



بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانوامولسیون اسانس گیاه صندل سفید (*Santalum album linn*)

عرفان امیری^۱، ابراهیم حسینی^۲، اکرم شریفی^۳*

۱- دانش آموخته ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

کلمات کلیدی:

بهینه یابی،

درون پوشانی،

سطح پاسخ،

طرح مرکب مرکزی،

نانوتکنولوژی.

استفاده از نانوتکنولوژی در صنایع غذایی امکاناتی مانند درون پوشانی و انتقال هدفمند ترکیبات و اسانس های گیاهی بدون تأثیرات حسی نامطلوب را فراهم می سازد. در این تحقیق اسانس گیاه صندل سفید (*Santalum album linn.*) برای تهیه نانو امولسیون استفاده شد. خصوصیات نانوامولسیون ارزیابی و بهینه یابی شد. برای انجام تحقیق از نرم افزار آماری Design-Expert 12 و روش آماری سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی با متغیرهای آماری، فرکانس فراسوت (۳۱-۲۵ کیلوهرتز)، مدت زمان فراسوت (۱۰-۲۰ ثانیه) و میزان اسانس صندل (۱-۱۰ درصد) استفاده شد. پس از استخراج و شناسایی ترکیبات مؤثره اسانس آزمون های درصد فعالیت آنتی اکسیدانی، ویسکوزیته، شاخص های رنگی و اندازه ذرات نانو امولسیون انجام شد. پس از بهینه یابی آزمون پایداری بر روی نمونه بهینه انجام گرفت. نتایج بهینه یابی نشان داد با شرایط اسانس صندل به میزان ۵/۵ درصد، فرکانس فراسوت به میزان ۲۸ کیلوهرتز، مدت زمان فراسوت به میزان ۱۵ ثانیه، نانوامولسونی با خصوصیات بهینه می توان تولید نمود. پس از تکرار آزمایش ها برای نقطه به دست آمد پاسخ های ذیل به دست آمد، میزان ۷۸، شاخص سفیدی ۵۸ و فعالیت آنتی اکسیدانی معادل ۷۰ درصد بود. انتظار می رود این نانوامولسیون ها پتانسیل کاربرد در صنایع آرایشی، دارویی و غذایی را دارا باشند.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.265

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.22.7

* مسئول مکاتبات:

ebhoseini@yahoo.com

asharifi81@gmail.com

۱- مقدمه

بی‌تردید غذا یکی از مهم‌ترین نیازهای انسان به شمار آمده و تأمین غذای سالم با سلامت جامعه در ارتباط است. یکی از روش‌های کنترل میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا استفاده از نگه‌دارنده‌های شیمیایی ساخت بشر در غذاست. با این وجود امروزه بر کاهش استفاده از این روش‌ها تأکید می‌شود، زیرا از یک‌سو مصرف‌کنندگان مواد غذایی خواستار غذاهای طبیعی با ماندگاری طولانی، همراه با کمترین تغییر در ساختار آن‌ها می‌باشند و از سوی دیگر خاصیت سرطان‌زایی و سمی بودن برخی از نگهدارنده‌های شیمیایی نیز برای انسان به اثبات رسیده است. از این‌رو فشار بر روی صنایع غذایی برای جایگزین نمودن سریع نگهدارنده‌های شیمیایی و استفاده از نگهدارنده‌های طبیعی یکی از رویکردهای جدید در جهت ارتقا سلامت میکروبی غذاها و به دنبال آن افزایش سطح سلامت عمومی جوامع می‌باشد. از جمله ترکیبات طبیعی که می‌تواند به‌عنوان نگهدارنده در مواد غذایی به کار رود اسانس گیاهان دارویی می‌باشند [۱]. اسانس‌ها از جمله ترکیبات طبیعی می‌باشند که امروزه به‌عنوان مواد نگهدارنده طبیعی در مواد غذایی کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند [۲].

صندل سفید (چوب صندل) (*Santalum album linn.*) درختی معطر از خانواده سانتالاسه می‌باشد [۳]. طبق آزمایش‌های صورت گرفته بیش از ۱۰۰ ماده تشکیل‌دهنده در روغن چوب صندل شناسایی شده‌اند که ترکیب اصلی آن سانتالول^۲ است. روغن چوب صندل تقریباً منحصراً از سسکوئترپنوئیدها^۳ تشکیل شده است. طبق تحقیقات صورت گرفته روغن چوب صندل در بسیاری از محصولات غذایی از جمله نوشیدنی‌های الکلی و غیرالکلی، دسرهای لبنی منجمد، آب‌نبات، ژلاتین و پودینگ‌ها به‌عنوان یک جز طعم‌دهنده استفاده می‌شود [۴]. صندل درختچه‌ای کوچک است که به‌طور همزیستی با ریشک‌های مکنده خود بر روی ریشه گیاهان مختلف مواد غذایی خود را از آن‌ها می‌گیرد. برگ‌های آن متقابل، کامل و نوک‌تیز، گل‌های آن کوچک، خوشه‌ای و رنگ گل‌ها قرمز براق هست. میوه‌اش تخم‌مرغی شکل و آبدار است که محتوی یک هسته هست و بین

پوشش گل‌ها محصور شده است. رنگ سطح خارجی چوب درختچه، سفید یا زرد است. مغز چوب درختچه، لیمویی‌رنگ و در بعضی موارد قهوه‌ای روشن، خوشبو، مطبوع و دارای بویی شبیه جوز و گل سرخ می‌باشد که علاوه بر مصارف مختلف در طب سنتی نیز کاربرد دارد [۵]. اجزای اصلی اسانس صندل سفید آلفا سانتالول^۱، بتا سانتالول^۲، سدرول^۳، استرها^۴، آلدهیدها^۵ و فیتواسترول‌ها^۶ می‌باشد که معمولاً ۵۰-۷۰ درصد کل اسانس را سانتالول‌ها تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین اسیدهای چرب آن شامل اسید پالمیتیک^۷ و اسید اولئیک^۸ می‌باشند [۶].

از آنجا که پایداری ترکیبات مولد عطر و طعم در شرایط محیطی مختلف پائین است و حین فرآوری، بسته‌بندی و نگهداری از طریق برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی از دست می‌رود؛ استفاده از روشی که بتواند این ترکیبات را در برابر عوامل محیطی حفظ کند و همچنین آزاد سازی آن را در زمان معین و به‌صورت کامل محقق نماید؛ دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. ریز پوشانی یکی از مهم‌ترین فرآیندهایی است که می‌تواند این اهداف را محقق نماید. ریز پوشانی ترکیبات مؤثر در صنایع غذایی و داروسازی برای پوشاندن مواد رنگی، عطری و سایر مواد مؤثر به کار می‌رود [۷].

مصرف اسانس‌ها در فرمولاسیون‌های مواد غذایی عموماً به دلیل حلالیت پایین در آب، فشار بخار بالا و ناپایداری فیزیکی و شیمیایی با دشواری‌هایی همراه است [۸]. علاوه بر این اسانس‌ها در محصولات ایجاد بو و مزه می‌کنند که این امر خوشایند مصرف‌کنندگان نیست، بنابراین امروزه تلاش می‌شود تا از تأثیرات نامطلوب اسانس‌ها کاسته شود. نانودی‌سپرسیون^۹، روش امیدوارکننده‌ای برای غلبه بر مشکلات مربوط به حلالیت پایین و دسترسی زیستی این ترکیبات و همچنین محافظت آن‌ها در برابر تأثیرات متقابل با سایر ترکیبات و افزایش خواص ضد میکروبی از طریق افزایش جذب سلولی هستند و از آن‌ها برای طراحی و

4. α -santalol
5. β -santalol
6. Cedrol
7. Ester
8. Aldehyde
9. Phytosterol
10. Palmitic acid
11. Oleic acid
12. Nanoemulsion

1. Santalaceae
2. Santalol
3. Sesquiterpene

همچنین پژوهشگران به بررسی خواص فیزیکوشیمیایی نانو امولسیون‌های روغن آلژینات اسانس لیموترش پرداختند [۱۳] و در مقاله دیگری اثرات ضد باکتریایی و ضد سرطانی نانو امولسیون حاوی گیاه جوانه میخک مورد بررسی قرار گرفت [۱۴]. در این تحقیق بعد از استخراج و شناسایی ترکیبات مؤثره اسانس صندل سفید، این اسانس به صورت نانو امولسیون تهیه و خصوصیات آن ارزیابی و بهینه‌یابی شد.

۲- مواد و روش‌ها

گیاه صندل سفید (*Santalum album linn.*) از پژوهشگاه گیاهان دارویی استان تهران تهیه و مواد شیمیایی نیز از شرکت‌های معتبر خریداری شدند.

۲-۱- استخراج اسانس گیاه صندل سفید

ابتدا صندل سفید آسیاب و سپس اسانس‌گیری از آن با روش تقطیر با بخار آب به وسیله دستگاه کلونجر صورت گرفت. مدت زمان استخراج اسانس حدود ۲ ساعت به طول انجامید. آب‌گیری از اسانس نیز به وسیله افزودن اندکی سدیم سولفات انجام شد. اسانس بدون آب در ظرف تیره در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد [۱۵].

۲-۲- آنالیز و شناسایی ترکیبات تشکیل‌دهنده

اسانس گیاه صندل سفید

برای آنالیز اسانس از کروماتوگراف گازی (GC-MS) شیمادزو مدل ۸۰۵۰-TQ متصل به طیف‌سنج جرمی استفاده شد. ستون مورد استفاده از نوع HP-5 (طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۲۵/۰ میکرومتر، ضخامت لایه فاز ساکن ۲۵/۰ میلی‌متر) بود. برنامه‌ریزی حرارتی ۴۰-۳۳۰ درجه سلسیوس و زمان اسکن ۰/۵ ثانیه و ناحیه جرمی از ۳۵ تا ۳۰۰، انرژی یونیزاسیون معادل ۷۰ الکترون‌ولت و با استفاده از گاز هلیوم با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه بوده است. تجزیه اسانس و شناسایی ترکیبات تشکیل‌دهنده پس از تزریق اسانس‌ها به دستگاه گاز کروماتوگرافی GC و یافتن مناسب‌ترین برنامه‌ریزی حرارتی ستون، جهت دستیابی به بهترین جداسازی، اسانس‌های حاصله با هگزان نرمال رقیق شده و به دستگاه گاز کروماتوگرافی کوپل

تولید سیستم‌های حامل لیپیدی استفاده می‌شود [۹]. استفاده از فناوری‌های نوین در این بخش رویکردی جدید است که می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. یکی از فناوری‌های مورد توجه در این عرصه فناوری نانو می‌باشند. نانو فناوری علم مطالعه و تحقیق پدیده‌ها و عملکردها در سطح اتمی، مولکولی و نانو مولکول است. فناوری نانو در زمینه‌های مختلف کاربرد زیادی دارد که در صنایع غذایی توجه بیش‌تری شده است. فناوری نانو پتانسیل ایجاد تغییرات اساسی در صنایع غذایی و نوشیدنی را با ابزارهای جدید برای زدودن سموم، بهبود طعم به وسیله عبور از مولکول‌های خاص بر پایه شکل مخصوص مواد به جای اندازه آن‌ها، بسته‌بندی، اصلاح توانایی گیاه برای جذب مغذی‌ها و غیره دارد [۱۰]. اصولاً نانو امولسیون‌ها، به واسطه اندازه‌هویژه، ظاهری شفاف یا نیمه شفاف دارند و به لحاظ توزیع اندازه قطرات از پایداری سینتیکی بالا، گرانروی کم و پایداری بالادر برابر پدیده‌های ترسیب، خامه‌ای شدن، به هم پیوستن و لخته‌شدن برخوردارند و به همین دلایل امروزه برای کاربردهای صنعتی فراوانی مورد توجه قرار گرفته‌اند. اغلب در منابع علمی از امولسیون‌های با اندازه قطرات در حدود نانومتری (به‌طور معمول، در محدوده ۲۰ تا ۲۰۰ نانومتر) تحت عناوین مینی‌امولسیون، نانو امولسیون، امولسیون‌های فوق‌ریز، امولسیون‌های زیر میکرون و غیره یاد می‌شود. ساختار و ویژگی‌های منحصر به فرد نانو امولسیون‌ها در مقایسه با امولسیون‌های معمولی مزیت‌هایی را برای کاربرد آن‌ها در بسیاری از صنایع، از جمله صنایع غذایی، ایجاد کرده است. از کاربردهای سامانه‌های نانو امولسیونی در صنایع غذایی می‌توان به نقش آن‌ها در ریز پوشینه‌دار کردن (انکپسوله کردن) و کنترل رهایش ترکیبات فراسودمند مانند انواع رنگ‌ها، اسانس‌ها، ویتامین‌ها و غیره اشاره کرد [۱۱].

در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای روی فرمولاسیون نانو امولسیون‌ها انجام شده است. در تحقیقی فرمولاسیون نانو امولسیون اسانس مریم‌گلی و خواص فیزیکوشیمیایی و میکروبی آن بررسی شده است [۱]. در مقاله دیگری تأثیر فرآیند ریز پوشانی با استفاده از خشک‌کن انجمادی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی اسانس گلپر مورد مطالعه قرار گرفت [۱۲].

1. Encapsulation

ساخت انگلستان (Malvern, Zetasizer Nano ZS) استفاده گردید که بر اساس روش پراکندگی دینامیکی نور یا تفرق نور پویا که اصطلاحاً DLS^۳ گفته می‌شود انجام گرفت. DLS حرکت براونی قطرات اندازه نانو را اندازه‌گیری و این حرکت را به قطر هیدرودینامیکی معادل نانومتر مرتبط می‌کند. برای اندازه‌گیری اندازه ذرات، هر یک از نمونه‌ها با آب مقطر ۲۰ برابر رقیق شد. متوسط اندازه ذرات بر مبنای میانگین قطر حجمی اندازه‌گیری شد [۱۸].

۲-۳-۲- ویسکوزیته نانو امولسیون

در آزمایش بعدی به بررسی فرمولاسیون‌های نانو امولسیون سنتز شده از طریق اندازه‌گیری ویسکوزیته (Brookfield Viscometer, ساخت آمریکا, model RV-DV III Ultra) پرداخته شد. انجام آزمایش‌ها از طریق قرار دادن پروب‌های دستگاه در داخل محلول نانو امولسیون انجام گرفت. محلول‌های نانو امولسیون از ویسکوزیته پایینی برخوردار هستند که یکی از ویژگی‌های اصلی نانو امولسیون‌ها می‌باشد [۱۷].

۲-۳-۳- شاخص‌های رنگی

شاخص‌های L^* (شاخص روشنایی) و WI (شاخص سفیدی) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سلسیوس) با استفاده از کروماتر (Konica Minolta, model CR400, ساخت ژاپن) تعیین شد. برای انجام آزمایش موردنظر زاویه دستگاه بر روی عدد ۱۰ تنظیم و با یک صفحه سفید استاندارد کالیبره شد [۱۳].

۲-۳-۴- تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی

توانایی از دست دادن اتم هیدروژن توسط ترکیبات آنتی‌اکسیدان با میزان بی‌رنگ کردن محلول بنفش ۲ و ۲-دی فنیل - ۱-پیکریل-هیدرازیل (DPPH) در متانول مورد سنجش قرار گرفت. در این آزمون از DPPH به‌عنوان ترکیب رادیکالی پایدار استفاده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس قبل و بعد از تولید نانو امولسیون ارزیابی شد. ابتدا محلول ۰/۰۰۸ درصد DPPH با متانول تهیه شد. رقت‌های مختلف نانو امولسیون و اسانس هم با متانول تهیه شد و در نهایت جذب نوری نمونه‌ها پس از ۳ دقیقه گرمخانه گذاری در دمای اتاق، در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد [۱]. درصد احیاکنندگی رادیکال‌های

شده با طیف‌سنج جرمی GC/MS تزریق و طیف‌های جرمی و کروماتوگرام‌های مربوط به دست آمد. شناسایی طیف‌های حاصل با رسم کروماتوگرامی کسری از پارافین‌های نرمال (C₅-C₃₀) تحت شرایط یکسان با تزریق اسانس‌ها انجام شد و با توجه به زمان بازداری این ترکیب‌ها، اندیس کواتر برای هر جزء موجود در کروماتوگرام اسانس محاسبه شد. این مقادیر با مقادیر اندیس کواتر موجود در جداول استاندارد مقایسه شد و ترکیب‌های موجود در اسانس صندل سفید بر اساس این داده‌ها و اطلاعات موجود در کتابخانه GC-MS شناسایی شد [۱۶].

۲-۲-۱- تهیه نانو امولسیون‌های حاوی اسانس صندل

در روش‌های پر انرژی برای تولید نانومولسیون از تجهیزات مکانیکی که قادر به تولید نیروهای پاره کننده قوی هستند، استفاده می‌شود. برای تولید نانو امولسیون مورد نظر از دستگاه التراسونیک هموژنایزر مدل Sciens-ID استفاده شد که فرکانس این دستگاه از محدوده ۲۵ تا ۳۱ کیلوهرتز قابل تغییر است. مکانیسم تولید نانو امولسیون با این روش بر اساس کاویتاسیون می‌باشد. به‌منظور تهیه نانو امولسیون از توئین^۱ ۸۰ و اسپن^۲ ۸۳ و از روش فراصوت استفاده شد. نانو امولسیون حاوی ۲ درصد وزنی سورفکتانت، ۹۵ درصد وزنی آب و ۳ درصد وزنی اسانس بود. برای سنتز نانو امولسیون‌ها، از یک امولسیون روغن در آب برای ایجاد نانو امولسیون‌های روغنی استفاده شد. محلول امولسیون مورد نظر شامل اسانس گیاه صندل سفید با مقادیر متفاوت اسانس (۱-۱۰ درصد)، ماده سورفکتانت غیریونی توئین ۸۰ و اسپن ۸۳ و آب مقطر هم زده شد. در مرحله بعدی محلول امولسیون با استفاده از دستگاه فراصوت پروب‌دار در فرکانس‌های (۳۱-۲۵ کیلوهرتز)، زمان‌های موج دهی (۱۰-۲۰ ثانیه) و توان ورودی ۴۰۰ وات در مدت زمان‌های گوناگون هموژنیزه شد [۱۷].

۲-۳- ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی نانو

امولسیون تولید شده

۲-۳-۱- تعیین اندازه ذرات نانو امولسیون

برای اندازه‌گیری قطرات نانو امولسیون از دستگاه زتاسایزر

1. Tween
2. Span

آزاد DPPH توسط رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{درصد بازدارندگی} = \frac{100 \times \text{جذب نمونه} - \text{کنترل جذب نمونه}}{\text{کنترل جذب نمونه}}$$

۲-۳-۵- پایداری نانو امولسیون‌ها

پس از بهینه‌یابی نمونه‌ها پایداری بلندمدت نانو امولسیون‌های تولید شده با اندازه‌گیری تغییرات در اندازه ذرات و همچنین ظاهر آن‌ها در طی نگهداری در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سلسیوس) به مدت ۶۰ روز بررسی شد. پایداری نانو امولسیون‌ها توسط شاخص پلی‌دیسپرسیته نانو امولسیون بهینه تولید شده در روزهای ۱، ۳۰ و ۶۰ با استفاده از دستگاه پراکنش نوری فعال (Nanotracer Wave, model Microtrac, ساخت آمریکا) اندازه‌گیری شد [۱۴].

۲-۴- طراحی آزمایشات

رویکرد سطح پاسخ^۱، ترکیبی از تکنیک‌های آماری می‌باشد و در زمره تکنیک‌های طرح آزمایش چندتایی^۲ قرار دارد که در آن‌ها تأثیر چندین متغیر بر پاسخ به‌طور هم‌زمان مطالعه می‌گردد و کاربردهای مهمی در طراحی، توسعه و فرمول‌بندی محصولات و فرایندهای جدید و نیز بهبود طرح‌های محصول موجود و فرایندها دارد. در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با تعداد ۲۰ تیمار و ۴ تکرار در نقاط مرکزی استفاده گردید. متغیرهای درصد اسانس صندل از بازه ۱ تا ۱۰ درصد حجمی/حجمی، میزان فرکانس فراصوت از ۲۵ تا ۳۱ کیلوهرتز و مدت‌زمان فراصوت از بازه ۱۰ ثانیه تا ۲۰ ثانیه انتخاب شد و تعداد بیست آزمایش توسط نرم‌افزار Design-Expert 12 طراحی گردید. مقادیر کد شده و واقعی متغیرهای مستقل مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

Table 1 Coded values and levels of independent variables for production optimization of Sandalwood essential oil nanoemulsion

-1	0	+1	Independent variables
10	5.5	1	Sandalwood essential oil (%)
31	28	25	Ultrasound frequency (kHz)
20	15	10	Ultrasound time (S)

1. Response Surface Methodology (RSM)
2. Multivariate

بعد از انجام آزمایش‌ها تحقیق با استفاده از روش آنالیز واریانس^۳ معنی‌دار بودن مدلو اثرات هر یک از پارامترها به‌تنهایی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها در هر یک از آزمایش‌ها بررسی شده و رابطه بین متغیرها به‌صورت معادله رگرسیون زیر گزارش شد:

رابطه (۲)

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_{12}AB + b_{13}AC + b_{23}BC + b_{11}A^2 + b_{22}B^2 + b_{33}C^2$$

درم عاده فوق Y بیانگر پاسخ‌های موردنظر شامل تعیین اندازه ذرات، ویسکوزیته، شاخص‌های رنگی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و b_n نشان‌دهنده ضرایب رگرسیون می‌باشد. مقادیر A، B و C به ترتیب نشان‌دهنده فاکتورهای مستقل فرایند شامل اسانس صندل (درصد)، فرکانس فراصوت (کیلوهرتز) و زمان فراصوت (ثانیه) هستند. بعد از انجام آزمایش‌ها و ثبت پاسخ‌ها و انجام تجزیه آماری، نتایج آماری به‌صورت تأثیر متقابل متغیرها (اسانس صندل، فرکانس فراصوت و زمان فراصوت) به‌دست آمد و رابطه بین متغیرها به‌صورت معادله رگرسیون گزارش شد.

۲-۴-۱- برازش مدل

مدل مناسب با توجه به معنی‌دار بودن آزمون F و معنی‌دار نبودن شاخص عدم تطابق با یافته‌های آزمایش^۴ و همچنین مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده و ضریب تغییرات انتخاب شد. با توجه به جداول تجزیه واریانس می‌توان دریافت که آزمون F تمام پارامترهای موردبررسی کاملاً معنی‌دار است. جهت بررسی پارامترهای اثر گذار در مطالعه با توجه به جدول تجزیه واریانس، جملاتی که دارای اختلاف معنی‌دار بودند، در مدل حفظ شدند [۱۹].

۳- نتایج و بحث

بعد از انجام آزمایش‌ها و ثبت پاسخ‌ها و انجام تجزیه آماری، مدل مناسب با توجه به معنی‌دار بودن آزمون F ($p \leq 0.01$)، معنی‌دار نبودن عدم برازش ($p > 0.05$) و همچنین بالاترین مقادیر R^2 و

3. ANOVA
4. Lack of Fit

R^2 تعدیل شده و ضریب تغییرات انتخاب شد. نتایج آزمایش‌ها در مورد پارامترهای وابسته فرایند، شامل اندازه ذرات، ویسکوزیته، شاخص سفیدی، شاخص روشنایی و قدرت می‌باشد.

Table 2 Observed responses and values predicted by the model for production optimization of Sandalwood essential oil nanoemulsion

A	B	C	Observed responses					predicted responses				
Essential (%)	Ultrasound frequency (kHz)	Ultrasound time (S)	particle size (nm)	viscosity (mPa.s)	brightnessindex	white index	Antioxidant activity (%)	particle size (nm)	viscosity (mPa.s)	brightnessindex	white index	Antioxidant activity (%)
5.5	31	15	263.36	3.77	86.78	68.61	95.26	219.68	2.81	78.80	56.49	60.73
1	25	10	289.47	3.25	89.77	77.21	97.74	236.67	2.09	80.12	62.57	55.99
5.5	31	10	273.16	4.02	81.58	65.61	94.99	226.29	2.99	73.01	52.62	57.94
10	31	15	343.45	4.24	87.05	70.57	107.25	296.78	3.22	78.53	57.62	70.36
5.5	28	15	273.31	4.04	86.70	70.30	104.43	230.43	3.10	78.86	58.41	70.52
10	25	20	364.61	4.51	82.23	67.66	94.39	312.92	3.37	72.78	53.33	53.53
1	28	10	269.22	3.44	86.02	71.53	83.90	220.96	2.37	77.20	58.14	45.75
5.5	28	15	273.31	4.04	86.70	70.30	104.43	230.43	3.10	78.86	58.41	70.52
5.5	28	10	280.46	4.15	83.33	66.15	108.26	236.78	3.19	75.35	54.03	73.73
1	31	20	233.11	3.17	94.44	82.61	55.63	180.30	2.01	84.79	67.96	13.89
5.5	28	15	273.31	4.04	86.70	70.30	104.43	230.43	3.10	78.86	58.41	70.52
10	28	15	346.16	4.57	84.34	67.14	108.65	302.52	3.61	76.36	55.04	74.15
1	31	10	258.27	3.45	82.29	66.87	65.70	205.47	2.29	72.64	52.23	23.96
10	31	10	347.58	4.64	82.71	71.58	104.43	295.88	3.51	73.26	57.25	63.57
10	25	10	358.78	4.89	81.28	63.93	112.47	307.08	3.75	71.84	49.59	71.60
1	25	20	265.31	3.31	92.81	94.95	63.67	212.50	2.15	83.16	80.31	21.92
5.5	28	15	273.31	4.04	86.70	70.30	104.43	230.43	3.10	78.86	58.41	70.52
10	31	20	352.41	3.91	92.75	73.32	110.36	300.72	2.77	83.31	58.99	69.49
5.5	28	15	285.06	3.97	85.26	70.95	103.3	241.39	3.01	77.28	58.84	68.77
1	28	15	252.82	3.40	89.59	78.70	74.68	207.10	2.40	81.24	66.02	38.54

آلفا-سانتالول بیشترین خاصیت ضد سرطانی و آنتی‌اکسیدانی را داشته و یک ترکیب غیر سمی می‌باشد. همچنین عامل اصلی رایحه دلپذیر گیاه صندل، آلفا-سانتالول است. طبق شواهد گیاه صندل به دلیل درصد بالای آلفا-سانتالول خاصیت ضد میکروبی در برابر باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس^۲، اشرشیا کلائی^۳ و همچنین سودوموناس^۴ دارد [۲۰].

2. *Staphylococcus aureus*
3. *Escherichia coli*
4. *Pseudomonas*

۳-۱- نتایج شناسایی ترکیبات تشکیل دهنده

اسانس گیاه صندل سفید

بالاترین میزان ترکیبات اسانس آلفا-سانتالول می‌باشد و کمترین میزان ترکیبات شناسایی شده اسانس گیاه صندل سفید نیز بتا-المن^۱ است. سایر ترکیبات شناسایی شده در اسانس گیاه صندل سفید در جدول ۳ آورده شده است. طبق بررسی‌ها

1. β -Elemene

Table 3 Chemical components of white sandalwood essential oil analyzed with gas chromatography mass spectrometry (GC-MS)

Percentage	RI	components	Order
28.75	1675	α -santalol	1
9.42	1720	β -santalol	2
7.7	1123	Pyrazine	3
6.92	1465	β -santalene	4
5.17	1454	g-Neoclovene	5
3.76	1640	Cyclotetradecane	6
3.58	1975	octadecanoic acid	7
3.35	1600	n-Hexadecane	8
2.94	1107	Longifolene	9
2.35	1800	n-Octadecane	10
1.93	1399	n-Tetradecane	11
1.90	1310	Teresantalol	12
0.83	1503	Germacrene A	13
0.5	1299	Azulene	14
0.36	1069	5-Methyl-2-furfural	15
0.33	1052	Butanedioic acid	16
0.32	1244	Benzoic acid	17
0.28	1153	Benzyl alcohol	18
0.24	873	2-Methylbutanoic acid	19
0.13	1393	b-Elemene	20

مکرر حباب‌ها موجب حرکت سریع جریان مایع به سمت نانو امولسیون‌های تشکیل شده می‌شود و مقاومت آن‌ها در برابر جریان مایع، منجر به آسیب به دیوار ذرات نانو امولسیون می‌شود و در نتیجه این آسیب‌های شدید تنش‌های مکانی و زودگذری را بر سطح ذرات نانو امولسیون تولید شده ایجاد می‌کند که منجر به کوچک‌تر شدن اندازه ذرات نانو امولسیون می‌شود [۲۱]. در یک مطالعه مشابه در بررسی تأثیر امواج فراصوت بر اندازه ذرات شیرکائو نیز به نتایج مشابهی دست یافتند که افزایش فرکانس منجر به کوچک‌تر شدن اندازه ذرات شیرکائو می‌شود که با یافته‌های تحقیق حاضر در توافق بود [۲۲]. طبق نتایج اسانس صندل تأثیر مثبت و معنی‌داری بر اندازه ذرات داشت اما با افزایش متغیر فرکانس و زمان فراصوت اندازه ذرات کاهش یافت. ضریب تبیین (R^2) مدل پیش‌بینی شده در مورد پاسخ فوق 0.9305 می‌باشد؛ بنابراین مدل به‌خوبی توانسته است $93/05$ درصد از کل تغییرات را در محدوده متغیرهای مورد بررسی توضیح دهد. شاخص عدم برازش معنی‌دار نشد ($p > 0.05$) که این امر بیانگر مناسب بودن مدل در جهت پیش‌بینی دامنه‌ی متغیرهای مورد آزمایش است.

۳-۲- نتایج ارزیابی اندازه ذرات نانو امولسیون

نانو امولسیون‌های اسانس صندل سفید دارای ساختار مورفولوژی هموزن بوده و دارای شکل کروی و بدون آگلومراسیون می‌باشند. شکل کروی نانو امولسیون‌ها نیز به دلیل تعادل الکتروستاتیکی حامل و اسانس صندل می‌باشد که قابلیت تشکیل شبکه تخم‌مرغی را نیز دارد و با عملکرد به‌عنوان هسته می‌تواند برای به دام اندازی اسانس صندل مورد استفاده قرار گرفته و باعث به دام اندازی اسانس صندل شود. همان‌گونه که در نتایج شکل (۱) نیز قابل مشاهده است با افزایش میزان استفاده از اسانس صندل در فرمولاسیون نانو امولسیون‌ها سایز نانو امولسیون‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با وزن مولکولی نانو ذرات ارتباط دارد به عبارتی افزایش وزن مولکولی ترکیبات باعث افزایش سایز نانو امولسیون‌های حاصله گردید. معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به‌صورت کد است که به شرح زیر می‌باشد:

$$Y = +230/43 + 47/71A - 10/85B - 4/83C + 5/00$$

$$+ ABV/50 + AC + 24/39A^2 + 0/1093 + B^2 + 1/52C^2 \quad (3)$$

طبق نتایج شکل (۱) مشاهده شد با افزایش فرکانس و زمان فراصوت، اندازه ذرات نانو امولسیون کاهش یافت. دلیل این تأثیر فرآیند کاویتاسیون می‌باشد که دراینفرآیند تنش‌ها و ازم‌پاشیدگی

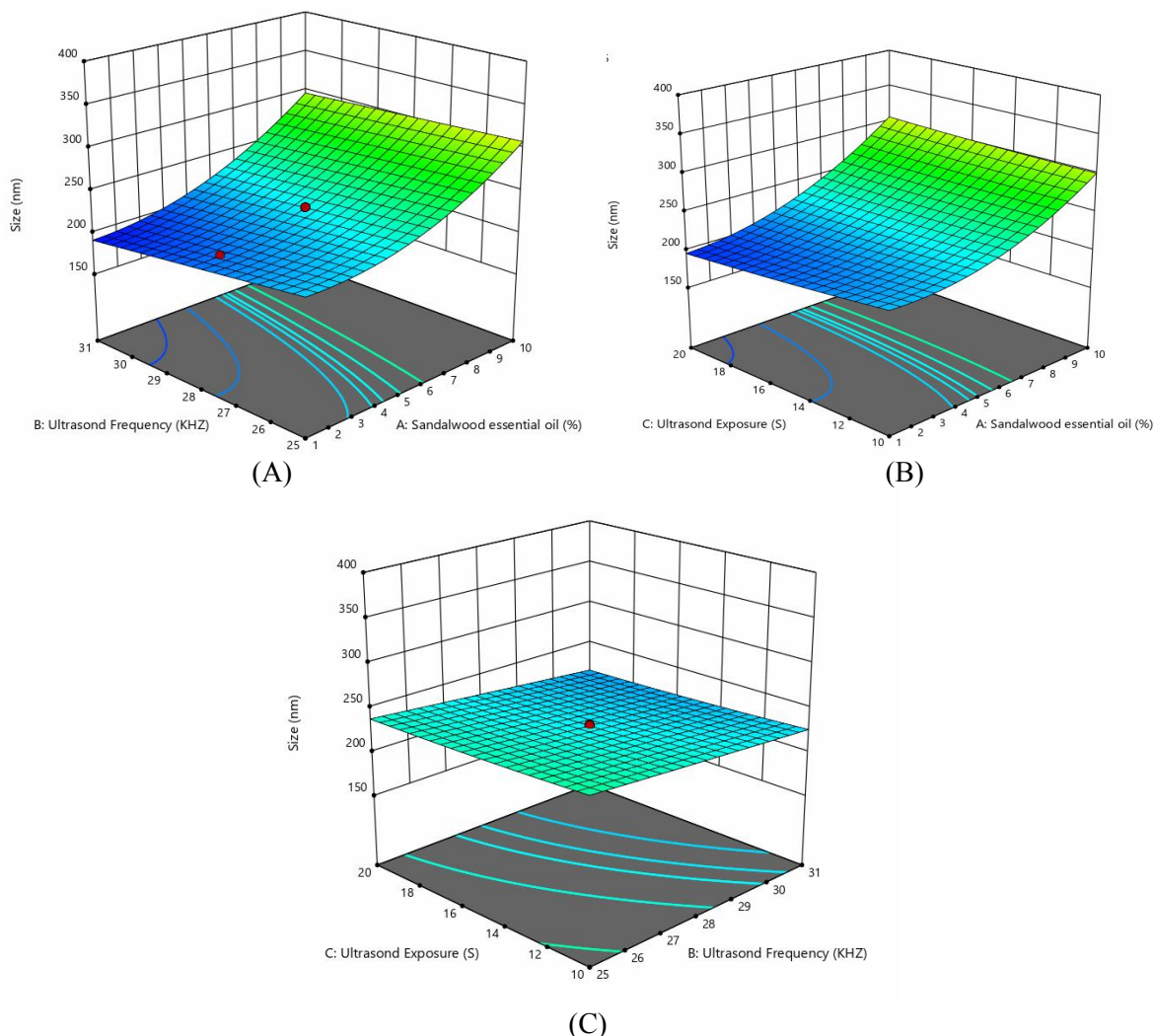


Fig 1 Interaction of sandalwood essential oil (%), time (S) and ultrasound frequency (kHz) on particle size (nm).
 A) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound frequency on particle size B) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound time on particle size C) The effect of ultrasound frequency and time on particle size

$$\text{رابطه (۴)} \quad \cdot AC - 0.1875BC - 0.0941A^2 - 0.1871B^2 - 0.1785C^2$$

طبق نتایج شکل (۲) افزایش مدت زمان فراصوت نیز تا ۱۵ ثانیه به دلیل ممانعت از به هم چسبیدن نانو امولسیون‌ها به یکدیگر و آگلومره شدن آن‌ها می‌تواند بافت هموژن و یکدست در امولسیون‌ها را ایجاد نماید اما در زمان‌های بالاتر از ۲۰ ثانیه به جهت واشکنی هسته‌های جدید امولسیون‌های ایجاد منجر به اتصالات مونو و تری و ایجاد ساختارهای دایمری به‌جای نانو امولسیون‌ها می‌شود که هم‌زمان با افزایش میزان اسانس صندل می‌تواند تا حدودی ویسکوزیته نانو امولسیون را افزایش دهد. فرکانس فراصوت نیز اثرات مشابهی مانند زمان فراصوت دارد.

۳-۳- ویسکوزیته نانو امولسیون

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده شد ویسکوزیته تیمارهای نانوامولسیون با افزایش میزان درصد اسانس صندل به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش میزان درصد به دام اندازی اسانس تا محدوده ۵/۵ درصد اسانس صندل است که با افزایش میزان وزن مولکولی نانو امولسیون‌های اسانس صندل میزان ویسکوزیته نیز افزایش می‌یابد. معادله برازش داده‌شده در مورد این پاسخ به‌صورت کد است که به شرح زیر می‌باشد:

$$Y = +3.10 + 0.6088A + 0.985B - 0.1676C - 0.1125AB - 0.1125$$

که با یافته‌های تحقیق حاضر انطباق داشت [۲۴]. طبق نتایج شکل (۲) اسانس صندل بیش‌ترین تأثیر مثبت و معنی‌دار را داشت که میزان ویسکوزیته به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. ضریب تبیین (R^2) مدل‌پیش‌بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۷۷۶۴ می‌باشد؛ بنابراین مدل به‌خوبی توانسته است ۷۷/۶۴ درصد از کل تغییرات در محدوده متغیرهای مورد بررسی را توضیح دهد. شاخص عدم برآزش معنی‌دار نشد ($p > 0/05$) که این امر بیانگر مناسب بودن مدل در جهت پیش‌بینی دامنه متغیرهای مورد آزمایش می‌باشد.

در یک پژوهش که اثرات فرآیند و مدت‌زمان فراصوت بر روی تولید نانو امولسیون مورد بررسی قرار گرفت نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد. آن‌ها دریافتند که افزایش مدت‌زمان و فرکانس فراصوت در مقادیر بسیار بالا با ایجاد درهم‌ریختگی در ساختار هسته‌های اولیه امولسیون‌ها و ایجاد تنش در محیط موجب ایجاد ساختارهای نامنظم ژله‌ای می‌شود که ویسکوزیته را افزایش می‌دهد که با یافته‌های تحقیق حاضر در توافق می‌باشد [۲۳]. همچنین در بررسی اثرات بهینه‌یابی نانو امولسیون‌های روغن دانه میوه گل ساعتی دریافتند که استفاده از توان‌های بالای فراصوت می‌تواند موجب افزایش ویسکوزیته تیمارهای نانو امولسیون شود

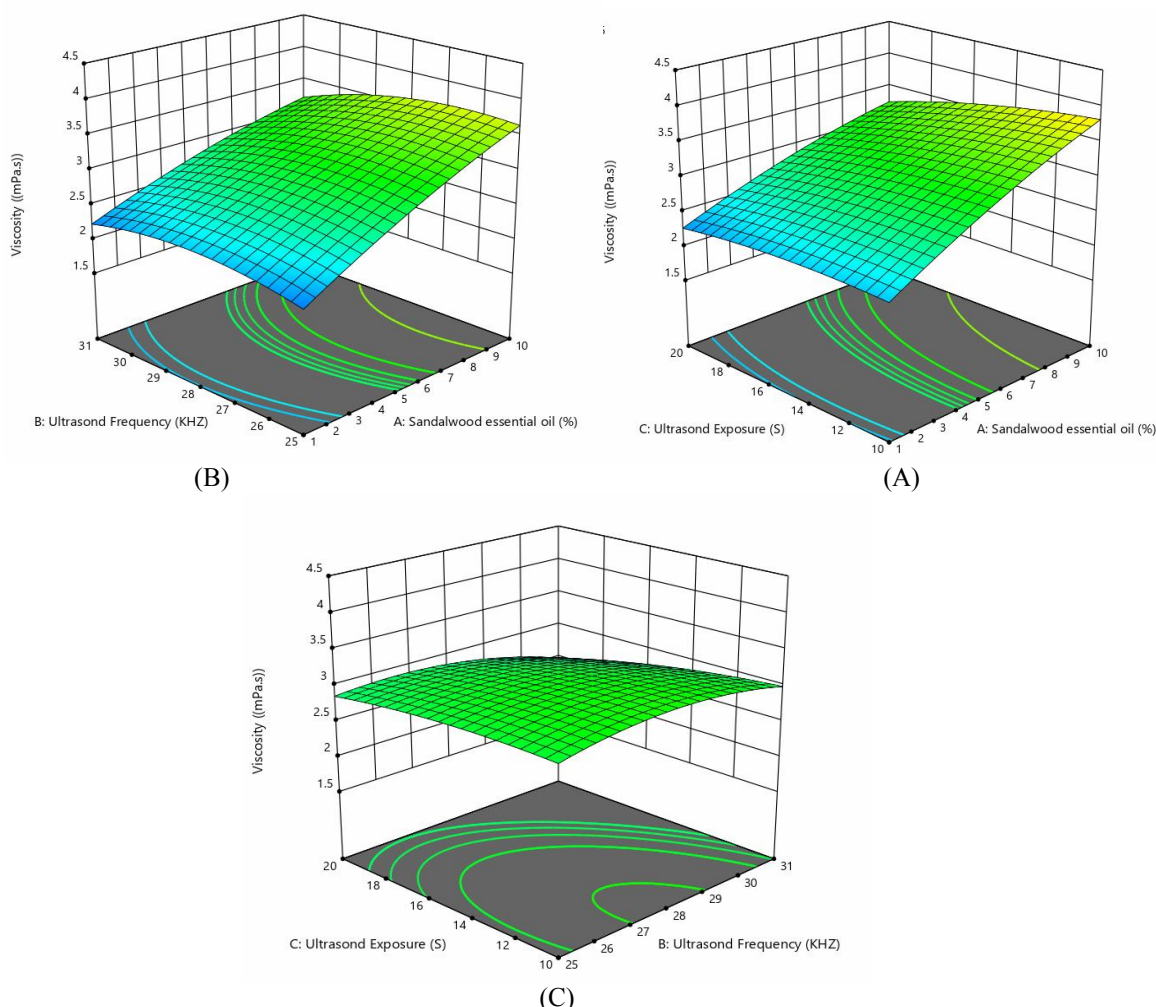


Fig 2 Interaction of sandalwood essential oil (%), time (S) and ultrasound frequency (kHz) on viscosity (mPa.s) A) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound frequency on viscosity B) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound time on viscosity C) The effect of ultrasound frequency and time on viscosity

افزایش میزان درصد اسانس در فرمولاسیون تیمارهای نانو امولسیون از شاخص روشنایی می‌کاهد به این جهت که نانو

۳-۴- شاخص‌های رنگی

طبق نتایج شکل (۳) ارزیابی شاخص روشنایی (L^*) نشان داد

$$2/28ABC - 0/0605A^2 + 0/8227B^2 - 0/2394C^2$$

به‌طور کلی یک امولسیون را در صورتی می‌توان شفاف در نظر گرفت که کدورت آن کمتر از ۰/۰۵ باشد و قطر متوسط قطرات آن کمتر از ۸۰ نانومتر باشد و برای استفاده در نوشیدنی‌های شفاف مناسب خواهد بود. در بررسی نانودرون پوشانی اسانس سیر به روش امولسیون آب در روغن نیز دریافتند که افزایش میزان اسانس در فرمولاسیون نانو امولسیون با افزایش میزان کدورت شاخص روشنایی (L^*) را کاهش می‌دهد که با یافته‌های تحقیق حاضر در توافق بود [۲۵].

امولسیون‌ها دارای ظرفیت به دام اندازی محدود و مشخصی می‌باشند و در مقادیر بالاتر اسانس با افزایش میزان اسانس به دام نیفتاده در ساختار نانو امولسیون‌ها کدورت بالایی ناشی از انباشت اسانس صندل در محیط ایجاد می‌شود که این افزایش میزان کدورت، شاخص روشنایی (L^*) را کاهش می‌دهد. معادله برازش داده‌شده در مورد این پاسخ به صورت کد است که به شرح زیر می‌باشد:

رابطه (۵)

$$Y = +78/87 - 2/44A + 0/7632B + 3/27C + 2/23AB + 0/5250AC -$$

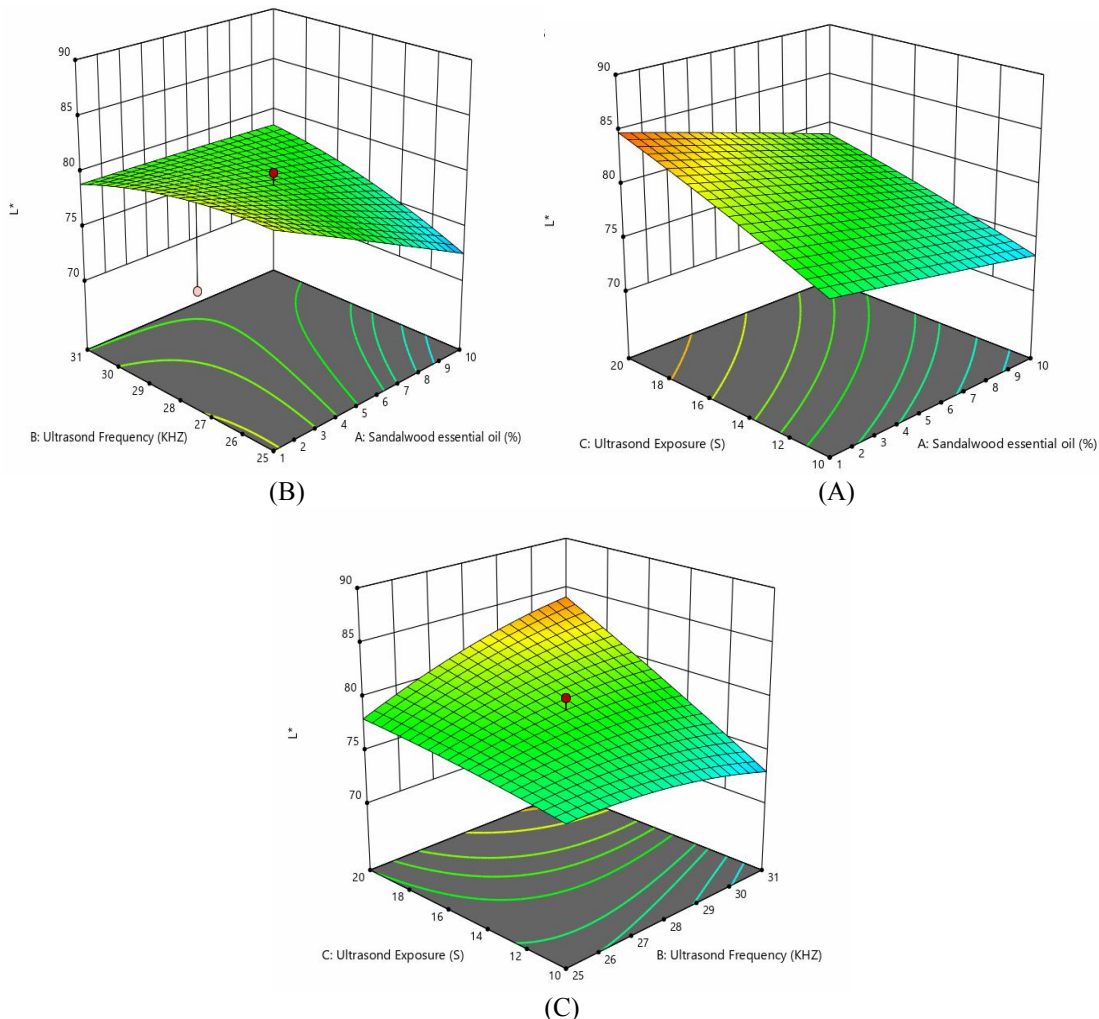


Fig 3 Interaction of sandalwood essential oil (%), time (S) and ultrasound frequency (kHz) on brightness index A) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound frequency on brightness index B) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound time on brightness index C) The effect of ultrasound frequency and time on brightness index

نامنظم و ذرات اسانس صندل به دام نیفتاده در مرکز نانو امولسیون‌ها ایجاد نماید که منجر به افزایش کدورت و کاهش شاخص روشنایی (L^*) تیمارها می‌شود. در این راستا نیز

افزایش میزان زمان و فرکانس فراصوت به دلیل ایجاد اغتشاشات در محیط نانو امولسیون‌ها در مقادیر بالا می‌تواند آرایش ساختاری نانو امولسیون‌ها را درهم‌شکسته و محیطی پر از ساختارهای

کاهش میزان شاخص روشنایی (L^*) می‌شود و از آنجایی که رابطه مثبت و معنی‌داری بین شاخص سفیدی و روشنایی (L^*) وجود دارد بنابراین با توجه به شکل (۴) شاخص سفیدی تیمارهای نانو امولسیون نیز کاهش معنی‌داری را تجربه نمود که با مقاله بررسی خصوصیات نانو امولسیون‌های اسانس سیر تطابق داشت [۲۵]. معادله برازش داده‌شده در مورد این پاسخ به صورت کد است که به شرح زیر می‌باشد:

رابطه (۶)

$$Y = +0.58/42 - 0.49A - 1/17B + 4/87C - 4/50AB - 3/50AC - 0.0005BC + 2/12A^2 + 0.7453B^2 - 0.4921C^2$$

تحقیقات مشابهی وجود داشت. طبق نتایج شکل (۳) متغیر زمان فراصوت و اسانس صندل تأثیر مثبت و معنی‌داری بر مؤلفه‌های رنگ سنجی داشت.

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش‌بینی‌شده در مورد پاسخ فوق 0.7448 است. بنابراین مدل به‌خوبی توانسته است $74/48$ درصد از کل تغییرات را در محدوده متغیرهای موردبررسی را توضیح دهد. شاخص عدم برازش معنی‌دار نشد ($p > 0.05$) که این امر بیانگر مناسب بودن مدل در جهت پیش‌بینی دامنه‌ی متغیرهای مورد آزمایش می‌باشد.

همان‌گونه که نتایج شاخص روشنایی (L^*) نشان داد افزایش میزان اسانس صندل و همچنین فرکانس و زمان فراصوت باعث

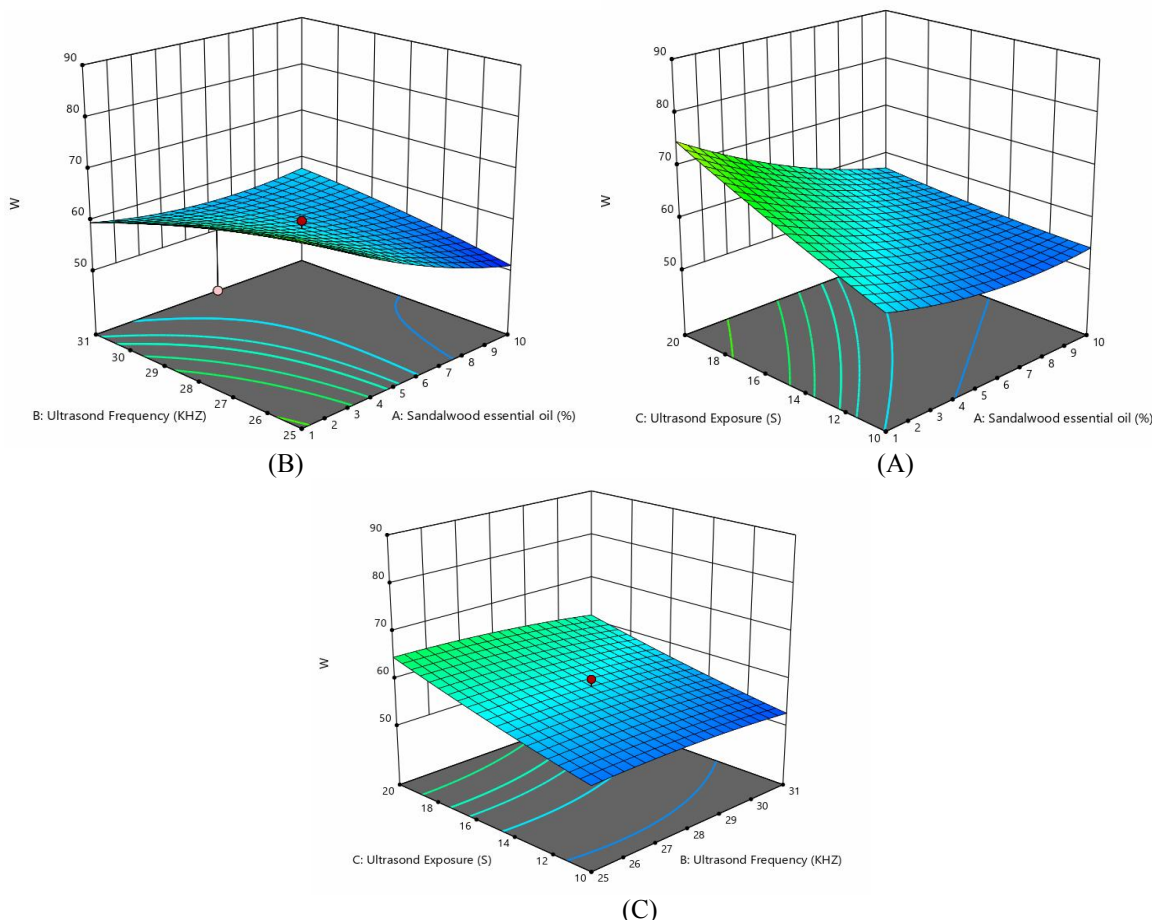


Fig 4 Interaction of sandalwood essential oil (%), time (S) and ultrasound frequency (kHz) on white index A) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound frequency on white index B) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound time on white index C) The effect of ultrasound frequency and time on white index

بیانگر مناسب بودن مدل در جهت پیش‌بینی دامنه‌ی متغیرهای مورد آزمایش می‌باشد.

۳-۵- نتایج ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش‌بینی شده در مورد پاسخ فوق 0.7869 است؛ بنابراین مدل به‌خوبی توانسته است $78/69$ درصد از کل تغییرات را در محدوده متغیرهای موردبررسی را توضیح دهد. شاخص عدم برازش معنی‌دار نشد ($p > 0.05$) که این امر

اخیر مطالعات وسیعی بر روی گیاهان عالی و اسانسها و اسانس‌های حاصل از آنها برای یافتن ترکیبات آنتی‌اکسیدان انجام شده است. در بین ترکیبات آنتی‌اکسیدان طبیعی پلی فنول‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی که پراکندگی وسیعی در طبیعت دارند بسیار مورد توجه هستند [۲۶]. معادله برازش داده شده در مورد این پاسخ به صورت کد است که به شرح زیر می‌باشد:

رابطه (۷)

$$Y = +7.0/52 + 17/80A - 4/102B - 7/04C + 7.00AB - 4/100AC + 7.00BC - 14/18A^2 + 5/77B^2 - 3/83C^2$$

آنتی‌اکسیدان‌ها در غلظت‌های کم قادر به پیشگیری و یا به تأخیر انداختن اکسیداسیون ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند. امروزه استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های سنتتزی در پزشکی، کشاورزی و صنایع دارویی بسیار رواج یافته است. اما مطالعات متعددی حاکی از سمیت این آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد. به همین دلیل یافتن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به‌ویژه از منابع گیاهی و استفاده از آنها در پزشکی، کشاورزی و صنایع دارویی بسیار مطلوب است تا علاوه برداشتن اثرات بیولوژیک وسیع، احتمال ایجاد اثرات جانبی و مسمومیت با آنها به‌خصوص در دوزهای کنترل شده کاهش یابد. در سال‌های

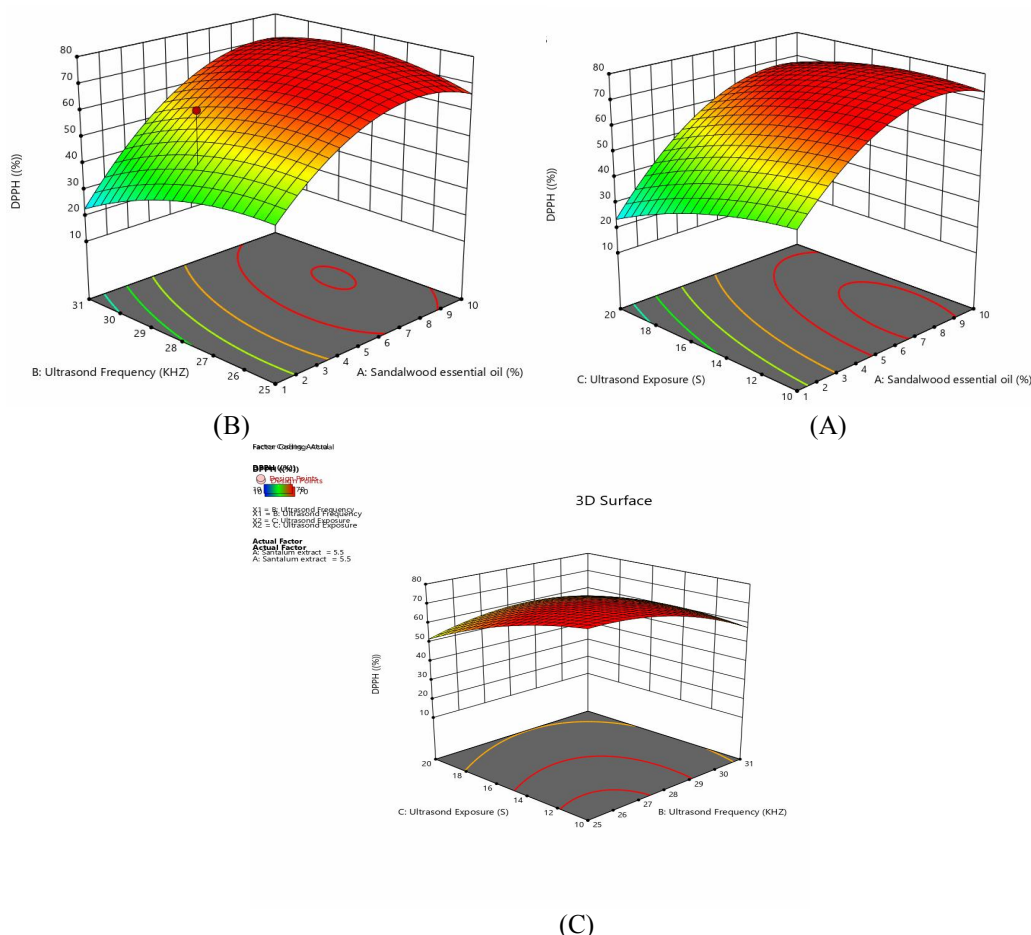


Fig 5 Interaction of sandalwood essential oil (%), time (S) and ultrasound frequency (kHz) on Antioxidant activity (%) A) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound time on Antioxidant activity B) The effect of sandalwood essential oil and ultrasound frequency on Antioxidant activity C) The effect of ultrasound frequency and time on Antioxidant activity

H+ موجود در محیط افزایش می‌یابد که این مسئله منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نانو امولسیون‌های تولید شده می‌شود؛ اما علاوه بر میزان اسانس استفاده شده در فرمولاسیون فاکتورهایی مانند درصد به دام اندازی و رهایش اسانس از

با توجه به این‌که غلظت و تعداد ترکیبات فنولی موجود در اسانس‌های گیاهی تعیین‌کننده میزان درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشند، بنابراین با توجه به شکل (۵) طبیعتاً با افزایش میزان درصد اسانس صندل میزان حلقه‌های فنولی برای دریافت گروه

پاسخ و متغیرهای مستقل تنظیم شد. نقطه پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار، اسانس صندل معادل ۵/۵ درصد، فرکانس فراصوت معادل ۲۸ کیلوهرتز و مدت‌زمان فراصوت معادل ۱۵ ثانیه بود که پس از تکرار آزمایش‌ها برای نقطه به‌دست‌آمده پاسخ‌های ذیل به دست آمد، میزان اندازه ذرات ۲۳۰ نانومتر، ویسکوزیته معادل ۳/۱۰ میلی پاسکال ثانیه، شاخص روشنایی معادل ۷۸، شاخص سفیدی ۵۸ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی معادل ۷۰ درصد بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد میزان پیش‌بینی شده مدل با مقداری که به‌صورت آزمایشی به‌دست‌آمده است، تطابق دارد. این شرایط بیانگر آن است که مدل به‌صورت مناسبی می‌تواند اثر متغیرهای زمان فراصوت، فرکانس فراصوت و میزان اسانس صندل بر پاسخ‌های تحقیق (متغیرهای وابسته) را نشان دهد.

۳-۷- نتایج پایداری نانو امولسیون‌ها

جدول ۴ نتایج ارزیابی پایداری نانو امولسیون بهینه را در طی شصت روز نگهداری نشان می‌دهد که میزانشاخص‌پلی‌دیسپرسیته از ۰/۱۲ تا ۰/۴۵ افزایش پیدا کرده است که نشان‌دهنده کاهش پایداری در روز شصتم است؛ اما ۸۰ درصد پایداری نانو امولسیون در روز شصتم نسبت به‌روز اول حفظ‌شده است.

Table 4 Results of stability evaluation of nanoemulsions

60th day	30th day	1thday	Storage time
0.45	0.32	0.12	polydispersity index (PDI)
575	314	235	particle size (nm)
80	93	100	Nanoemulsion stability (%)

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اسانس گیاه صندل سفید به‌صورت نانو امولسیون تهیه شده و خصوصیات آن ارزیابی و بهینه‌یابی شد. پس از تهیه و شناسایی ترکیبات مؤثره اسانس صندل درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویسکوزیته، شاخص‌های رنگ سنجی و اندازه ذرات نانو امولسیون ارزیابی شد و پس از بهینه‌یابی آزمون پایداری بر روی نمونه بهینه‌یابی شده انجام شد. در رابطه با تعیین اندازه ذرات با افزایش میزان اسانس مقدار آن افزایش یافت و با افزایش فرکانس و زمان فراصوت اندازه ذرات به علت پدیده کاوتاسیون (پدیده حفرگی) کاهش یافت. در ارتباط با

فاکتورهای تعیین‌کننده در میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که با افزایش فرکانس و زمان فراصوت به دلیل تنش‌های محیطی که در بخش‌های قبلی نیز بحث شد با کاهش میزان به دام اندازی و همچنین رهایش اسانس صندل می‌تواند این ظرفیت را به‌طورمعنی‌داری کاهش دهند. در یک مقاله که به بررسی اثرات میکرو کپسول‌های اسانس صندل در شوینده پرداختند به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۷]. طبق نتایج بیش‌ترین تأثیر مثبت و معنی‌دار را اسانس صندل داشت که به‌طور قابل‌توجهی میزان آنتی‌اکسیدان افزایش یافت.

ضریب تبیین (R^2) مدل پیش‌بینی شده در مورد پاسخ فوق ۰/۷۵۴۶ می‌باشد؛ بنابراین مدل به‌خوبی توانسته است ۷۵/۴۶ درصد از کل تغییرات را در محدوده متغیرهای موردبررسی را توضیح دهد. شاخص عدم برازش معنی‌دار نشد ($p > 0.05$) که این امر بیانگر مناسب بودن مدل در جهت پیش‌بینی دامنه‌ی متغیرهای مورد آزمایش می‌باشد.

۳-۶- بهینه‌یابی

در فرآیند بررسی خواص فیزیکوشیمیایی نانو امولسیون گیاه صندل سفید شرایط عملیاتی بهینه با استفاده از تکنیک بهینه‌یابی عددی انجام شد. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه‌یابی، سطوح

نانو امولسیون‌ها همانند امولسیون‌های متداول، سیستم‌های نیمه پایداری هستند و در طول زمان در اثر فرآیندهای فیزیکوشیمیایی مختلف اعم از تفکیک گرانشی، انبوهش، ادغام و رسیدگی استوالدرایپنینگ دچار شکست می‌شوند. در مقایسه با امولسیون‌های متداول، نانو امولسیون‌ها نسبت به پدیده‌های تفکیک گرانشی و انبوهش قطرات از پایداری بیشتری برخوردار هستند. ولی به علت کوچک بودن اندازه ذراتشان، به شدت مستعد رسیدگی استوالد می‌باشند. در این بررسی با افزایش مدت‌زمان نگهداری از میزان پایداری نانو امولسیون‌ها کاسته شد.

- (In farsi).
- [4] Burdock, G. A. & Carabin, I. G. (2008). Safety assessment of sandalwood oil (*Santalum album L.*). *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 421-432.
- [5] Baldovini, S. & Dwivedi, C. (1995). Anticancer Effects of Sandalwood (*Santalum album*). *International Journal of Cancer Research and Treatment*, 35(6), 3137-3145.
- [6] Zhang, S., Zhang, M., Fang, Z. & Liu, Y. (2016). Preparation and characterization of blended cloves/cinnamon essential oil nanoemulsions. *LWT-Food Science and Technology*, 75(1), 316-322.
- [7] Desai, K. G. H. & Park, H. J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23(7), 1361-1394.
- [8] Alizadeh, H., Farzaneh, M. & Azami, Z. (2015). Effects of nano-emulsion of cinnamon oils in decreasing strawberry post-harvest rots. *biological control of pestes & plant diseases*, 4(1), 57-64.
- [9] Donsi, F., Annunziata, M., Sessa, M. & Ferrari, G. (2011). Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT-Food Science and Technology*, 44(9), 1908-1914.
- [10] Afzali, M. & Mirhosseini, M. (2016). Nanotechnology approach in food industry. In: *Proceedings of 1st scientific research conference of Iranian food sciences and industries*, 21-25 Jul., Anjoman tosee va tarvij oloum va fonoun bonyadin, Tehran, Iran, pp. 1-8. (In farsi)
- [11] Mirmajidi, A. & Abbasi, S. (2013). Nanoemulsions; Introduction, production, application. *Nanotechnology Monthly*, 193(8), 45-48. (In farsi).
- [12] Badfarsa, H., Ahmadzadeh Ghavidel, R. & Shrayee, P. (2018). The effect of microcoating process using freeze drying on physicochemical and antioxidant properties of *Heracleum persicum* essential oil. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 10(2), 123-136. (In farsi)
- [13] Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso. (2013). Effect of processing parameters on physicochemical characteristics of

ویسکوزیته با افزایش میزان اسانس صندل میزان ویسکوزیته افزایش یافت و با افزایش میزان فرکانس و زمان تا حدودی میزان ویسکوزیته ثابت بوده و از ثانیه ۲۰ به بعد ویسکوزیته افزایش نشان داد. در مورد شاخص‌های رنگ سنجی با افزایش میزان اسانس صندل از ۱ تا ۱۰ درصد شاخص‌های روشنایی و سفیدی کاهش داشت. همچنین با افزایش زمان فراصوت از ۱۰ تا ۲۰ ثانیه به‌طور قابل‌توجهی شاخص روشنایی و سفیدی افزایش نشان داد و با افزایش فرکانس از ۲۵ تا ۳۱ کیلوهرتز به مقدار کمی میزان شاخص سفیدی و روشنایی کاهش داشت. در رابطه با فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش میزان اسانس صندل به‌طور قابل‌توجهی فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش داشت اما فرکانس‌وزمان فراصوت تأثیر زیادی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نداشت و در ارتباط با پایداری نانوامولسیون در پایان ۶۰ روز دارای ۸۰ درصد پایداری بود. استفاده از این نانوامولسیون‌ها با خصوصیات ضد میکروبی در صنعت آرایشی، دارویی و مواد غذایی و به‌عنوان پوشش‌های بسته‌بندی در صنایع گوشت و شیلات و نگهداری مواد غذایی، در صنایع عطر برای افزایش پایداری عطر و در میکروبیولوژی و تولید نگهدارنده‌ها می‌تواند مؤثر و کاربردی باشد.

۵- منابع

- [1] Ghareh naghdeh, S., Samadloo, H., Soti khabani, M. & Ghareh naghdeh, S. (2016). Nanoemulsion from essential oil of *salvia hypoleuca* and investigation of its antimicrobial and physicochemical properties. *Food Science and Technology*, 70(14), 337-448. (In farsi)
- [2] Ultee, A., Bennik, H. J. & Moezelaar, R. (2002). The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4), 1561-1568.
- [3] Nakhaee, F. (2015). Introduction of medicinal trees sandalwood (*Santalum album*) and Red sandal (*Pterocarpus National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture*, 8-12 Aug., Shahid mofatteh University, Hamedan, Iran, pp. 1-13

- [20] Santha, S. & Dwivedi, C. (2015). Anticancer Effects of Sandalwood (*Santalum album*). *Anticancer research*, 35(6), 3137-3145.
- [21] Sun, D.W. (2014). *Emerging Technologies for Food Processing*(2nd ed). Ireland: Dublin.
- [22] Ostadzadeh, M., Aabbasi, S. & Ehsani, M. R. (2012). The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and sensory properties of cocoa milk. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 8(1), 73-83. (In farsi).
- [23] Kentish, T.J., Wooster M., Ashokkumar S., Balachandran R. & Mawson L. Simons. (2008). The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 170–175.
- [24] Guzman, G., Adelina Rojas, M. & Aragón, M. (2021). Optimization of Ultrasound-Assisted Emulsification of Emollient Nanoemulsions of Seed Oil of *Passiflora edulis var. edulis*. *Cosmetics*, 8(1), 1-22.
- [25] Hassanzadeh Ochtapeh, H., Alizadeh, M. & Rezazad Bari, M. (2018). Nano-encapsulation of garlic extract by water-in-oil emulsion: physicochemical and antimicrobial characteristics. *Food Science and Technology*, 84(15), 337-347.
- [26] Salehabadi, S. & Mehrban sang atash, M. (2015). Evaluation of the antioxidant activity and total phenols, flavonoids in methanolic, dichloromethane and ethylacetate extracts of aerial parts of *Rubia florida*. *Journal of North Khorasan University*, 7(1), 101-112 (in farsi).
- [27] Ma, L., Lin, Q., Lei, D., Liu, Sh. & Song, Y. (2018). Preparation and properties of sandalwood essential oil microcapsules in detergents. *Chemical engineering transactions*, 71(8), 1-12.
- [14] Nirmala, M. J., Durai, L., Gopakumar, V. & Nagarajan, R. (2019). Anticancer and antibacterial effects of a clove bud essential oil-based nanoscale emulsion system. *International Journal of Nanomedicine*, 14(3), 6439- 6450.
- [15] Gulluce, M., Sahin, F., Sokmen, M., Ozer, H., Daferera, D., Sokmen, A., Polissiou, M., Adiguzel, A. & Ozkan, H. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *Longifolia*. *Food Chemistry*, 103(4), 1449–1456.
- [16] Arian far, A., Mehraban Sang atash, M. & Saleh abadi, S. (2017). Identification of chemical constituents of essential oil from aerial parts of florida Rubia. *Journal of North Khorasan University of Medical sciences*, 9(1), 15-26. (In farsi)
- [17] Heydari, M. & Bagheri, M. (2018). Antimicrobial effects of nanoemulsion of aqueous essential oil of peppermint (*Mentha Piperita Lamiaceae*) on gram-negative bacteria *Escherichia coli*. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 18(6), 515-528. (In farsi).
- [18] Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso. (2015). Hysicochemical characterization and antimicrobial activity of foodgrade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. *Food Hydrocolloids*, 43(1), 547-556.
- [19] Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F. & Mortazavi, S.A. (2011). Multi-objective ptimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food Bioprocess Technology*, 5(3), 2098-2110.



Physicochemical properties evaluation of Sandalwood (*Santalum album linn*) essential oil nanoemulsion

Amiri, E. ¹, Hosseini, S. E. ^{2*}, Sharifi, A. ^{3*}

1. Masters. graduated, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

ABSTRACT

The use of nanotechnology in the food industry provides facilities such as encapsulation, targeted transfer of plant compounds and extracts without unfavourable sensitive effects. In this study, the essential oil (EO) of *Santalum album* (*Santalum album linn.*) was used to prepare a nanoemulsion. The nanoemulsion characteristics were evaluated and the data was optimized. To conduct the research, Design-Expert 12, statistical method of response surface, Central composite design with variables such as ultrasound frequency (25-31 kHz), ultrasound duration (10-20 sec.), and *Santalum album* EO (1%-10%) were used. After extraction of EO and identification of its effective compounds; percentage of antioxidant activity, viscosity, color indexes and the particle size of nanoemulsions tests were done. After optimization, stability test was performed on the optimized sample. The optimization results showed that with 5.5% *Santalum album* EO, ultrasound frequency of 28 KHZ, ultrasound duration of 15 seconds a nanoemulsion having optimum characteristics can be produced. After repeating the experiments for the obtained point, resulted in production of a nanoemulsion having particle size of 230 nm, the viscosity of 3.10 mPa.s, the brightness index of 78, the whiteness index of 58, and the antioxidant activity of 70%. It is believed these nanoemulsions have the potential to be used in the cosmetics, pharmaceutical and food industries.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 11/ 14
Accepted 2023/ 02/ 26

Keywords:

Optimization,
Encapsulation,
Response surface,
Central composite
design, Nanotechnology.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.265
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.22.7

*Corresponding Author E-Mail:
ebhoseini@yahoo.com
asharifi81@gmail.com