بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی
گروه علوم و صنایع غذایی
رساله دکترای رشته علوم و صنایع غذایی

استفاده از امواج فراصوت برای تهیه نانوامولسیون اسانس روغنی پوست پرتقال

نام دانشجو:

عادل میرمجیدی هشتجین

استاد راهنما:

دکتر سلیمان عباسی

اساتید مشاور:

دکتر زهره حمیدی اصفهانی

دکتر محمدحسین عزیزی

بهمن ۱۳۹۲

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسهٔ دفاع از رسالهٔ دکتری

آقای عادل میرمجیدی هشتجین رساله ۱۸ واحدی خود را با عنوان: استفاده از امواج فراصوت برای تهیه نانوامولسیون اسانس روغنی پوست پرتقال در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۴ ارائه کردند.

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام‌خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اصلی	سلیمان عباسی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور اول	زهره حمیدی اصفهانی	دانشیار	
۴- استاد مشاور دوم	محمدحسین عزیزی	دانشیار	
۵- استاد ناظر	سید محمد ابراهیم‌زاده موسوی	استاد	
۶- استاد ناظر	رسول کدخدایی	دانشیار	
۷- استاد ناظر	محمدعلی سحری	استاد	
۸- استاد ناظر	حسن احمدی	استادیار	
۹- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	محمدعلی سحری	استاد	

آیین‌نامهٔ حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمهٔ شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آن‌ها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به‌نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهدهٔ اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایش‌نامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **عادل میرمجیدی هشتجین** دانشجوی رشته مهندسی کشاورزی- علوم و صنایع غذایی ورودی سال ۱۳۸۸ تحصیلی مقطع دکترای دانشکده کشاورزی متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از رسالهٔ تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع به‌نام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به‌نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین‌وسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۹۲/۱۱/۱۴

بسمه‌تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه(رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به این‌که چاپ و انتشار پایان‌نامه(رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به‌منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامهٔ (رساله) خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

« کتاب حاضر، حاصل رساله دکترای نگارنده در رشتهٔ مهندسی کشاورزی- علوم و صنایع غذایی است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر سلیمان عباسی و مشاوره سرکار خانم دکتر زهره حمیدی اصفهانی و جناب آقای دکتر محمدحسین عزیزی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به‌منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به‌علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به‌منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **عادل میرمجیدی هشتجین** دانشجوی رشتهٔ **مهندسی کشاورزی- علوم و صنایع غذایی** مقطع **دکتری** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: عادل میرمجیدی هشتجین

تاریخ و امضاء: ۹۲/۱۱/۱۴

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم؛

که وجودشان برایم همه عشق بود و وجودم برایشان همه رنج

همسرم، یار همیشه همراهم؛

که رفاه و آسایش خاطرم را در تدوین این مجموعه فراهم آورد

دلبند عزیزتر از جانم ملیکا و نوگل عزیزم کامیار؛

که بدون همراهی‌شان انجام این مهم ممکن نبود

خوهران و برادران عزیزم؛

که فیض وجودشان پیمودن این راه را میسر نمود

خانوادۀ محترم همسرم؛

که همواره مرهون محبت‌های بیکران‌شان هستم

و **هر آن‌که** مرا کلمه‌ای آموخت.

سپاسگزاری

سپاس هستی بخش یکتا را که توان انجام این پژوهش را بر من ارزانی داشت. حال که با لطف او انجام این پژوهش به فرجام و تدوین این رساله به پایان رسیده است، جای دارد تا از همهٔ بزرگوارانی که در طی مراحل مختلف این تحقیق یاریم نمودند، با وجود قصور زبان و قلم صمیمانه قدردانی نمایم.

از استاد بزرگوار و گرانقدرم جناب آقای دکتر سلیمان عباسی که بیش‌ترین نقش را در پیش‌برد این تحقیق بر عهده داشتند و گذشته از راهنمایی‌های علمی و افزودن بر اعتبار پایان‌نامه، همواره الگوی شخصیت، فروتنی، اخلاق و وجدان کاری بوده‌اند و در تمامی مراحل انجام و تدوین این پایان‌نامه با درایت و دلسوزانه مرا یاری داده‌اند، نهایت سپاس را داشته و شادکامی و توفیق روزافزون ایشان و خانوادهٔ محترم‌شان را از صمیم قلب آرزومندم.

از اساتید گرامی، سرکار خانم دکتر زهره حمیدی اصفهانی و جناب آقای دکتر محمدحسین عزیزی که مسئولیت مشاورهٔ این پایان‌نامه را بر عهده داشتند.

از اساتید محترم، جناب آقایان دکتر محمدعلی سحری، دکتر سیدمحمد ابراهیم‌زاده موسوی، دکتر رسول کدخدایی و دکتر حسن احمدی که قبول زحمت فرموده و مسئولیت داوری و نظارت بر این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند. بی‌شک نظرات اصلاحی و تکمیلی ایشان موجب وزین شدن رساله گردید.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر محسن برزگر بفروئی به خاطر آموزش‌های ارزشمندی که در این دورهٔ تحصیلی داشته‌اند. هم‌چنین، اساتید محترم بخش علوم و صنایع غذایی دانشگاه شیراز و دانشگاه تهران که در دورهٔ کارشناسی و کارشناسی ارشد مرا مرهون زحمات بی‌دریغ خود ساخته‌اند، صمیمانه سپاسگزارم.

از همسر عزیز و مهربانم سرکار خانم دکتر زهرا مغناطیسی به سبب مساعدت در انجام طرح‌های آماری این تحقیق، صمیمانه سپاسگزارم.

از دوست عزیزم جناب آقای دکتر مجید سلیمانی که با فراهم نمودن بخشی از مواد در پیش‌برد این پایان‌نامه نقشی داشتند.

و از دیگر دوستان و عزیزانی که به نحوی در انجام این پژوهش سهیم بوده‌اند.

عادل میرمجیدی هشتجین

بهمن ۱۳۹۲

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، تولید نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال با استفاده از فناوری فراصوت بود. برای این منظور، ابتدا با به‌کارگیری امولسیفایرها و پایدارکننده‌های مختلف، فرمولاسیون‌های متعددی به‌منظور تهیهٔ نانوامولسیون‌های پایدار مورد مطالعه قرار گرفتند. در این راستا، تاثیر نوع امولسیفایر (Tween 80، Tween 60، Tween 20، کازئینات سدیم، WPC و WPI)، نسبت امولسیفایر (Tween 80) به فاز روغنی (اسانس روغنی پوست پرتقال) و امکان به‌کارگیری شکل کامل، بخش محلول و نامحلول دو نوع صمغ بومی (صمغ فارسی و کتیرا) به صورت تکی و ترکیبی در فرمولاسیون، بر تشکیل و برخی ویژگی‌های نانوامولسیون‌های تهیه شده بررسی گردید. نتایج نشان داد که امکان حذف امولسیفایر (Tween 80) با جایگزینی آن توسط صمغ‌ها و امولسیفایرهای پروتئینی برای تشکیل نانوامولسیون پایدار میسر نشد. با این وجود، حضور صمغ‌ها و غلظت امولسیفایر در فرمولاسیون تاثیر معنی‌داری ($P<0/0001$) بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده داشت. در ادامه، به‌منظور بررسی تاثیر شرایط فرایند امولسیون‌سازی با فراصوت، اثر متغیرهای مستقل شامل شدت فراصوت (۷۰ تا ۱۰۰٪)، زمان صوت‌دهی (۹۰ تا ۱۵۰ ثانیه) و دمای فرایند (۵ تا ۴۵°C) بر مقدار میانگین اندازهٔ قطرات، شاخص بس‌پاشیدگی و گرانروی نانوامولسیون‌های تولید شده و نیز مقدار انرژی مصرفی در طی فرایند، با استفاده از روش آماری سطح پاسخ مورد مطالعه قرار گرفت. هم‌چنین، رفتار جریانی و پایداری نانوامولسیون‌های منتخب، طی سه ماه نگه‌داری در دماهای ۵، ۲۵ و ۴۵°C مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که شرایط بهینهٔ فرایند برای تولید نانوامولسیون‌ها با کم‌ترین مقدار میانگین اندازهٔ قطرات، به صورت شدت فراصوت ۹۴٪، زمان صوت‌دهی ۱۳۸ ثانیه و دمای فرایند ۳۷°C بود. به‌علاوه، رفتار جریانی نانوامولسیون‌های تولید شده نیوتنی بود و تاثیر مدت زمان و دمای محیط نگه‌داری و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر میانگین اندازهٔ قطرات نمونه‌ها معنی‌دار بود ($P<0/0001$). نوع و غلظت ترکیبات تشکیل دهندهٔ نانوامولسیون‌ها نیز از جمله غلظت اسانس، نوع و غلظت سورفاکتانت‌های غیریونی (Tween 80 و سوکروز منوپالمیتات)، حضور کمک حلال امولسیفایر (پروپیلن گلیکول) روی ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی و پایداری نانوامولسیون‌ها و نیز مقدار انرژی مصرف شده در حین امولسیون‌سازی تاثیر معنی‌داری داشتند. در ضمن، تنش‌های محیطی از جمله pH، قدرت یونی، انجماد و فرایند حرارتی روی پایداری فیزیکی سامانه‌های نانوامولسیونی تاثیرگذار بودند. نتایج به‌دست آمده از شناسایی اجزای فرار موجود در سرفضای نمونه‌ها نیز نشان داد که روش نانوامولسیون در محافظت از ترکیبات مولد عطر و طعم موثر بوده است. علاوه بر این، روش نانوامولسیون، انحلال‌پذیری اسانس در محیط‌های آبی را کاملاً میسر نمود. نتایج ارزیابی حسی نیز بیانگر تایید مطلوبیت پذیرش کلی نوشیدنی‌های طعم‌دار شده توسط ارزیاب‌ها بود.

کلید واژه‌ها: اسانس روغنی پوست پرتقال، امولسیفایر، رئولوژی، فراصوت، نانوامولسیون.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

کلیات ۱

۱-۱ **مقدمه** ۱

۱-۲ **طعم دهنده‌ها** ۴

۱-۳ **روغن‌های اسانسی** ۵

۱-۴ **اسانس روغنی پوست پرتقال** ۹

۱-۵ **کپسوله کردن** ۱۱

۱-۶ **امولسیون‌سازی** ۱۳

۱-۶-۱ ساختار و تشکیل امولسیون‌ها ۱۴

۱-۶-۲ سازوکارهای مربوط به پایداری امولسیون‌ها ۱۷

۱-۶-۳ سازوکارهای مربوط به ناپایداری امولسیون‌ها ۱۸

۱-۷ **نانوامولسیون‌ها** ۲۰

۱-۷-۱ مزایای نانوامولسیون‌ها ۲۱

۱-۷-۲ کاربردهای نانوامولسیون‌ها ۲۲

۱-۷-۳ تجهیزات مربوط به تولید نانوامولسیون‌ها ۲۴

۱-۷-۴ ساختار و روش‌های تولید نانوامولسیون‌ها ۲۵

۱-۷-۵ روش‌های تعیین ویژگی‌های سامانه‌های نانوامولسیونی ۲۶

۱-۸ **فناوری فراصوت** ۲۸

۱-۸-۱ امواج فراصوت ۲۸

۱-۸-۲ ویژگی‌های امواج فراصوت ۳۰

۱-۸-۳ سازوکار تاثیرگذاری امواج فراصوت ۳۱

۱-۸-۴ عوامل موثر بر حفره‌زایی ۳۳

۱-۸-۵ تجهیزات مورد نیاز برای تولید امواج فراصوت ۳۴

۱-۸-۶ امولسیون‌سازی با امواج فراصوت ۳۵

مروری بر پژوهش‌های پیشین ۳۷

۲-۱ **تولید نانوامولسیون‌ها به کمک امولسیون‌سازی با انرژی بالا** ۳۷

۲-۱-۱ استفاده از همگن‌سازهای با فشار بالا ۳۷

۲-۱-۲ استفاده از همگن‌سازهای با فشار بالا و فراصوت ۴۱

۲-۱-۳ استفاده از همگن‌سازهای فراصوت ۴۳

۲-۲ **اهداف پژوهش** ۴۵
مواد و روش‌ها ۴۷
۳- ۱ **زمان و محل انجام آزمایش‌ها** ۴۷
۳- ۲ **مواد** ۴۷
۳-۳ **تجهیزات** ۴۸
۳-۴ **روش‌ها** ۴۹
۳-۴-۱ تهیه پودر صمغ فارسی و کتیرا ۴۹
۳-۴-۲ تهیه پراکنش صمغ فارسی ۴۹
۳-۴-۳ تهیه پراکنش صمغ کتیرا ۵۰
۳-۴-۴ جداسازی بخش‌های محلول و نامحلول صمغ فارسی و کتیرا ۵۰
۳-۴-۵ تهیه محلول امولسیفایرهای غیریونی ۵۰
۳-۴-۶ تهیه محلول امولسیفایرهای پروتئینی ۵۱
۳-۴-۷ تعیین اندازهٔ قطرات و توزیع اندازهٔ ذرات ۵۲
۳-۴-۸ تعیین پتانسیل زتا ۵۲
۳-۴-۹ تعیین کشش سطحی ۵۴
۳-۴-۱۰ اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی ۵۴
۳-۴-۱۱ اندازه‌گیری رنگ نانوامولسیون‌ها ۵۵
۳-۴-۱۲ اندازه‌گیری کدورت نانوامولسیون‌ها ۵۵
۳-۴-۱۳ طراحی محفظه ویژهٔ فراصوت ۵۵
۳-۴-۱۴ روش تهیه نانوامولسیون‌ها ۵۶
۳-۴-۱۵ ارزیابی پایداری نانوامولسیون‌ها در دماهای مختلف نگه‌داری ۵۷
۳-۵ **مراحل انجام پژوهش** ۵۷
۳-۵-۱ بررسی فرمولاسیون‌های مختلف به‌منظور تهیهٔ نانوامولسیون‌های پایدار ۵۷
۳-۵-۱-۱ ارزیابی‌های اولیه ۵۸
۳-۵-۱-۲ طراحی آزمایش ۵۸
۳-۵-۱-۳ روش تهیه نانوامولسیون‌ها ۵۹
۳-۵-۱-۴ ارزیابی پایداری نانوامولسیون‌ها ۵۹
۳-۵-۲ بررسی تاثیر شرایط فراصوت ۵۹
۳-۵-۲-۱ ارزیابی‌های اولیه ۶۰
۳-۵-۲-۲ طراحی آزمایش ۶۰
۳-۵-۲-۳ روش تهیهٔ نانوامولسیون‌ها ۶۱
۳-۵-۳ بررسی تاثیر نوع و غلظت اجزای فرمولاسیون ۶۲
۳-۵-۳-۱ ارزیابی‌های اولیه ۶۲

۳-۵-۳-۲ طراحی آزمایش ۶۳
۳-۵-۳-۳ روش تهیهٔ نانوامولسیون‌ها ۶۴
۳-۵-۳-۴ ارزیابی پایداری نانوامولسیون‌ها ۶۴
۳-۵-۴ بررسی پایداری نانوامولسیون‌ها در مقابل تنش‌های محیطی ۶۵
۳-۵-۴-۱ pH ۶۵
۳-۵-۴-۲ غلظت و نوع نمک ۶۶
۳-۵-۴-۳ انجماد- رفع انجماد ۶۶
۳-۵-۴-۴ فرایند حرارتی ۶۶
۳-۵-۵ بررسی کارایی روش نانوامولسیون ۶۷
۳-۵-۶ امکان‌سنجی کاربرد نانوامولسیون‌ها در محیط غذایی ۶۸
۳-۵-۷ ارزیابی حسی ۶۸
نتایج و بحث ۷۰
۴-۱ **طراحی محفظه ویژهٔ فراصوت** ۷۰
۴-۲ **معرفی فرمولاسیون‌های اولیه و پایدار** ۷۱
۴-۲-۱ نتایج ارزیابی‌های اولیه ۷۱
۴-۲- ۲ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌ها ۷۲
۴-۲-۲-۱ تاثیر نوع امولسیفایر ۷۲
۴-۲-۲-۲ تاثیر حضور صمغ ۷۳
۴-۲-۲-۳ تاثیر غلظت امولسیفایر ۷۴
۴-۲- ۳ ویژگی‌های اندازهٔ قطرات و توزیع اندازهٔ آن‌ها ۷۵
۴-۲-۳-۱ تاثیر غلظت امولسیفایر ۷۵
۴-۲-۳-۲ تاثیر حضور صمغ ۷۷
۴-۲- ۴ تاثیر حضور صمغ روی مقدار پتانسیل زتا ۷۹
۴-۲- ۵ ویژگی‌های رئولوژیکی ۸۱
۴-۲-۵-۱ گرانروی ۸۱
۴-۲-۵-۲ رفتار جریانی ۸۱
۴-۲- ۶ پایداری فیزیکی نانوامولسیون‌ها ۸۳
۴-۲- ۷ تاثیر غلظت امولسیفایر و حضور صمغ روی میزان انرژی مصرفی ۸۴
۴-۲- ۸ نتیجه‌گیری ۸۴
۴-۳ **تاثیر شرایط فراصوت** ۸۵
۴-۳-۱ نتایج ارزیابی‌های اولیه ۸۵
۴-۳-۲ نتایج تجزیه آماری ۸۶
۴-۳-۲-۱ نتایج تجزیه واریانس فرمولاسیون ۱ (۱٪ اسانس+ ۲٪ T80) ۸۶

۴-۳-۲-۲ نتایج تجزیه واریانس فرمولاسیون ۲ (۱٪ اسانس+ ۲٪ T80 + ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵)) ۸۹
۴-۳-۲-۳ تجزیه و تحلیل سطوح پاسخ (فرمولاسیون ۱) ۹۲
۴-۳-۲-۳-۱ مقدار انرژی مصرف شده در حین فرایند ۹۲
۴-۳-۲-۳-۲ مقدار گرانروی ۹۳
۴-۳-۲-۳-۳ مقدار میانگین اندازهٔ قطرات ۹۳
۴-۳-۲-۳-۴ مقدار شاخص بس‌پاشیدگی ۹۴
۴-۳-۲-۴ تجزیه و تحلیل سطوح پاسخ (فرمولاسیون ۲) ۹۵
۴-۳-۲-۴-۱ مقدار انرژی مصرف شده در حین فرایند ۹۵
۴-۳-۲-۴-۲ مقدار گرانروی ۹۵
۴-۳-۲-۴-۳ مقدار میانگین اندازهٔ قطرات ۹۶
۴-۳-۲-۴-۴ مقدار شاخص بس‌پاشیدگی ۹۷
۴-۳-۲-۵ بهینه‌سازی شرایط فرایند (فرمولاسیون ۱) ۹۸
۴-۳-۲-۶ بهینه‌سازی شرایط فرایند (فرمولاسیون ۲) ۹۹
۴-۳-۲-۷ رفتار جریانی (فرمولاسیون‌های ۱ و ۲) ۱۰۲
۴-۳-۲-۸ تاثیر دما و زمان‌های مختلف نگه‌داری بر پایداری فرمولاسیون‌های ۱ و ۲ ۱۰۳
۴-۳-۲-۹ ویژگی‌های رنگ فرمولاسیون‌های ۱ و ۲ ۱۱۰
۴-۳-۲-۱۰ مقایسهٔ آماری برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو فرمولاسیون ۱۱۳
۴-۳-۲-۱۱ نتیجه‌گیری ۱۱۵
۴-۴ تاثیر نوع و غلظت اجزای فرمولاسیون ۱۱۶
۴-۴-۱ نتایج ارزیابی‌های اولیه ۱۱۶
۴-۴-۲ نتایج تجزیه آماری ۱۲۲
۴-۴-۲-۱ نتایج تجزیه واریانس (فرمولاسیون ۱، تهیه شده با امولسیفایر T80) ۱۲۴
۴-۴-۲-۲ تجزیه و تحلیل سطوح پاسخ ۱۲۶
۴-۴-۲-۲-۱ مقدار انرژی مصرف شده در حین فرایند ۱۲۶
۴-۴-۲-۲-۲ مقدار گرانروی ۱۲۶
۴-۴-۲-۲-۳ مقدار میانگین اندازهٔ قطرات ۱۲۷
۴-۴-۲-۲-۴ مقدار شاخص‌های رنگ ۱۲۸
۴-۴-۲-۲-۵ مقدار کدورت ۱۲۸
۴-۴-۲-۳ مقایسهٔ آماری برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو فرمولاسیون (تهیه شده با امولسیفایر T80 و SMP) ۱۳۰
۴-۴-۲-۴ رفتار جریانی (فرمولاسیون ۱ و ۲) ۱۳۱
۴-۴-۲-۵ تاثیر دما و زمان‌های مختلف نگه‌داری بر پایداری فیزیکی (فرمولاسیون ۱ و ۲) ۱۳۳

۴-۴-۲-۵-۱ وضعیت ظاهری و پایداری فیزیکی ۱۳۳
۴-۴-۲-۵-۲ ویژگی اندازهٔ قطرات ۱۳۳
۴-۴-۲-۶ روند تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی دو فرمولاسیون (نقاط مرکزی) ۱۳۶
۴-۴-۳ نتیجه‌گیری ۱۳۹
۴-۵ تاثیر تنش‌های محیطی ۱۳۹
۴-۵-۱ تاثیر pH ۱۴۰
۴-۵-۱-۱ تاثیر pH روی وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌ها ۱۴۰
۴-۵-۱-۲ تاثیر pH روی ویژگی‌های اندازهٔ قطرات و توزیع اندازهٔ آن‌ها ۱۴۲
۴-۵-۲ تاثیر غلظت و نوع نمک ۱۴۵
۴-۵-۲-۱ تاثیر غلظت و نوع نمک روی وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌ها ۱۴۵
۴-۵-۲-۲ تاثیر غلظت و نوع نمک روی ویژگی‌های اندازهٔ قطرات و توزیع اندازهٔ آن‌ها ۱۴۷
۴-۵-۳ تاثیر انجماد- رفع انجماد ۱۴۹
۴-۵-۴ تاثیر فرایند حرارتی ۱۵۱
۴-۵-۵ نتیجه‌گیری ۱۵۲
۴-۶ کارایی روش نانوامولسیون در محافظت از مواد موثرهٔ اسانس ۱۵۴
۴-۷ کاربرد نانوامولسیون‌های تهیه شده در محیط غذایی ۱۵۵
۴-۸ نتیجه‌گیری نهایی ۱۵۷
۴-۹ پیشنهادها ۱۵۹
منابع ۱۶۰
پیوست‌ها

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آن‌ها (فرمولاسیون ۱). ۶۱

جدول ۳-۲ نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آن‌ها (فرمولاسیون ۲). ۶۴

جدول ۴-۱ مقایسهٔ تاثیر SOR روی میانگین اندازهٔ قطرات، شاخص بس‌پاشیدگی و گرانروی نانوامولسیون اسانس روغنی پوست پرتقال و مقدار انرژی مصرفی در حین فرایند. ۷۷

جدول۴-۲ مقایسهٔ تاثیر حضور صمغ (نوع فرمولاسیون) روی ویژگی‌های بررسی شده. ۷۹

جدول ۴-۳ نمایش طراحی آزمون‌ها بر اساس مدل طرح مرکب مرکزی با سه متغیر به همراه نتایج اندازه‌گیری شده (فرمولاسیون ۱، حاوی ۱٪ اسانس + ۲٪ T80). ۸۷

جدول ۴-۴ نمایش طراحی آزمون‌ها بر اساس مدل طرح مرکب مرکزی با سه متغیر به همراه نتایج اندازه‌گیری شده (فرمولاسیون ۲، حاوی ۱٪ اسانس + ۲٪ T80 + ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵)). ۹۱

جدول ۴-۵ مقایسهٔ تاثیر زمان و دمای نگه‌داری روی ویژگی‌های اندازهٔ قطرات (فرمولاسیون ۱، حاوی ۱٪ اسانس + ۲٪ T80). ۱۰۶

جدول ۴-۶ مقایسهٔ تاثیر زمان و دمای نگه‌داری روی ویژگی‌های اندازهٔ قطرات (فرمولاسیون ۲، حاوی ۱٪ اسانس + ۲٪ T80 + ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵)). ۱۰۹

جدول ۴-۷ مقایسهٔ تاثیر زمان و دمای نگه‌داری روی شاخص‌های رنگ (فرمولاسیون ۱، حاوی ۱٪ اسانس + ۲٪ T80). ۱۱۲

جدول ۴-۸ مقایسهٔ تاثیر زمان و دمای نگه‌داری روی شاخص‌های رنگ (فرمولاسیون ۲، حاوی ۱٪ اسانس + ۲٪ T80 + ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵)). ۱۱۳

جدول ۴-۹ مقایسهٔ ویژگی‌های بررسی شده در دو نوع فرمولاسیون (نقاط مرکزی). ۱۱۴

جدول ۴-۱۰ نتایج تاثیر غلظت اسانس و اعمال تیمار حرارتی (۸۰°C به مدت ۱۰ دقیقه) روی برخی ویژگی‌های نانوامولسیون‌های (حاوی امولسیفایر T80 با SOR=۲) تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C). ۱۱۸

جدول ۴-۱۱ مقایسهٔ برخی از ویژگی‌های نانوامولسیون‌های حاوی ۱٪ اسانس و T80 یا SMP با SOR=۲، تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C). ۱۲۰

جدول ۴-۱۲ نمایش طراحی آزمون‌ها بر اساس مدل طرح مرکب مرکزی با دو متغیر به همراه نتایج اندازه‌گیری شده (فرمولاسیون ۱، تهیه شده با امولسیفایر T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)). ۱۲۳

جدول ۴-۱۳ مقایسهٔ ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو فرمولاسیون (نقاط مرکزی). ۱۳۱

جدول ۴-۱۴ شاخص‌های اندازهٔ قطرات نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با امولسیفایر T80 و SMP (به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)) پس از ۳ ماه نگه‌داری در دماهای مختلف. ۱۳۵
جدول ۴-۱۵ شاخص‌های اندازهٔ قطرات نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80 و SMP، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C) در pHهای مختلف (۲۴ ساعت پس از تولید). ۱۴۴
جدول ۴-۱۶ شاخص‌های اندازهٔ قطرات نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80 و SMP، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C) در قدرت‌های یونی مختلف (۲۴ ساعت پس از تولید). ۱۴۸
جدول ۴-۱۷ نتایج شناسایی اجزای فرار موجود در سرفضای نمونه‌ها. ۱۵۵
جدول ۴-۱۸ نتایج آزمون حسی نمونه‌های آب و شیر طعم‌دار شده با نانوامولسیون‌های تهیه شده از دو نوع امولسیفایر (T80 و SMP). ۱۵۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ سه ناحیهٔ تشکیل دهندهٔ یک امولسیون..... ۱۳

شکل ۱-۲ امولسیون (O/W) (چپ) و (W/O) (راست)..... ۱۵

شکل ۱-۳ سازوکارهای مختلف ناپایداری امولسیون‌ها..... ۲۰

شکل ۱-۴ الف) ساختمان قطرات تشکیل دهندهٔ یک نانوامولسیون روغن در آب. ب) مقایسهٔ ظاهری نانوامولسیون (چپ) و ماکروامولسیون (راست) به ترتیب با قطراتی به ابعاد ۳۵ نانومتر و ۱ میکرومتر..... ۲۱

شکل ۱-۵ محدودهٔ بسامد امواج صوتی..... ۲۹

شکل ۱-۶ مراحل پدیدهٔ حفره‌زایی..... ۳۳

شکل ۳-۱ تهیه محلول امولسیفایر سوکروز منوپالمیتات. تهیهٔ پراکنش (چپ) و نگه‌داری آن در حمام آب‌گرم برای جذب کامل آب (راست)..... ۵۱

شکل ۳-۲ نمای ظاهری (از راست به چپ) دستگاه زتاسایزر (Malvern، مدل Nano-ZS90)، تصویر واقعی و شماتیک سل ویژهٔ پتانسیل زتا..... ۵۳

شکل ۳-۳ نمای ظاهری (از راست به چپ) دستگاه تنسیومتر (Krüss، مدل K 10)، حلقهٔ پلاتینی و لحظهٔ بلند شدن حلقه از سطح نمونه..... ۵۴

شکل ۳-۴ نمای شماتیک (راست) و واقعی (چپ) ظرف طراحی شده..... ۵۶

شکل ۳-۵ مراحل تهیهٔ پیش‌مخلوط امولسیونی (راست) و تولید نانوامولسیون با استفاده از فراصوت و نحوهٔ استقرار دستگاه‌ها (چپ)..... ۵۷

شکل ۳-۶ نمای ظاهری دستگاه کروماتوگرافی گازی- جرمی (Thermo Qüest Finnigan، مدل Trace GC/MS) و سرنگ تزریق..... ۶۸

شکل ۴-۱ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های حاوی ۱ درصد اسانس و ۲ درصد سورفاکتانت‌های کوچک مولکول (از راست به چپ T80، T60 و T20)، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C)..... ۷۲

شکل ۴-۲ مقایسهٔ وضعیت ظاهری امولسیون های حاوی ۱ درصد اسانس و ۲ درصد انواع امولسیفایرهای بزرگ مولکول (از راست به چپ کازئینات سدیم، WPC و نمونه‌های تولید شده با WPI و T80 (ترکیب WPI : T80 در نسبت‌های ۱:۴، ۴:۱، ۱:۱ و WPI به تنهایی))، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C)..... ۷۳

شکل ۴-۳ مقایسهٔ وضعیت ظاهری امولسیون‌های حاوی ۱ درصد اسانس، ۲ درصد T80 و صمغ‌ها (از راست به چپ بخش محلول صمغ فارسی با غلظت ۰/۲۵٪، بخش محلول کتیرا با غلظت‌های ۰/۰۶۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۲۵٪ و حضور ترکیبی بخش محلول صمغ فارسی: کتیرا با غلظت ۰/۲۵٪ در نسبت‌های ۵۰ :۵۰ و ۷۵ :۲۵)، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C)..... ۷۴

شکل ۴-۴ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های حاوی ۱٪ اسانس و نسبت‌های مختلف T80 (۳≤ SOR ≤۱) (مقدار SOR از سمت راست به چپ تصویر افزایش یافته است)، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C)..... ۷۵

شکل ۴-۵ نمودارهای توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) الف) نانوامولسیون‌های حاوی ۱٪ اسانس و نسبت‌های مختلف T80 (SOR) برابر ۱، ۲ و ۳). ب) فرمولاسیون‌های F1 (بدون صمغ) و F5 (حاوی ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵)). ج) فرمولاسیون‌های F1 (بدون صمغ)، F2 (حاوی ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی) و F3 (حاوی ۰/۱۲۵٪ فاز محلول کتیرا)، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C)..... ۸۰

شکل ۴-۶ نمودارهای رفتار جریانی نانوامولسیون‌های حاوی ۱٪ اسانس و ۲٪ T80، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C): (الف) تنش برشی در مقابل سرعت برشی، (ب) گرانروی در مقابل سرعت برشی و (ج) گرانروی در مقابل زمان (در دمای ۲۵°C و سرعت برشی ۹۱/۷۳ بر ثانیه)..... ۸۲

شکل۴-۷ تاثیر مدت زمان نگه‌داری (در دمای ۲۵°C) و فرمولاسیون‌های مورد بررسی روی روند تغییرات میانگین اندازهٔ قطرات نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۱ درصد اسانس و ۲٪ T80)، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۱۰۰٪، زمان ۱۲۰ ثانیه و دمای ۲۵°C)..... ۸۴

شکل۴-۸ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ مربوط به اثرات متقابل دوتایی (دما، زمان و شدت فراصوت) روی مقدار انرژی مصرفی (الف-ب-پ)، گرانروی (ت-ث-ج)، میانگین اندازهٔ قطرات (چ-ح-خ) و شاخص بس‌پاشیدگی (د-ذ-ر) نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۱٪ اسانس و ۲٪ T80)..... ۱۰۰

شکل۴-۹ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ مربوط به اثرات متقابل دوتایی (دما، زمان و شدت فراصوت) روی مقدار انرژی مصرفی (الف-ب-پ)، گرانروی (ت-ث-ج)، میانگین اندازهٔ قطرات (چ-ح-خ) و شاخص بس‌پاشیدگی (د-ذ-ر) نانوامولسیون های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۱٪ اسانس، ۲٪ T80 و ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵))..... ۱۰۱

شکل ۴-۱۰ نمودارهای رفتار جریانی نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۱٪ اسانس، ۲٪ T80 و ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵))، تولید شده به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C): (الف) تنش برشی در مقابل سرعت برشی، (ب) گرانروی در مقابل سرعت برشی و (ج) گرانروی در مقابل زمان (در دمای ۲۵°C و سرعت برشی ۹۱/۷۳ بر ثانیه)..... ۱۰۳

شکل ۴-۱۱ تاثیر دما و مدت زمان نگه داری روی روند تغییرات الف) میانگین اندازهٔ قطرات و ب) شاخص بس‌پاشیدگی در نانوامولسیون اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۱٪ اسانس و ۲٪ T80) تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)..... ۱۰۷

شکل ۴-۱۲ تاثیر دما و مدت زمان نگه‌داری روی روند تغییرات الف) میانگین اندازهٔ قطرات و ب) شاخص بس‌پاشیدگی در نانوامولسیون اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۱٪ اسانس، ۲٪ T80 و ۰/۲۵٪ فاز محلول صمغ فارسی و کتیرا به صورت ترکیبی با نسبت (۷۵ : ۲۵)) تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)..... ۱۱۰

شکل ۴-۱۳ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های حاوی ۶ تا ۱۵٪ اسانس روغنی پوست پرتقال و T80 (SOR=۲) تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C).....۱۱۷
شکل ۴-۱۴ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نمونه‌های حرارت داده شده (راست) (از چپ به راست حاوی ۶، ۸ و ۱۰٪ اسانس و T80 با SOR=۲)، نمونهٔ حرارت دیده و سپس نگه‌داری شده در یخچال (وسط) (حاوی ۱۰٪ اسانس و T80 با SOR=۲) و نمونه‌های تولید شده با و بدون پروپیلن گلیکول (چپ) (نمونهٔ راست حاوی ۸٪ اسانس، T80 با SOR=۲ و پروپیلن گلیکول (به مقدار ۱/۵ برابر غلظت T80) و نمونهٔ چپ حاوی ۱٪ اسانس و T80 با SOR=۲) (تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)).....۱۱۸
شکل ۴-۱۵ وضعیت ظاهری الف) نمونه‌های حاوی ۱٪ اسانس و غلظت‌های ۰/۵ تا ۲٪ SMP (از راست به چپ). ب) نمونه‌های حاوی ۱٪ اسانس و ۲٪ SMP حرارت دیده و نگه‌داری شده در یخچال، حرارت دیده و نگه‌داری شده در دمای محیط، حرارت ندیده و نگه‌داری شده در دمای محیط، حرارت ندیده و نگه‌داری شده در یخچال (از راست به چپ تصویر)، تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C).....۱۲۱
شکل ۴-۱۶ نمودار توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) نانوامولسیون‌های حاوی ۱٪ اسانس و T80 یا SMP با SOR=۲، تهیه شده با فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C).....۱۲۱
شکل ۴-۱۷ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های تهیه شده با امولسیفایر T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، بر اساس طراحی آزمایش (جدول ۴-۱۲) (نمونه‌های ۱ تا ۱۳، به ترتیب از چپ به راست در تصویر بالا و پایین).....۱۲۲
شکل ۴-۱۸ مقایسهٔ وضعیت ظاهری (۲۴ ساعت پس از تولید و نگه‌داری در دمای محیط) نمونه‌های تهیه شده با امولسیفایر SMP، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، بر اساس طراحی آزمایش (نمونه‌های تهیه شده با SOR برابر ۲ (راست)، SOR برابر ۱/۵ (وسط) و SOR برابر ۱ (چپ)).....۱۲۳
شکل ۴-۱۹ نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ مربوط به اثرات متقابل دوتایی (غلظت اسانس و SOR) روی مقدار انرژی مصرفی (الف)، گرانروی (ب)، میانگین اندازهٔ قطرات (پ)، شاخص a^* (ت)، شاخص b^* (ث) و کدورت بر مبنای درصد عبور نور (ج) نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال تهیه شده با امولسیفایر T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C).....۱۲۹
شکل ۴-۲۰ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون های حاوی ۹٪ اسانس با SOR متفاوت (۱، ۱/۵ و ۲ از چپ به راست تصاویر)، تهیه شده با الف) SMP و ب) T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C).
.....۱۳۰
شکل ۴-۲۱ نمودارهای رفتار جریانی نانوامولسیون‌های تهیه شده با T80 و SMP (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵)، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C): (الف) تنش برشی در مقابل سرعت برشی (T80)، (ب) گرانروی در مقابل زمان (T80)، (ج) تنش برشی در مقابل سرعت برشی (SMP) و (د) گرانروی در مقابل زمان (SMP) (در دمای ۲۵°C).....۱۳۲

شکل ۴-۲۲ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های تهیه شده با T80 (تصاویر چپ) و SMP (تصاویر راست) (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵)، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، طی ۳ ماه نگه‌داری در دماهای ۵ (الف)، ۲۵ (ب) و ۴۵°C (ج)..... ۱۳۳
شکل ۴-۲۳ نمودارهای توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده (به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)) با (الف) امولسیفایر T80 پس از ۳ ماه نگه‌داری در دماهای ۵ و ۲۵°C و (ب) SMP پس از ۳ ماه نگه‌داری در دمای ۲۵°C...۱۳۵
شکل ۴-۲۴ مقایسهٔ تاثیر نوع امولسیفایر (T80 و SMP) و مدت نگه‌داری در دمای محیط روی گرانروی (الف)، کدورت (ب)، شاخص L^* (پ)، a^* (ت) و b^* (ث) نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C) (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشند)..... ۱۳۷
شکل ۴-۲۵ مقایسهٔ تاثیر دما (۵ و ۲۵°C) و مدت نگه‌داری روی گرانروی (الف)، کدورت (ب)، شاخص L^* (پ)، a^* (ت) و b^* (ث) نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)..... ۱۳۸
شکل ۴-۲۶ مقایسهٔ تاثیر pH (از چپ به راست ۲، ۴/۵، ۷ و ۹/۵) روی وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، طی یک ماه نگه‌داری در دمای ۲۵°C..... ۱۴۰
شکل ۴-۲۷ مقایسهٔ تاثیر pH (از چپ به راست تصاویر ۲، ۴/۵، ۷ و ۹/۵) روی وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با SMP، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، طی یک ماه نگه‌داری در دمای ۲۵°C (روز نخست (الف)، روز دوم (ب)، روز دهم (ج) و روز سی‌ام (د))..... ۱۴۱
شکل ۴-۲۸ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با سامانه‌های بافری (از چپ به راست تصاویر، pH برابر ۳، ۵ و ۷) (تحت شرایط فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)) طی یک ماه نگه‌داری در دمای ۲۵°C. الف) T80، روز نخست، ب) T80، روز سی‌ام، ج) SMP، روز نخست و د) SMP، روز سی‌ام..... ۱۴۲
شکل ۴-۲۹ تاثیر pHهای مختلف روی توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80 (الف) و SMP (ب) (۲۴ ساعت پس از تولید به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C))..... ۱۴۴
شکل ۴-۳۰ مقایسهٔ تاثیر نوع و غلظت نمک‌ها روی وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال تهیه شده با T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، الف) روز نخست (از چپ به راست، شاهد، NaCl, 100 mM، $CaCl_2$, 100 mM، NaCl, 200 mM و $CaCl_2$, 200 mM) و ب) بعد از دو ماه نگه‌داری در دمای ۲۵°C (از چپ به راست، شاهد، NaCl, 100 mM، NaCl, 200 mM، $CaCl_2$, 100 mM و $CaCl_2$, 200 mM). ۱۴۶

شکل ۴-۳۱ مقایسهٔ تاثیر نوع و غلظت نمک‌ها روی وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های اسانس روغنی پوست پرتقال تهیه شده با SMP، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، الف) روز نخست (از چپ به راست تصویر، شاهد، NaCl, 100 mM، NaCl, 200 mM، $CaCl_2$, 100 mM و $CaCl_2$, 200 mM)، ب) ظهور آثار ناپایداری در روز بیستم طی نگه‌داری در دمای ۲۵°C (از چپ به راست تصویر، شاهد، $CaCl_2$, 100 mM و $CaCl_2$, 200 mM)، ج) ظهور آثار ناپایداری در روز سی‌ام (از چپ به راست تصویر، NaCl, 100 mM و NaCl, 200 mM) و د) ناپایداری بیش‌تر با افزایش غلظت نمک (از چپ به راست تصویر، NaCl, 100 mM، NaCl, 200 mM، $CaCl_2$, 100 mM و $CaCl_2$, 200 mM). ۱۴۷

شکل ۴-۳۲ تاثیر غلظت و نوع نمک روی توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80 (الف) و SMP (ب) (۲۴ ساعت پس از تولید به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)). ۱۴۹

شکل ۴-۳۳ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80 یا SMP به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، در مراحل الف) قبل از انجماد، ب) بعد از انجماد، ج) پس از رفع انجماد و د) پس از یک ماه نگه‌داری در دمای محیط. ۱۵۰

شکل ۴-۳۴ تاثیر انجماد و رفع انجماد روی توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C). ۱۵۱

شکل ۴-۳۵ مقایسهٔ وضعیت ظاهری نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80 یا SMP به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C)، در مراحل الف) پس از تیمار حرارتی و رسیدن به دمای محیط، ب) پس از یک ماه نگه‌داری در دمای محیط و ج) پس از اعمال فرایند حرارتی با دمای ۸۰°C به مدت ۱۰ دقیقه. (T= T80, S= SMP) (دمای ۸۰°C به مدت ۳۰ دقیقه =1) (دمای ۱۲۱°C به مدت ۱۵ دقیقه =2). ۱۵۳

شکل ۴-۳۶ تاثیر فرایند حرارتی (دمای ۸۰°C به مدت ۱۰ دقیقه) روی توزیع اندازهٔ قطرات بر حسب حجم (راست) و شدت تفرق نور (چپ) نانوامولسیون‌های (حاوی ۹٪ اسانس با SOR برابر ۱/۵) تهیه شده با T80، به کمک فراصوت (شدت ۹۴٪، زمان ۱۳۸ ثانیه و دمای ۳۷°C). ۱۵۳