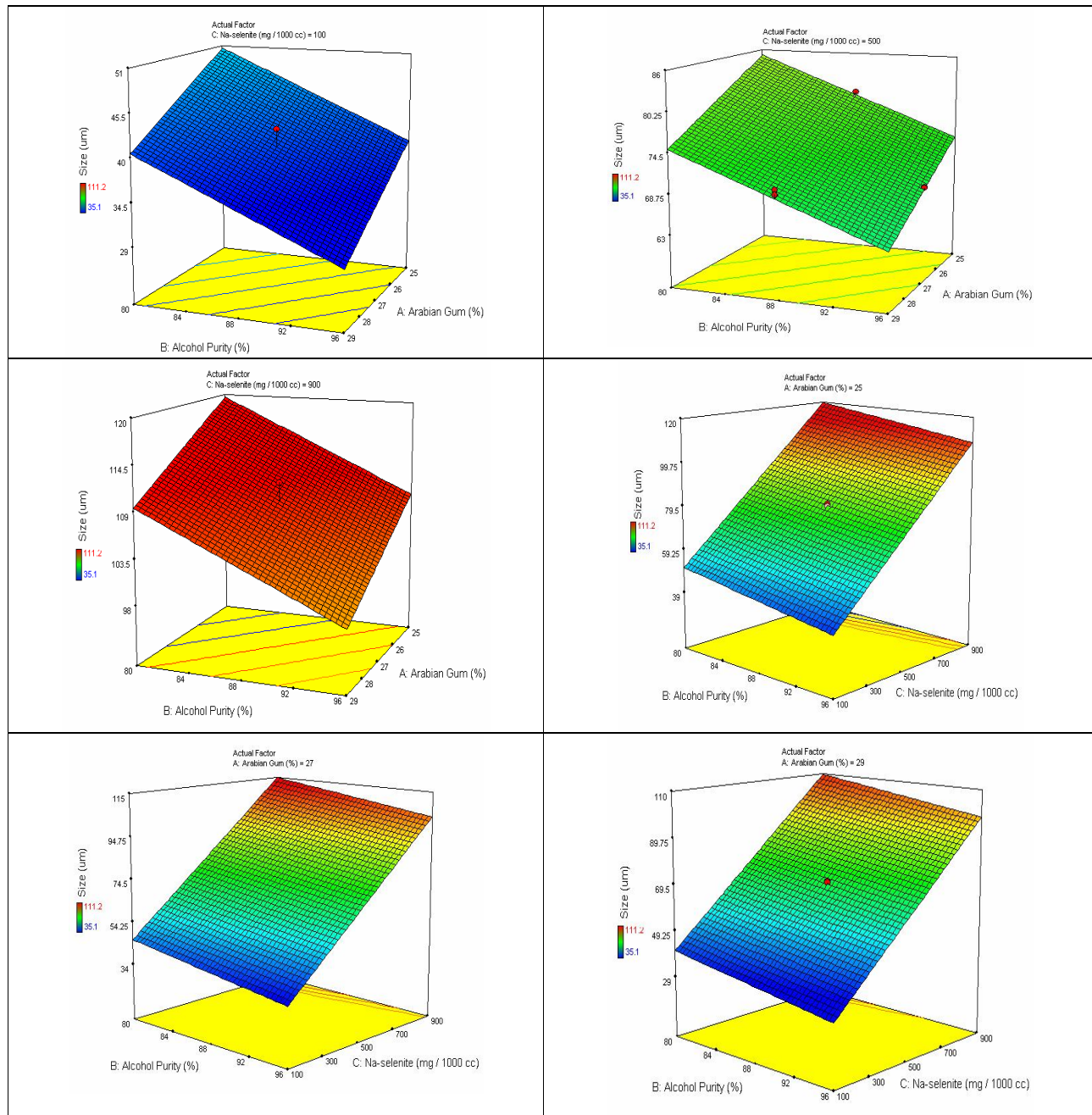
باعث ایجاد بالاترین کارایی شد (۹۱/۵۸٪) و راندمان کپسولاسیون با کاهش غلظت اتانول به شدت کاهش یافت. [۱۳]. همچنین زیلبرویم و همکاران گزارش کردند که نسبت اتانول به امولسیون پایین‌تر از ۱۰:۱ باعث کاهش کارایی نگهداری میکروکپسول‌ها می‌شود [۳۴]. چو و پارک (۲۰۰۳) نیز پارامترهای پروسه را برای چند روش امولسیون‌سازی با نسبت آب در روغن جهت کپسول‌سازی مطلوب مورد ارزیابی قرار دادند که بالاترین میزان کارایی (۷۱٪) در نسبت اتانول به ترکیب ۹:۱ به عنوان یک عامل دهیدراته‌سازی مشاهده شد [۳۵]. مطابق با شکل (۱) تاثیر فاکتورهای صمغ عربی و خلوص اتانول در سطوح مختلف سلنیت سدیم (۱۰۰، ۵۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی) بر کارایی کپسولاسیون نشان داد که با کاهش میزان سلنیت سدیم (ماده مرکزی)، کارایی کپسولاسیون افزایش یافت؛ در واقع بالاترین میزان کارایی کپسولاسیون در پایین‌ترین میزان غلظت سلنیت سدیم استفاده شده در این تحقیق (۱۰۰-۳۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی) مشاهده شد [۳۶ و ۳۵]. در کپسولاسیون نسبت وزنی ماده مرکزی به ماده دیواره باید متناسب باشد؛ زیرا در نسبت بالای ماده مرکزی به ماده دیواره، دیواره کپسول پاره و متلاشی می‌شود. با افزایش غلظت ماده مرکزی نسبت به ماده دیواره، ماده دیواره کافی برای کپسوله کردن ماده مرکزی وجود ندارد که این باعث کاهش تعداد کپسول‌ها و در نتیجه کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود [۳۷]. در نسبت‌های بالای ماده مرکزی به ماده دیواره، برای هر ذره ماده مرکزی توانایی محافظتی کمی وجود دارد که باعث کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود [۳۵]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علت کاهش کارایی کپسولاسیون با افزایش غلظت سلنیت سدیم همین بوده است. در پژوهشی گوپتا و همکاران به بررسی کپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین، نشاسته اصلاح شده و درصد‌های مختلف خلوص اتانول (۸۰٪، ۹۰٪ و اتانول مطلق) با استفاده از روش تبخیر حلال پرداختند. محتوای آهن در مقادیر ۳۰۰ (۶۰ میلی‌گرم آهن)، ۵۰۰ (۱۰۰ میلی‌گرم آهن)، ۸۰۰ (۱۶۰ میلی‌گرم آهن) و ۱۰۰۰ (۲۰۰ میلی‌گرم آهن) میلی‌گرم نمک آهن به ترکیب صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده افزوده شد و از نظر راندمان بررسی شدند، آنها مشاهده کردند که میکروکپسول‌های حاوی کمترین غلظت نمک آهن، یعنی ۳۰۰ میلی‌گرم، بالاترین کارایی را در مقایسه با دیگر

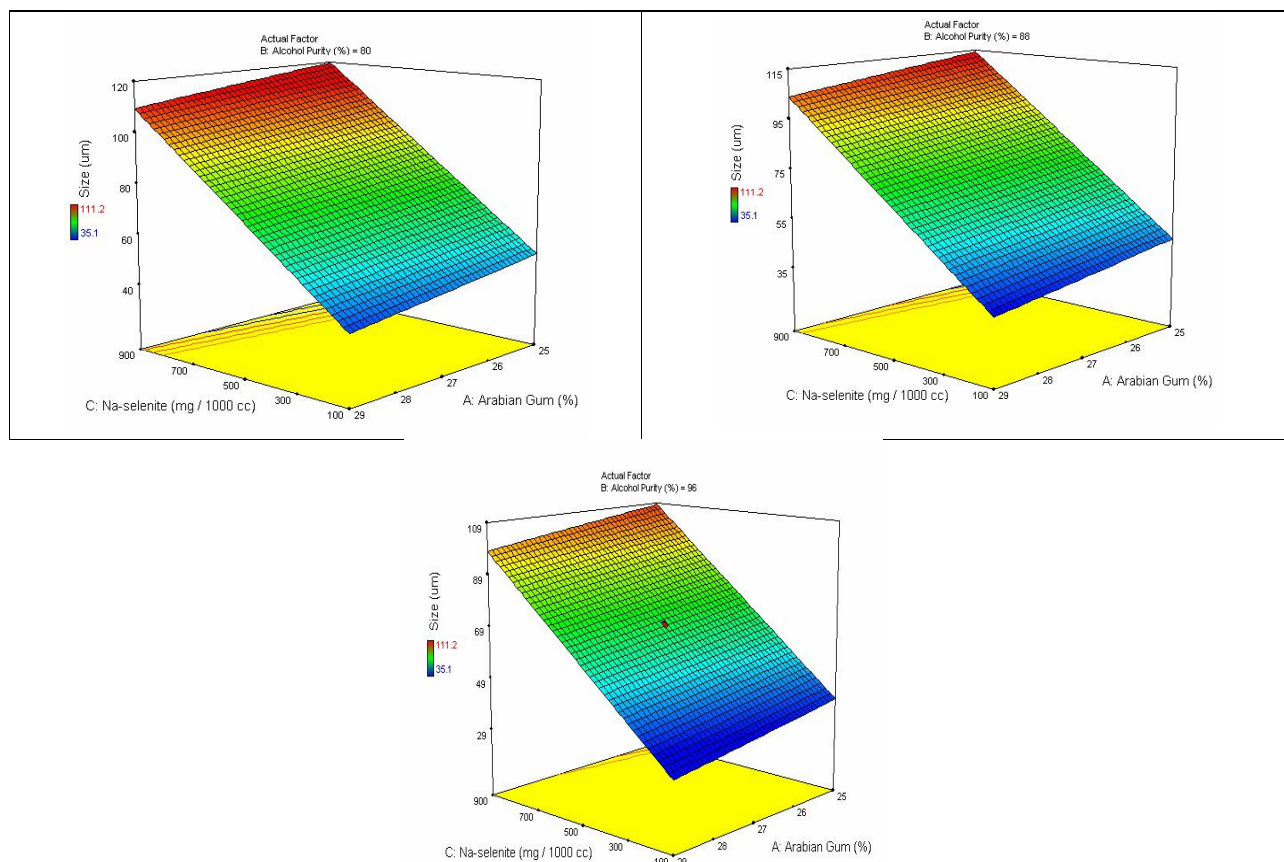
میکروکپسول‌ها داشت و کارایی کپسولاسیون با افزایش غلظت نمک آهن به شدت کاهش پیدا کرد [۱۳]. همچنین آکدنیز و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر مواد دیواره در نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (۲:۸، ۴:۶ و ۱۰:۱) و نسبت‌های مختلف ماده مرکزی به ماده دیواره (۱:۱۰ و ۱:۲۰) در کپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی پوسته‌ی پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که نسبت ماده مرکزی به ماده دیواره ۱:۲۰ کارایی کپسولاسیون بالاتری نسبت به ماده مرکزی به ماده دیواره ۱:۱۰ داشت [۳۶]. مطابق با شکل (۲) تاثیر فاکتورهای سلنیت سدیم و خلوص اتانول در سطوح مختلف صمغ عربی (۲۵، ۲۷ و ۲۹٪) بر سائز کپسول‌ها نشان داد که در هر غلظت از سلنیت سدیم، با افزایش درصد خلوص اتانول، سائز کپسول‌ها کاهش، و در هر سطح از خلوص اتانول، با کاهش مقدار سلنیت سدیم، سائز کپسول‌ها کاهش یافت. کوچکترین سائز کپسول‌ها مربوط به سلنیت سدیم به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی و خلوص اتانول ۹۶٪ و بزرگترین سائز کپسول‌ها مربوط به سلنیت سدیم به میزان ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی و خلوص اتانول ۸۰٪ بود. به طور کلی با افزایش مقدار صمغ عربی از ۲۵٪ به ۲۹٪ سائز کپسول‌ها کاهش یافت. می‌توان بیان کرد که کاهش در سائز میکروکپسول‌ها با افزایش غلظت صمغ عربی در دیواره، به دلیل خصوصیات و ساختار پیچیده‌ی این صمغ می‌باشد که باعث فشرده‌سازی ترکیب کروی و ایجاد پایداری بالا می‌شود [۲۴]. که در این حالت با حداکثر توانایی، محافظت از ذرات در برابر تجمع و بهم چسبیدن را در طی فرآیند کپسولاسیون اعمال می‌نماید [۳۷ و ۳۸]؛ در صورتی که افزایش غلظت صمغ فارسی در دیواره به علت ظرفیت جذب آب بالا و قابلیت تولید ژل، باعث متورم شدن میکروکپسول‌ها و افزایش سائز آن‌ها می‌گردد [۳۳].

در پژوهشی کلیک و همکاران به بررسی میکروکپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی تفاله‌ی آلبالو توسط نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (۴:۶، ۲:۸ و ۱۰:۱۰) پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ عربی در دیواره سائز کپسول‌ها کاهش یافت به طوری که نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین ۱۰:۱۰ کمترین سائز کپسول و نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین ۴:۶ بیشترین سائز کپسول را داشت [۳۹]. حسین زاده و همکاران (۲۰۱۶) در طی تحقیقی به ریزپوشانی

بر پوشش دهی روغن نعناع بررسی شد) و توسط خشک کن پاششی با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت ماده دیواره از ۱۰٪ به ۳۰٪ اندازه ذرات از ۳/۳ به ۱/۶ میکرومتر کاهش یافت [۴۰].

روغن نعناع به روش خشک کردن پاششی پرداختند. به این منظور امولسیون شامل ۲/۵ درصد روغن نعناع و ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی/ وزنی ماده دیواره شامل مالتودکستروزین: صمغ عربی به نسبت ۱:۱ آماده (تاثیر غلظت‌های مختلف ماده دیواره





**Fig 2** The effect of different levels of gum Arabic, ethanol purity and sodium selenite on the efficiency and size of encapsulation

خلوص اتانول (۸۰، ۸۸، ۹۶٪) بر سایز کپسول‌ها نشان داد که در هر سطح صمغ عربی، با کاهش مقدار سلنیت سدیم، سایز کپسول‌ها کاهش، و در هر سطح سلنیت سدیم، با افزایش درصد صمغ عربی و کاهش درصد صمغ فارسی، سایز کپسول‌ها کاهش یافت. کوچکترین سایز کپسول‌ها مربوط به سلنیت سدیم به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی و صمغ عربی به میزان ۲۹٪ و بزرگترین سایز کپسول‌ها مربوط به سلنیت سدیم به میزان ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی و صمغ عربی به میزان ۲۵٪ بود. به طور کلی با کاهش درصد خلوص اتانول، سایز کپسول‌ها افزایش یافت که این افزایش احتمالاً مربوط به تضعیف خاصیت دهیدراته‌سازی اتانول می‌باشد به طوری که زیلبرویوم و همکاران (۱۹۸۶) گزارش کردند که غلظت‌های پایین‌تر اتانول باعث متوقف شدن یا طولانی شدن زمان دهیدراسیون می‌شود در نتیجه رهاسازی آب از ساختار میکروکپسول‌ها متوقف و یا کند شده که این مسئله باعث حفظ آب در ساختار میکروکپسول‌ها و در نتیجه متورم شدن آن‌ها

همچنین خان محمدی و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه کپسوله کردن روغن سبوس برنج در نسبت‌های مختلف صمغ عربی و پروتئین آب پنیر و مقادیر مختلف روغن پرداختند. سایز قطرات امولسیون‌های امولسیون‌های هموژنیزه شده با استفاده از دستگاه نانو‌سایزر اندازه‌گیری شد و اندازه قطرات امولسیون‌های حاضر در حد نانو بوده و کمترین آن‌ها مربوط به صمغ عربی بود. همچنین در رابطه با اندازه‌های بدست آمده از پودرهای خشک کن پاششی و انجمادی قطر میکروکپسول‌های بدست آمده از خشک کن انجمادی بزرگتر بودند و تا ۶۰ میکرومتر رسیدند و پودرهای خشک کن پاششی کوچکتر بوده و اندازه حدود ۴ تا ۸ میکرومتر داشتند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت ترکیب دیواره از ۲۰ به ۲۵٪، اندازه ذرات پودرهای ریزپوشانی شده با صمغ عربی و پروتئین آب پنیر در امولسیون با ترکیب دیواره حاوی ۱۰۰ درصد صمغ عربی، به ۰/۳۶ میکرومتر کاهش یافت [۴۱]. مطابق با شکل (۲) تاثیر فاکتورهای صمغ عربی و سلنیت سدیم در سطوح مختلف

می‌شود؛ بنابراین افزایش سایز میکروکپسول‌ها را در پی دارد. به علاوه غلظت‌های پایین‌تر اتانول، باعث تجمع ذرات به صورت توده متراکم و چسبناک شده و ذرات به هم متصل می‌شوند و میکروکپسول‌هایی با سایز بزرگ‌تر ایجاد می‌شود در صورتی که غلظت‌های بالاتر اتانول، محیط مناسبی را برای دهیدراسیون میکروکپسول‌ها فراهم می‌کند و باعث دهیدراسیون سریع‌تر و کاهش محتوای آب از ساختار میکروکپسول‌ها بدون اثرگذاری بر ساختار آن‌ها می‌شود که این مسئله باعث سریع خشک شدن میکروکپسول‌ها و تشکیل یک لایه‌ی محافظتی خشک بر روی سطح میکروکپسول‌ها می‌شود. همچنین اتانول در غلظت‌های بالا، مانع ایجاد چسبندگی در محیط دهیدراته‌سازی میکروکپسول‌ها شده و از تجمع ذرات به صورت توده متراکم و افزایش سایز میکروکپسول‌ها جلوگیری می‌کند [۳۴]. در پژوهشی گویتا و همکاران به بررسی میکروانکپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از درصد‌های مختلف خلوص اتانول (۸۰٪، ۹۰٪ و اتانول مطلق) به کمک روش تبخیر حلال پرداختند، اندازه‌گیری ذرات با میکروسکوپ نوری وارونه انجام شد و استفاده از اتانول مطلق کوچکترین سایز ذرات را بدست داد که در طیف ۶/۸۴ تا ۳۳/۴۲ میکرومتر بود [۱۳]. همچنین زیلبرویم و همکاران (۱۹۸۶) به بررسی میکروکپسول‌های پاپریکا اولئورزین و استرهای آروماتیک به روش دهیدراسیون سرد (استفاده از مایع دهیدراته کننده) پرداختند. بر اساس نتایج، سایز میکروکپسول‌های امولسیون ۲۰٪ اتیل کاپریلات با ۴۰٪ صمغ عربی به عنوان ماده دیواره در اتانول ۱۰۰٪، ۵۰ میکرومتر بود [۳۴]. مطابق با شکل (۲) تاثیر فاکتورهای صمغ عربی و خلوص اتانول در سطوح مختلف سلنیت سدیم (۱۰۰، ۵۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی) بر سایز کپسول‌ها نشان داد که در هر سطح از صمغ عربی، با افزایش درصد خلوص اتانول، سایز کپسول‌ها کاهش، و در هر سطح از خلوص اتانول، با افزایش مقدار صمغ عربی، سایز کپسول‌ها کاهش یافت. کوچکترین سایز کپسول‌ها مربوط به خلوص اتانول ۹۶٪ و صمغ عربی ۲۹٪ و بزرگترین سایز کپسول‌ها مربوط به خلوص اتانول ۸۰٪ و صمغ عربی ۲۵٪ بود. به طور کلی با افزایش مقدار سلنیت سدیم (ماده مرکزی) از ۱۰۰ به ۹۰۰ میلی‌گرم در ۲۰ سی‌سی سایز کپسول‌ها افزایش یافت؛ زیرا با افزایش غلظت ماده

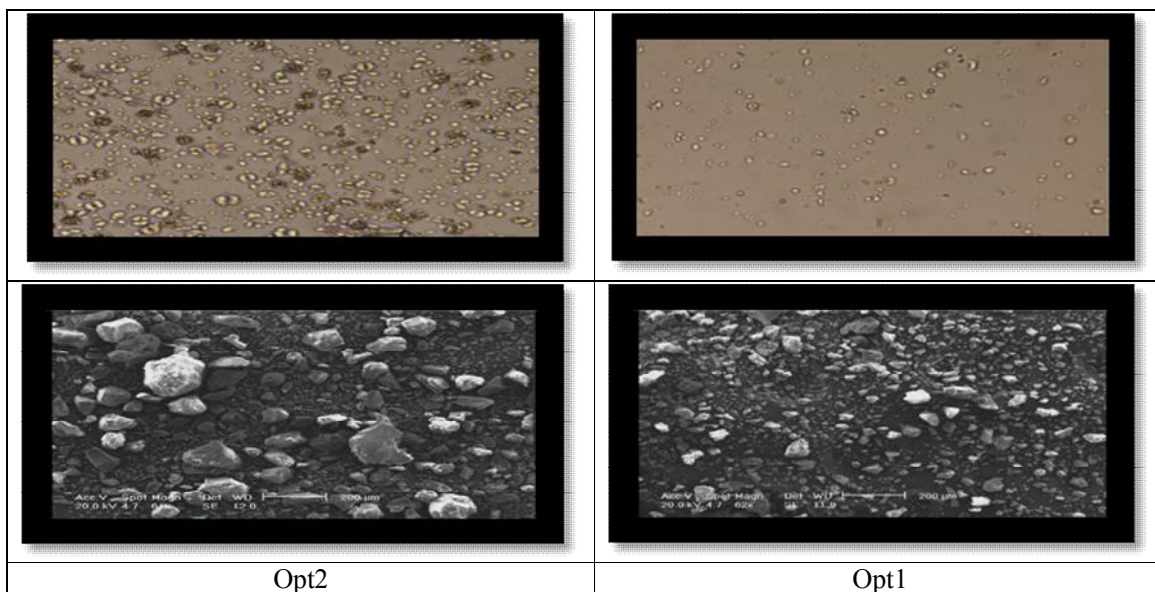
مرکزی، مواد دیواره کافی برای احاطه کردن ماده مرکزی وجود نداشته، در نتیجه باعث اتصال ذرات به یکدیگر و افزایش سایز میکروکپسول می‌شود [۳۷]. در پژوهشی آکدنیز و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثر مواد دیواره در نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (۸:۲، ۸:۴ و ۱۰:۰) و نسبت‌های مختلف ماده مرکزی به ماده دیواره (۱:۲۰ و ۱:۱۰) در کپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی پوسته‌ی پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که در نسبت ماده مرکزی به ماده دیواره ۱:۲۰ کمترین سایز کپسول (۷ میکرومتر) و نسبت ماده مرکزی به ماده دیواره ۱:۱۰ بزرگترین سایز کپسول (۱۴ میکرومتر) را داشت [۳۷]. در پژوهشی دیگر جعفری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی نانوریزپوشانی اسید چرب امگا-۳ به عنوان ماده مرکزی در غلظت (۱۰ تا ۳۰ درصد)، صمغ عربی و ژلاتین ماهی به عنوان مواد دیواره (۳۳ تا ۶۶ درصد) و سرعت هموژنایزر در سه سطح (۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰ دور بر دقیقه) پرداختند. نتایج نشان داد در تیمارهایی که غلظت مواد دیواره (ژلاتین و صمغ عربی) ثابت بود، با افزایش سرعت هموژنایزر و همچنین افزایش غلظت ماده مرکزی (اسید چرب امگا-۳) از ۱۰ درصد به ۳۰ درصد منجر به افزایش سایز ذرات از  $114/5 \pm 16/9$  نانومتر به  $617/4 \pm 167/1$  نانومتر شد [۴۲]. همچنین چوئی و همکاران (۲۰۱۰) بتاسیکلودکسترین و پلیکاپرولاکتون را به عنوان ماده دیواره به منظور ریزپوشانی روغن ماهی مورد استفاده قرار دادند. بر اساس مطالعه انجام شده غلظت ماده مرکزی (روغن ماهی) تاثیر قابل توجهی در اندازه ذرات داشته است؛ به طوری که با افزایش غلظت ماده مرکزی اندازه ذرات افزایش یافته است [۱].

شکل ظاهری و سایز ذرات میکروکپسول‌ها: خصوصیات مورفولوژی ظاهری میکروکپسول‌های سلنیت سدیم در هر دو نمونه بهینه یک و دو ساختار نسبتاً مدور با حداقل ترک‌ها را نشان داد (شکل ۳). شکل مدور باعث به حداکثر رسیدن پایداری میکروکپسول‌ها می‌گردد زیرا در این حالت نسبت حجم به سطح به حداقل می‌رسد [۱۳].

آهنگران و همکاران (۱۳۹۴) طی تحقیقی به بررسی کپسوله کردن مواد با دیواره پلی‌متیل متاکریلات به روش تبخیر حلال پرداختند و شاهد کپسول‌های کروی با سطح نرم بودند [۳۶]. در پژوهشی گویتا و همکاران (۲۰۱۵) با کپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با

ترکیب دیواره صمغ عربی و مالتودکسترین مورد بررسی قرار دادند و شاهد میکروکپسول‌هایی با ساختار کروی با سطح نرم با حداقل ترک بودند [۴۰].

استفاده از روش تبخیر حلال، میکروکپسول‌های آهن با ساختار نسبتاً مدور با حداقل ترک‌ها را مشاهده کردند که این امر بستگی به سطح دارد [۱۳]. حسین زاده و همکاران (۲۰۱۶) انکپسولاسیون روغن نعناع به روش خشک کن پاششی را با



**Fig 3** Optical microscope (top) and electron microscope (bottom) images for the first and the second optimal samples

فاقد آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم در روز ۲۳ بود که تفاوت معنی‌داری داشتند و این افزایش در مقدار پراکسید را می‌توان به تشکیل هیدروپراکسیدها نسبت داد. در روز ۴۶ پس از بهینه ۱ به ترتیب تیمارهای بهینه ۲ و بوتیل هیدروکسی آنیزول کمترین میزان پراکسید را به خود اختصاص دادند که میان این تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در روز پایانی آزمایش، بهینه ۲ از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به خوبی توانسته با بوتیل هیدروکسی آنیزول رقابت کند ولی بهینه ۱ اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری از خود نشان داد.

شهیدی و همکاران (۲۰۰۲) در طی پژوهشی عصاره متانولی کیک کنجد در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۵، ۱۰۰ پی پی ام و بوتیل هیدروکسی آنیزول و ترشیری بوتیل هیدروکسی کونون در غلظت ۲۰۰ پی پی ام را به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان افزوده و در طی ۱۵ روز در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، عدد پراکسید آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثر آنتی‌اکسیدانی تمام غلظت‌های عصاره بهتر از بوتیل هیدروکسی آنیزول عمل کرد ولی ترشیری بوتیل هیدروکسی کونون تاثیر بهتری از خود نشان داد [۴۳].

همچنین فراسکالری و همکاران (۲۰۱۲) روغن قهوه را به روش خشک کن پاششی توسط صمغ عربی در نسبت‌های ۱۰ تا ۳۰ درصد ریزپوشانی کردند. بهترین حالت ریزپوشانی نسبت ۳۰ درصد بود و پودرهای تولید شده ساختاری کروی و نرم داشتند. از دلایل تفاوت در شکل میکروکپسول‌ها در کارهای مشابه، شاید به دلیل تفاوت در روش کپسوله‌کردن در تمامی این روش‌ها باشد، که روش خشک کردن انجمادی در مقایسه با خشک کردن پاششی باعث ایجاد اشکال نامنظم و بدون شکل خاصی می‌گردد ولی در خشک کردن پاششی اشکال کروی شکل می‌گیرد [۳۳].

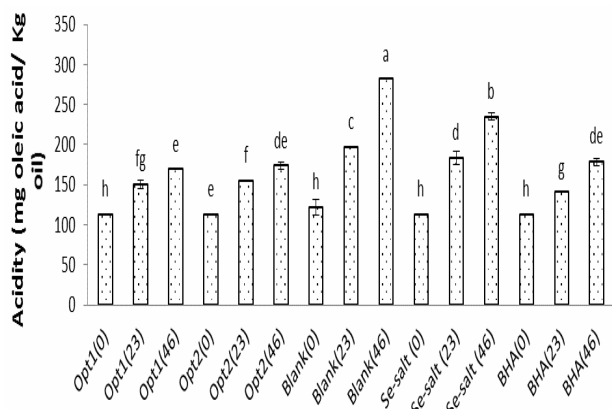
### ۳-۲- اثر متقابل تیمار در زمان بر ویژگی‌های

#### کیفی روغن سویا

#### ۳-۲-۱- عدد پراکسید

با توجه به شکل (۴) تغییرات عدد پراکسید روغن سویا در تمامی تیمارها از روز ۰ تا ۲۳ روند افزایشی و از روز ۲۳ تا ۴۶ روند کاهشی نشان داد. به طور کلی کمترین میزان عدد پراکسید مربوط به تمامی تیمارها در روز صفر بود که تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین میزان مربوط به تیمار شاهد

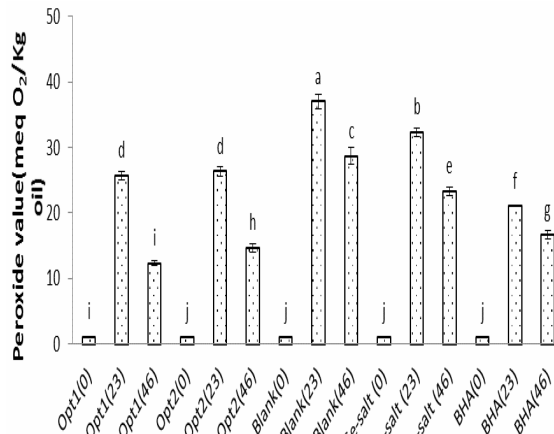
به طور کلی کمترین میزان اسیدیته مربوط به تمامی تیمارها در روز صفر بود که تفاوت معنی‌داری میان شاهد با تیمارها مشاهده نشد و بیشترین میزان مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی-اکسیدان و نمک سلنیت سدیم در روز ۴۶ بود که تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در روز ۴۶ پس از بهینه ۱ به ترتیب تیمارهای بهینه ۲ و بوتیل هیدروکسی آنیزول کمترین میزان اسیدیته را به خود اختصاص دادند که میان این تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بهینه ۲ از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به خوبی توانست با تیمار بوتیل هیدروکسی آنیزول رقابت کند ولی بهینه ۱، از نظر میزان، اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری از خود نشان داد و در حفظ خصوصیات کیفی روغن موثرتر واقع شد.



**Fig 5** Interaction of treatment-time on soybean oil acidity number

Optimal formula 1: (107 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Optimal formula 2: (307 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Treatment Blank: soybean oil without antioxidants  
 Se-salt treatment: Sodium selenite salt with a concentration of 8.6 ppm  
 BHA treatment: Antioxidant butyl hydroxyl anisole with a concentration of 200 ppm

در پژوهشی فدوی و کوهساری (۲۰۱۵) با بررسی روغن سویا پس از افزودن عصاره‌های برگ سبز و سیاه شده پرتقال در غلظت‌های ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام در روغن تصفیه شده بدون آنتی‌اکسیدان در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و پس از انبارداری به مدت یک ماه نشان داده شد که اسیدیته تمامی تیمارها در مدت نگهداری افزایش می‌یابد و عصاره‌ها توانایی جلوگیری از افزایش اسیدیته را دارند [۱۲]. در تحقیقی انوشیروانی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که عصاره و پوست سبز گردو به روغن در طول دوره ۱۵ روزه، تاثیر بازدارنده‌ای



**Fig 4** Interaction of treatment-time on soybean oil peroxide content

Optimal formula 1: (107 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Optimal formula 2: (307 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Treatment Blank: soybean oil without antioxidants  
 Se-salt treatment: Sodium selenite salt with a concentration of 8.6 ppm  
 BHA treatment: Antioxidant butyl hydroxyl anisole with a concentration of 200 ppm

لافکا و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه بر اثر ترکیبات فنولیک موجود در مواد طبیعی مختلف، اثر قابل توجه این مواد را بر ممانعت از اکسیداسیون روغن و کاهش عدد پراکسید، نسبت به نمونه‌ی شاهد گزارش کرده‌اند [۴۴]. رحمان و همکاران (۲۰۰۴) ۱۶۰۰ و ۲۴۰۰ پی‌پی‌ام عصاره‌ی پوست سیب‌زمینی استخراج شده با پترولیوم اتر را به روغن سویا اضافه کردند و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ روز نگهداری کردند. بعد از ۶۰ روز نمونه‌های حاوی عصاره پوست سیب-زمینی عدد پراکسید کمتری نسبت به نمونه شاهد نشان دادند آن‌ها عصاره پوست سیب‌زمینی را یک آنتی‌اکسیدان قوی معادل آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی (بوتیل هیدروکسی آنیزول) معرفی کردند [۴۵]. در پژوهشی دیگر جلالی زند و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی سلنیت سدیم بر روغن سویا پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که دو نمونه بهینه اثر آنتی‌اکسیدانی بیشتر نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند [۴۶].

### ۳-۲-۲-۳-اسیدیته

با توجه به شکل (۵) به طور کلی تغییرات اسیدیته روغن سویا در تمامی تیمارها روند افزایشی داشت که این افزایش در میزان اسیدیته را می‌توان به تشکیل اسیدهای چرب آزاد نسبت داد.

جلالی زند و همکاران (۲۰۲۱) در طی پژوهشی خواص آنتی‌اکسیدانی سلنیت سدیم کپسوله‌شده در روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان مورد بررسی قرار گرفت و نمونه‌های بهینه با نمونه‌های شاهد مقایسه شدند. نتایج نشان داد که نمونه‌های بهینه خواص آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند و اسید تیوباربتوریک کمتری را نشان دادند [۴۸]. محمدی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی عصاره گیاه بیلهر و کاربرد آن در روغن سویا پرداختند. نتایج مقایسه تغییرات عدد تیوباربتوریک اسید در همه نمونه‌های حاوی عصاره (۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام)، آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و ترشیاری بوتیل هیدروکسی کوبنون (۲۰۰ پی‌پی‌ام) و نمونه شاهد نشان داد که پس از نمونه شاهد بیشترین مقدار عدد تیوباربتوریک اسید متعلق به تیمارهای ۲۰۰-تی (روغن سویا حاوی ۲۰۰ پی‌پی‌ام عصاره اتانولی بیلهر) و ۵۰۰-تی (روغن سویا حاوی ۵۰۰ پی‌پی‌ام عصاره اتانولی بیلهر) بود که از این نظر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و کمترین مقدار عدد تیوباربتوریک اسید مربوط به ۲۰۰-ترشیاری بوتیل هیدروکسی کوبنون (روغن سویا حاوی ۲۰۰ پی‌پی‌ام ترشیاری بوتیل هیدروکسی کوبنون) بود [۴۹]. در پژوهشی دیگر گلی و همکاران (۲۰۰۵) غلظت‌های مختلف ترکیبات فنولیک موجود در پوست پسته را در مقایسه با آنتی-اکسیدان‌های سنتزی در روغن سویا بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف ترکیبات فنولیک قادرند به خوبی روند اکسیداسیون را کند نمایند و اثر عصاره‌ها در غلظت ۶۰۰ پی پی ام را مشابه اثر آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی در غلظت ۲۰۰ پی پی ام دانستند [۵۰].

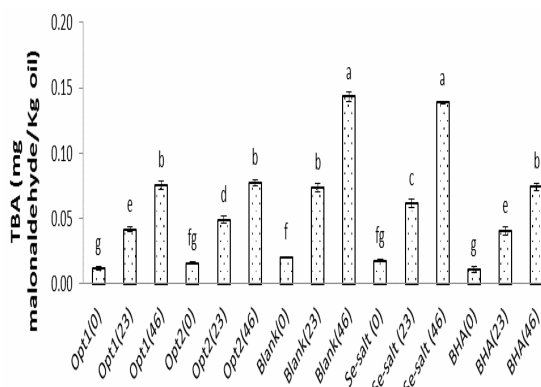
### ۳-۲-۴- آنیزیدین

با توجه به شکل (۷) تغییرات عدد آنیزیدین روغن سویا در تمامی تیمارها روند افزایشی داشت که این افزایش بیانگر گسترش واکنش اکسایش خودبه‌خودی و افزایش محصولات ثانویه حاصل از تجزیه هیدروپراکسیدها و ترکیب‌های کربونیل‌دار با گذشت زمان می‌باشد. به طور کلی کمترین میزان آنیزیدین مربوط به تیمارهای بهینه ۱، بهینه ۲ و بوتیل هیدروکسی آنیزول در روز صفر بود که تفاوت معنی‌داری میان تیمارها مشاهده شد و بیشترین میزان این اندیس مربوط به تیمارهای شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم در

بر تغییر اندیس اسیدی نداشته و با افزایش غلظت عصاره، عدد اسیدی افزایش یافته است. به طوریکه نمونه‌ی حاوی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام عصاره، بیشترین عدد اسیدی را در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان می‌دهد [۴۷].

### ۳-۲-۳- تیوباربتوریک اسید

با توجه به شکل (۶) افزایش مداومی در میزان اندیس تیوباربتوریک اسید روغن سویا با افزایش دوره‌ی نگهداری برای همه‌ی تیمارها مشاهده شد که علت آن تجزیه پراکسیدها به مالون آلدئید می‌باشد. به طور کلی کمترین میزان تیوباربتوریک اسید مربوط به تمامی تیمارها در روز صفر بود که میان تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد و بیشترین میزان مربوط به تیمارهای شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم در روز ۴۶ بود که تفاوت بین این دو تیمار معنی‌دار نبود. در روز ۴۶، تیمارهای بهینه ۱، بهینه ۲ و بوتیل هیدروکسی آنیزول کمترین میزان این اندیس را به خود اختصاص دادند که تفاوت معنی‌داری میان این تیمارها مشاهده نشد. همچنین تیمارهای بهینه ۱ و بهینه ۲ عدد تیوباربتوریک اسید کمتری نسبت به نمک سلنیت سدیم داشتند. تیمارهای بهینه ۱ و بهینه ۲ از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی مشابه با تیمار حاوی بوتیل هیدروکسی آنیزول عمل کردند.



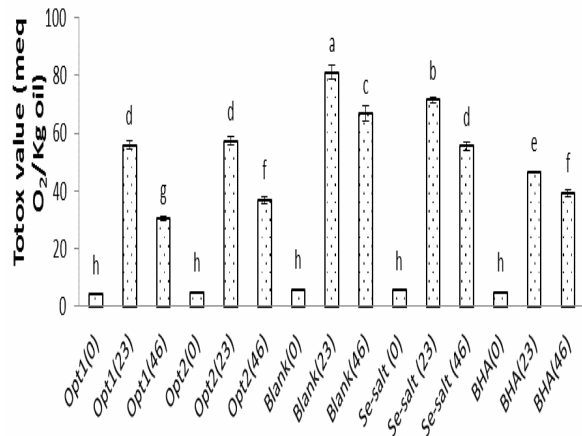
**Fig 6** Interaction of treatment-time on thiobarbituric acid number of soybean oil  
 Optimal formula 1: (107 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Optimal formula 2: (307 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Treatment Blank: soybean oil without antioxidants  
 Se-salt treatment: Sodium selenite salt with a concentration of 8.6 ppm  
 BHA treatment: Antioxidant butyl hydroxyl anisole with a concentration of 200 ppm



سویا در طی ۱۳ روز نگهداری در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به نمونه‌ی شاهد و نمونه حاوی آنتی‌اکسیدان سنتزی ترشیاری بوتیل هیدروکسی کوبنون تاثیر بهتری داشتند [۵۲].

### ۳-۲-۵-توتوکس

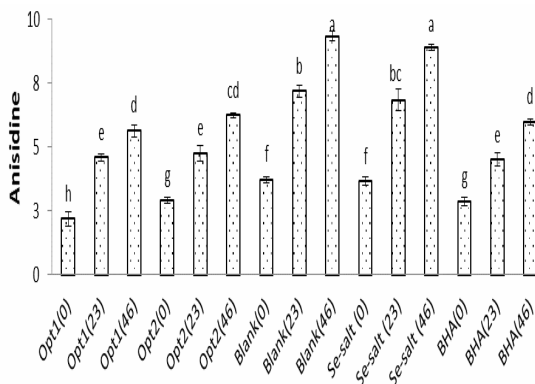
با توجه به شکل (۸) نتایج این شاخص، بسیار نزدیک به نتایج پراکسید است به طوری که تغییرات عدد توتوکس در روغن سویا در تمامی تیمارها، از روز ۰ تا ۲۳، روند افزایشی و از روز ۲۳ تا ۴۶، روند کاهشی در پی داشت. بالاتر بودن عدد توتوکس در روز ۲۳ نسبت به روز ۴۶ را می‌توان به وقوع مایلارد در دمای بالا و زمان طولانی نسبت داد. به طور کلی کمترین میزان عدد توتوکس مربوط به تمامی تیمارها در روز صفر بود که تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تیمارهای شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و نمک سلنیت سدیم بیشترین میزان را در روز ۲۳ به خود اختصاص دادند که تفاوت معنی‌دار داشتند. در روز ۴۶، بهینه‌۱ عدد توتوکس کمتری نشان داد و تفاوت میان بهینه‌۲ با بوتیل هیدروکسی آنیزول معنی‌دار نبود. بهینه‌۲ از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به خوبی توانسته با بوتیل هیدروکسی آنیزول رقابت کند ولی بهینه‌۱ در کاهش تولید محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون، موثرتر بوده است.



**Fig 8** Treatment-time interaction on soybean oil tottox number

Optimal formula 1: (107 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Optimal formula 2: (307 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Treatment Blank: soybean oil without antioxidants  
 Se-salt treatment: Sodium selenite salt with a concentration of 8.6 ppm  
 BHA treatment: Antioxidant butyl hydroxyl anisole with a concentration of 200 ppm

روز ۴۶ بود که تفاوت میان این دو تیمار معنی‌دار نبود. در روز ۴۶، تیمارهای بهینه‌۱، بهینه‌۲ و بوتیل هیدروکسی آنیزول کمترین میزان آنیزیدین را به خود اختصاص دادند که تفاوت معنی‌داری میان آن‌ها مشاهده نشد و بهینه‌۱ عدد آنیزیدین کمتری نشان داد. بهینه‌۲ از نظر اثر آنتی‌اکسیدانی نزدیک به تیمار بوتیل هیدروکسی آنیزول عمل کرد ولی بهینه‌۱ از نظر میزان، تاثیر بهتری روی کاهش فرم کربونیل و در نتیجه کاهش عدد آنیزیدین داشت.

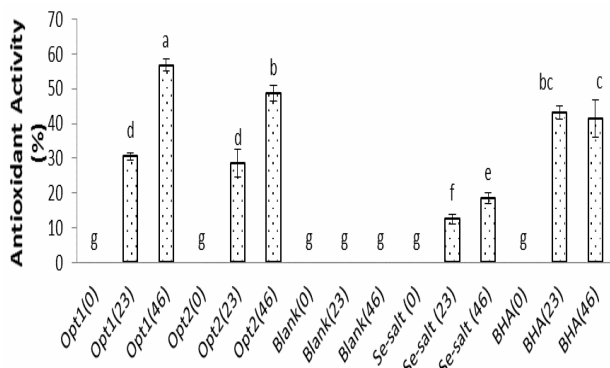


**Fig 7** Interaction of treatment-time on soybean oil anisidine content

Optimal formula 1: (107 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Optimal formula 2: (307 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Treatment Blank: soybean oil without antioxidants  
 Se-salt treatment: Sodium selenite salt with a concentration of 8.6 ppm  
 BHA treatment: Antioxidant butyl hydroxyl anisole with a concentration of 200 ppm

سلطانا و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی اثر عصاره‌های متانولی چوب ذرت روی عدد آنیزیدین روغن ذرت تحت شرایط تشدید شده (۲۱ دقیقه در ماکروویو) بررسی شده است. در نمونه کنترل تبدیل فرم کربونیل نسبت به بقیه‌ی نمونه‌ها بیشتر است. عصاره‌ی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام بهتر از بقیه عمل کرده است و بعدبوتیل هیدروکسی آنیزول و عصاره‌ی ۵۰۰ پی‌پی‌ام بهتر عمل کرده‌اند [۵۱]. در تحقیقی خورشیدی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی فنولیک‌های کنجاله‌ی سویا و مقایسه با اثر فنولیک‌های پایدار خالص آن بر افزایش عمر نگهداری روغن سویا پرداختند. نتایج مقایسه تغییرات اندیس آنیزیدین نمونه‌های حاوی عصاره‌ی اتانولی کنجاله سویا با نمونه‌ی حاوی ۲۰۰ پی‌پی‌ام ترشیاری بوتیل هیدروکسی کوبنون و نمونه شاهد نشان داد که نمونه‌های حاوی عصاره بر اندیس آنیزیدین روغن

مربوط به‌بینه ۱ و بهینه ۲ در روز ۴۶ بود که میان این تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد و کمترین میزان مربوط به نمک سلنیت سدیم در روز ۲۳ بود. تیمارهای بهینه ۱ و بهینه ۲ از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی بهتر از بوتیل هیدروکسی آنیزول عمل کردند به طوری که نقش اثرگذاری تیمار بهینه ۱ قوی‌تر بود.



**Fig 9** Interaction of treatment-time on the antioxidant activity of soybean oil  
 Optimal formula 1: (107 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Optimal formula 2: (307 mg sodium selenite / 29% Arabic gum / 1% Persian gum / 96% ethanol)  
 Treatment Blank: soybean oil without antioxidants  
 Se-salt treatment: Sodium selenite salt with a concentration of 8.6 ppm  
 BHA treatment: Antioxidant butyl hydroxyl anisole with a concentration of 200 ppm

جلالی زند و همکاران (۲۰۲۱) در طی پژوهشی اثر آنتی-اکسیدانی سلنیت سدیم را بر روغن سویای خام بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که دو نمونه بهینه اثر آنتی‌اکسیدانی بیشتر نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند [۴۸]. زو و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی اثر سلنیوم بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های چای برداشت شده در اوایل بهار پرداختند. آن‌ها دریافتند که پاشیدن سلنیوم بر روی برگ‌های چای باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی چای شد. به منظور تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ چای غنی شده با سلنیوم و مقایسه آن با آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول و آلفا توکوفرول آزمون دی پی پی اچ انجام شد. نتایج در ۶۰ دقیقه اول نشان داد که بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸۴/۲۹٪) مربوط به عصاره برگ چای غنی شده با سلنیوم به فرم سلنات بود که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر از بوتیل هیدروکسی آنیزول بود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوتیل هیدروکسی آنیزول بیشتر از عصاره غنی شده با سلنیوم به فرم

(موجرلو و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی پس از عصاره‌گیری از کنجاله زیتون با اتانول، ترکیبات فنولی کل موجود در عصاره تعیین شد. سپس اثرات آنتی‌اکسیدانی عصاره کنجاله زیتون در غلظت‌های مختلف (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام) و همچنین آنتی‌اکسیدان‌های شیمیایی بوتیل هیدروکسی آنیزول و بوتیل هیدروکسی آنیزول (با غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام)، بر پایداری اکسایشی روغن سویا در طول دوره نگهداری به مدت ۴ هفته از طریق سنجش اندیس پراکسید، آنیزیدین، توتوکس و زمان مقاومت به اکسایش بررسی گردید. نتایج نشان داد که در بین غلظت‌های تحت بررسی عصاره کنجاله زیتون، غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام دارای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و موثرترین سطح غلظتی عصاره بر پایداری اکسایشی روغن سویا تعیین گردید. همچنین این تحقیق نشان داد که غلظت بهینه ۱۵۰ پی‌پی‌ام عصاره، نسبت به آنتی‌اکسیدان‌های بوتیل هیدروکسی آنیزول و بوتیل هیدروکسی آنیزول فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری را دارا می‌باشد [۵۳].  
 مظاهری و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به سنجش اثرات ضداکسایشی عصاره دانه رازیانه در روغن سویا و مقایسه آن با ضداکساینده‌های سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و بوتیل هیدروکسی آنیزول از طریق سنجش اندیس‌های آنیزیدین، پراکسید و محاسبه‌ی اندیس توتوکس پرداخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عصاره‌ها، اثر ضداکسایشی آن‌ها بیشتر شده ولی در محدوده غلظت مورد بررسی، رابطه خطی و مستقیم بین غلظت تیمارها و فعالیت ضداکسایشی آن‌ها در روغن سویا دیده نمی‌شود. غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۶ میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره دانه رازیانه، دارای فعالیت ضداکسایشی بالاتری نسبت به هر دو ضداکساینده‌ی سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و بوتیل هیدروکسی آنیزول بودند [۵۴].

### ۳-۲-۶-فعالیت آنتی‌اکسیدانی

با توجه به شکل (۹) نتایج نشان داد که در روز صفر، تیمارهای بهینه ۱، بهینه ۲، نمک سلنیت سدیم و بوتیل هیدروکسی آنیزول هیچ‌گونه فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روغن سویا نداشتند ولی با گذشت زمان، اثر آنتی‌اکسیدانی خود را نشان دادند و این فعالیت روند افزایشی یافت. فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان در تمامی روزها صفر بود. به طور کلی بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تیمارهای بهینه سلنیت سدیم کپسوله شده ۱ و ۲ می‌توانند به عنوان آنتی‌اکسیدان غیرسنتزی، جایگزین آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول در روغن سویا گردند.

## 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] Choi MJ, Ruktanonchai U, Min SG, Chun JY, Soottitawat A. 2010. Physical characteristics of fish oil encapsulated by  $\beta$ -cyclodextrin using an aggregation method or polycaprolactone using an emulsion-diffusion method. *Food chemistry*. 119, 1694-1703.
- [2] Fang Z, Bhandari B. 2010. Encapsulation of polyphenols – a review. *Food Science and Technology*, 21: 510-523.
- [3] Rahman K. 2007. Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors. *Journal of Clinical Interventions in Aging*, 2:219.
- [4] Glicksman M. 1969. *Gim technology in the food industry*. Academic Press, New York, chapter 4, 94-129.
- [5] Abotalebayan. M. 2006. Extraction of phenolic compounds in the leaves of mint, peppermint and basil and their antioxidant effect in sunflower oil. Master Thesis in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.
- [6] Diplock AT. 1993. Indexes of selenium status in human populations. *Am J Clin Nutr*, 57: 256-258.
- [7] Schauss, AG. Selenium. 2006. (<http://www.traceminerals.com/products/selenium.html>).
- [8] Fatemi h. 1390. *Food Chemistry*. Tehran: Anteshar Co., 480 pages.
- [9] Ip C, Thompson HJ, Zhu Z, Ganther HE. 2000. In vitro and in vivo studies of methylseleninic acid: Evidence that a monomethylated selenium metabolite is critical for cancer chemoprevention. *Cancer Res*, 60: 2882-2886.
- [10] Diowksz A, Peczkowska B, odarczyk M, Ambroziak W. 2000. Bacteria/yeast and

سلنیت بود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی این عصاره بیشتر از آلفا توکوفرول بود و پایین‌ترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به چای معمولی بود. در ۶۰ دقیقه آخر بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب مربوط به عصاره برگ چای غنی شده با سلنیوم به فرم سلنات، عصاره برگ چای غنی شده با سلنیوم به فرم سلنیت، بوتیل هیدروکسی آنیزول و چای معمولی بود [۵۵]. راموس و همکاران، (۲۰۱۰) در پژوهشی دیگر به بررسی تاثیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی سلنیوم در ۷ سطح (۰، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میکرومولار) و دو فرم سلنیوم (سلنیت سدیم و سلنات سدیم) در کاهو پرداختند. نتایج نشان داد که افزودن سلنیوم به میزان ۲، ۴ و ۸ میکرومولار باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهو شد [۵۶]. حبیبی و همکاران (۲۰۱۴) نتایج پژوهشی نشان داد که کاربرد برگی سلنیوم (محلول پاشی) به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه بادرنجونه از طریق افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز و افزایش غلظت فنل‌ها به عنوان ترکیبات آنتی-اکسیدان در برگ این گیاه شد [۵۷].

## ۴- نتیجه گیری

کارایی و سبزی کپسولاسیون تحت تاثیر غلظت ماده دیواره، غلظت ماده مرکزی و درصد خلوص اتانول قرار گرفت. غلظت صمغ عربی بیشتر و صمغ فارسی کمتر، غلظت سلنیت سدیم کمتر و درصد خلوص اتانول بالاتر باعث افزایش کارایی و کاهش سبزی کپسول‌ها گردید. بالاترین کارایی و کوچکترین سبزی مربوط به دو تیمار بهینه شامل بهینه ۱ و بهینه ۲ بود. خصوصیات مورفولوژیکی ظاهری میکروکپسول‌های سلنیت سدیم در هر دو تیمار بهینه، یک ساختار نسبتاً مدور و یکنواخت با حداقل ترک‌ها و دندانه‌ها را نشان داد. در حضور آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم به صورت کپسوله شده و آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول در روغن سویا، عدد پراکسید، اسیدیته، عدد تیوباریتوریک، اندیس آنیزیدین و عدد توتوکس کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن سویا طی مدت زمان نگهداری افزایش یافت. همچنین از نظر خواص آنتی‌اکسیدانی ترتیب اهمیت تیمارهای این تحقیق عبارتست از: سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۱) < سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه ۲) = بوتیل هیدروکسی آنیزول < نمک سلنیت سدیم < شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان. بنابراین می‌توان بیان نمود

- [21] Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release – A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1), 1–21.
- [22] McNamee BF, O’Riorda ED, 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), pp.3385–3388.
- [23] Tombs M P, Harding S E. 1998. An introduction to polysaccharide. In *Biotechnology* (pp. 88e89). Gunpowder Square, London: Taylor and Francis Ltd.
- [24] Carneiro H C F, Tonon R V, Grosso C R F, Hubinger M D. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combination of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 443e451.
- [25] Kanakdande D, Bhosale R, Singhal R S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67(4), 536-541.
- [26] Krishnan S, Bhosale R, Singhal R S. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61(1), 95-102.
- [27] Vaidya S, Bhosale R, Singhal R S. 2006. Microencapsulation of cinnamon oleoresin by spray drying using different wall materials. *Drying Technology: An International Journal*, 24(8), 983-992.
- [28] Shaikh J, Bhosale R, Singhal R S. 2006. Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chemistry*, 94(1), 105-110.
- [29] Farahnaki A., Mesbahi G. 2008. Characteristics and applications of hydrocolloids in food and medicine, Tehran: Iran Agricultural Science Publishing, pp. 1-24.
- [30] Whistler RL. 1993. Exudate gums. In: Whistler RL, BeMiller JN. (Eds.), *Industrial Gums: Polysaccharide and their Derivatives*, Academic Press, Inc., UK, London, pp 309–339.
- [31] Wardhanabhuti B, Ikeda S. 2006. Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloids*, 20, 885-891.
- [32] Simas Tosin FF, Barraza RR, Petkowicz CLO, Silveira JLM, Sassaki GL, Santos EMR, plantm biomass enriched in Se via bioconversion process as a source of Se supplementation in food. *Progr Biotechnol*. 17: 295–300.
- [11] Firestone D. 1994. *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists’ Society*, 4th ed., AOCS Press, Champaign, IL.
- [12] fadavi, A. Koohsari, H., 2015, Antioxidant and antimicrobial effects of orange leaf extract grown in Iran and the study of oxidation stability of soybean oil enriched with it, *Quarterly Journal of New Food Technologies*, 7,96-85.
- [13] Gupta C, Chawla P, Arora S, Tomar SK, Singh AK. 2015. Iron Microcapsulation with Blend of Gum Arabic, Maltodextrin and Modified Starch Using Modified Solvent Evaporation Method-Milk Fortification. *Food Hydrocolloids*, 43: 622-628.
- [14] Tompkins C, Perkins EG. 1999. The evaluation of frying oils with the p-anisidine value. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 76: 945-947.
- [15] Iranian National Standard, 4179. 1998, Edible oils and fats, peroxide number measurement.
- [16] Wanasundara PKJPD, Shahidi F. 2005. Antioxidant: Science, Technology and Application, in F Shahidi. *Bailey’s industrial oil and fat products 6th edn*, United States of America. A John Wiley & Sons, Inc., pp: 431-489.
- [17] Gabas A L, Telis V R N, Sobral P J A, Telis J R. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 246-252.
- [18] Ali B H, Zaida A, Blunden G. 2009. Biological effects of gum arabic: a review of some recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 47(1), 1e8.
- [19] Sarkar S, Gupta S, Variyar S P, Sharma A, Singhal R S. 2013. Hydrophobic derivatives of guar gum hydrolyzate and gum arabic as matrices for microencapsulation of mint oil. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 177e182.
- [20] Righetto A M, Netto F M. 2005. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 337-346.

- Fisheries, Year 25, Number 1.
- [43] Shahidi F, Wanasundra UN. 2002. Methods for Measuring Oxidative Rancidity in Fats and Oils. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. 2nd ed. Newyork: Marcel Dekker, P: 465-487.
- [44] Lafka, T.I., Sinanoglou, V. & Lazos, E.S., 2007. The extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from winery wastes, *Food Chemistry*, 104, 3, 1206-1214.
- [45] Rahman Zu, Habib F, Shah W. 2004. Utilization of potato peels as a natural antioxidant in soybean oil. *Journal of Food Chemistry*, 85: 215-220.
- [46] Jalalizand, F., & Goli, M. (2021). Optimization of microencapsulation of selenium with gum Arabian/Persian mixtures by solvent evaporation method using response surface methodology: soybean oil fortification and oxidation indices. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 495-507.
- [47] Anoushirvani N, Fassihi, Moradi Payam A. 2015. Antioxidant effects of walnut green peel extract and powder on oxidation of sunflower oil. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Industry*. 3: 89-79.
- [48] Jalali Zand F, Goli M. 1398. Antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite by solvent evaporation in soybean oil for one year. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 16 (5).
- [49] Mohammadi R., Fazel M., Khosravi A. 1394. Investigation of antioxidant effect of Dorema aucheri extract on soybean oil stability. *Journal of Food Science and Nutrition*. Fourteenth year, No. 1. pp. 88-77.
- [50] Goli A H, Barzegar M, Sahari MA. 2005. Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. *Food Chemistry*, 92(3), 521-525.
- [51] Sultana B, Anwar F, Przybylski R. 2007. Antioxidant potential of corn cob extracts for stabilization of corn oil subjected to microwave heating. *Food chemistry*, 104(3), 997-1005.
- [52] khoshdi f. 2014. Study of soybean meal phenolics and comparison with the effect of pure stable phenolics on increasing the shelf life of soybean oil. Master Thesis in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Khorasgan University.
- [53] Mojarloo, Z., Elhami Rad, A.H. And Najafi, A., 1394, Study of the antioxidant effect of ethane extract. Olive meal on the Gorin PAJ, Iacomini M. 2010. Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudates. *Food Hydrocolloid*, 24: 486–493.
- [33] Frascareli E, Silvaa V, Tonona R, Hubingera M. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 413-424.
- [34] Zilberboim R, Kopelman I, Talmon Y. 1986. Microencapsulation by a dehydrating liquid: retention of paprika oleoresin and aromatic esters. *Journal of Food science*, 51(5), 1301-1306.
- [35] Cho Y, H Shin, D S, Park J. 2000. Optimization of emulsification and spray drying processes for the microencapsulation of flavor compounds. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 32: 132-139.
- [36] Ahangaran F, Hayati M, Navarchian A, Ismailpour K. 1394. A review of the methods of encapsulation of materials and the study of microcapsules with polymethyl methacrylate wall. *Iranian Journal of Chemical Engineering*. Fifteenth year, No. 86.
- [37] AKdeniz B, Sumnu G, Sahin S. 2017. The Effect of Maltodextrin and Gum Arabic on Encapsulation of Onion Skin Phenolic Compounds, *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1891-1896.
- [38] Jafari, S.M., He, T., Bhandari, B. 2007. Encapsulation of nanoparticles of D-limonene by spray drying: Role of emulsifiers and emulsifying techniques. *Drying Technology*, 25: 1079-1089.
- [39] Click B, Luca A, Hasirci V, Sahin S, Sumnu G. 2012. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *Eur Food Res Technol*. 235:587-596.
- [40] Hosseinzadeh S., Haddad Khodaparast M, Bostan A, Mohebbi M. 2016. Mint oil coating (*Menthaspicata*) by spray drying method. *Iranian Journal of Food Science and Industry Research*. Volume 12, Number 4, pp. 511-499.
- [41] Khan Mohammadi F, Razavizadeh BM, Azizi S. 2010. Preparation of nanoemulsion and encapsulation of rice bran oil, the second national conference on nanomaterials and nanotechnology
- [42] Jafar Poore, Isfahani R., Jafari M. 1396. Investigation of omega-3 fatty acid nanocoatings by fish gelatin and gum arabic using cohesion method. *Iranian Journal of*

during the early spring tea producing season. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:1081-1084.

- [56] Ramos SJ, Faquin V, Guilherme LRG, Castro EM, Avila FW, Carvalho GS, Bastos CEA, Oliveira C. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenite and selenite.
- [57] Habibi AH, Ghorbanzadeh P, Abedini M. 1394. The effect of selenium on some physiological characteristics of lemongrass. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. Volume 32, Number 4, pp. 698-715.

oxidative stability of soybean oil in comparison with some chemical antioxidants, *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 3, 23 -15.

- [54] Mazaheri M, Basiri AS, Jalali H. 2014. Antioxidant effect of fennel seed extract (*Foeniculum vulgare*) in soybean oil and its comparison with synthetic antioxidants BHT and BHA. *Journal of Modern Food Science and Technology*, 3: 27-15
- [55] Xu J, Yang F, Chen L, Hu Y, Hu Q. 2003. Effect of selenium on increasing the antioxidant activity of tea leaves harvested



## Antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite in soybean oil during one year storage

Zolfaghari, Sh. <sup>1</sup>, Goli, M. <sup>2\*</sup>, Shahi, Sh. <sup>3</sup>

1. M. Sc., Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology & Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

3. Assistant Professor, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 04/ 15

Accepted 2022/ 09/ 24

#### Keywords:

Encapsulation,  
Sodium-selenite,  
Arabic-gum,  
Soybean oil.

**DOI:** 10.22034/FSCT.19.130.283

**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.130.23.2

\*Corresponding Author E-Mail:  
[mgolifood@yahoo.com](mailto:mgolifood@yahoo.com)

### ABSTRACT

Encapsulated sodium-selenite at different concentration (100, 300, 500, 700 and 900 mg/20cc) with Arabic-gum (25%, 26%, 27%, 28%, 29%) and analogous Farsi gum (5%, 4%, 3%, 2%, 1%) as wall materials by solvent evaporation method was studied. Ethanol in different purity as solvent was used (80%, 84%, 88%, 92%, and 96%). The optimization of microcapsules based on the highest encapsulation-efficiency and smallest microcapsules-size with usage of RSM analyze were surveyed. Based on mentioned parameters 2 optimum conditions were chosen. The first-one was a condition where the samples produced with 107mg sodium-selenite in 20cc sprayed solution, 29% and 1% Arabic-gum and Farsi-gum respectively. The ethanol-purity was 96%. In this condition the encapsulation efficiency was 99.71% whereas the microcapsules-size was 30/46 $\mu$ m. The second-condition was followed by 307mg sodium-selenite in 20cc sprayed solution, 29% and 1% Arabic-gum and Farsi-gum with ethanol-purity of 96%. The result of 97.73% encapsulation efficiency and the size of 47.46 $\mu$ m obtained. Finally 490ppm capsules of the first condition and 176ppm capsules of second condition (equal to 8.6ppm sodium-selenite salt), synthesized BHA (200ppm) and sodium-selenite salt (8/6ppm) were added to a free antioxidant soybean oil and were kept at 55°C at 0, 23 and 46 days which was equal with 20°C at 0, 180, 360 days. In this condition peroxide-value, acidity, Thiobarbituric-acid, Anisidine-value, Totox-value and antioxidant-activity of free antioxidant soybean oil with SPSS software were evaluated. The results achieved by RSM analyze showed that sodium-selenite concentration with encapsulation efficiency had reverse relation whereas it was direct relation with microcapsules-size. Also Arabic-gum concentration and ethanol-purity had direct relation with encapsulation-efficiency and the reverse one with microcapsules-size. The result of SPSS analyze showed that with presence of the encapsulated sodium-selenite antioxidant and synthesized BHA antioxidant in soybean oil, peroxide-value, acidity, Thiobarbituric acid, Anisidine-value, Totox-value decreased whereas antioxidant activity of soybean oil increased.