

الحمد لله الذي
خلقنا من
الحمم



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی

درون پوشانی روغن ماهی با پوشش زئین / صمغ ریحان به روش خشک کن پاششی

نگارنده: زهرا تحویلیان پائین دروازه

استاد راهنما

دکتر احمد رجایی نجف آبادی

استاد مشاور

دکتر محمد هادی موحد نژاد

آبان ۱۴۰۰

مقدس ترین واژه مادر لغت نامه دلم

پدرم، اولین استادم، که بهواره چتر محبتش بر سرم است

بزرگواری که انبای زندگی را از او آموختم.

مادرم، بلند تکیه کا هم، که دلمان پر مهرش یگانه پناهم است

مهربانی که عشق و رزیدن را از او آموختم.

و تقدیم به یگانه برادرم همراه همیشگی و پشتوانه ی زندگی ام..

تشکر و سپاس بی پایان مخصوص خدای است که بشنر آفریده و به او قدرت اندیشیدن داده و توانایی های بالقوه را در وجود انسان قرار داده و او را امر به تلاش و کوشش نموده و راهنمایی را برای هدایت بشرفرستاده است. سپاس از پدر بزرگوار و مادر مهربانم، آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشته، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر برای مشکلات و ناملایات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم. سپاس گزارم از استاد بزرگوارم جناب آقای، دکتر احمد رجایی نخب آبادی که بهواره و همه جا اشارت و راهنمایی شان چون فانوسی در این تاریک راه، کار کشا و راهگشا بود و آنچه کردند برای من همیشه ماندگار. جز آرزوی بهر روزی و پیروزی شان بضاعتی ام نیست برای اقتنان از جناب آقای دکتر محمدی مودت نژاد به پاس بذل لطف و مشاوره های بی دریغشان سپاس گزارم و بهواره بذل لطف الهی را در کارهایشان مسکن دارم.

و با سپاس بی اندازه از دوستان عزیز و مهربانم که حضور کریشان تداعی کر شیرین ترین لحظه های زندگی من است.

تهیه نامه

اینجانب زهرا تحویلیان پائین دروازه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه درون پوشانی روغن ماهی با پوشش زئین / صمغ ریحان به روش خشک کن پوششی تحت راهنمایی دکتر احمد رجایی نجف آبادی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

در این پژوهش تولید نانوکپسول‌های روغن ماهی با استفاده از پوشش صمغ دانه ریحان و زئین به همراه عصاره زرشک و آلفاتوکوفرول با روش خشک کردن پاششی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا ۴ نوع امولسیون پیکرینگ روغن ماهی در آب با پایدار کننده‌های مختلف به شرح: ۱- صمغ ریحان-زئین، ۲- صمغ ریحان-زئین حاوی آلفاتوکوفرول، ۳- صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین و ۴- صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین حاوی آلفاتوکوفرول تهیه گردید. صمغ ریحان و زئین با نسبت ۱:۱ به عنوان دیواره و همچنین نسبت دیواره به هسته (روغن ماهی) ۲ به ۱ بود. آنالیز اندازه ذرات امولسیون‌های مختلف نشان داد اندازه ذرات با انجام فراصوت به زیر ۱۰۰ نانومتر کاهش یافت. همچنین مقادیر D_{50} برای امولسیون پایدار شده با صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین حاوی آلفاتوکوفرول بیشترین مقدار و برای امولسیون پایدار شده با صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین کمترین میزان بود. نتایج ویسکوزیته برای تمام نمونه‌ها رفتار سودوپلاستیک را نشان داد. همچنین در آزمون فرکانس مشاهده شد تمامی امولسیون‌ها در فرکانس پایین رفتار الاستیک و در فرکانس بالا رفتار ویسکوز داشتند. تصاویر میکروسکوپ نوری ذراتی کروی در اندازه‌های مختلف را نشان داد. آنالیز رنگ امولسیون‌ها تفاوت چشم‌گیری نشان نداد. در ادامه تحقیق امولسیون‌های تهیه شده، توسط خشک‌کن پاششی نانو خشک و تبدیل به پودر شدند. سپس شاخص پخش پذیری مجدد، مورفولوژی پودرها، آنالیز تفرق اشعه ایکس، گرما سنجی روبشی تفاضلی و رنگ پودرها بررسی شد. شاخص پخش پذیری مجدد برای پودر مربوط به پوشش صمغ ریحان-زئین توانایی بازیابی به امولسیون اولیه و برای بقیه پودرها عدم توانایی بازیابی به امولسیون اولیه را نشان داد. نتایج حاصل از مورفولوژی ذراتی کروی با ساختارهای متراکم،

سطحی صاف بدون ترک و در اندازه‌های مختلف را نشان داد. آنالیز تفرق اشعه ایکس حاکی از طبیعت کریستالی تمامی پودرها بود و همچنین بیشترین شدت پیک مربوط به پودر پوشش‌های صمغ ریحان-زئین حاوی آلفاتوکوفرول و صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین حاوی آلفاتوکوفرول بود. بررسی پایداری اکسیداتیو پودرها نشان داد که افزودن توأم آلفاتوکوفرول و عصاره زرشک به پوشش، بیشترین پایداری را ایجاد نمود. در مورد ارزیابی رنگ پودرها بیشترین قرمزی برای پودرهای مربوط به پوشش صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک، به دلیل اثر افزودن عصاره زرشک مشاهده شد و به‌طور کلی با خشک‌کردن امولسیون‌ها میزان روشنایی کاهش و میزان قرمزی و زردی افزایش یافت.

کلمات کلیدی: روغن ماهی، درون‌پوشانی، صمغ ریحان، زئین، خشک‌کن پوششی نانو، امولسیون

پیکرینگ، آلفاتوکوفرول

فهرست مطالب

فهرست جداول.....	ز
فهرست اشکال.....	ش
مقدمه.....	ص
فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱ امگا ۳ و فواید مصرف آن.....	۲
۲-۱ روغن ماهی.....	۳
۳-۱ اکسیداسیون.....	۳
۱-۳-۱ اثرات اکسیداسیون بر روغن.....	۴
۲-۳-۱ راه‌های مهار اکسیداسیون.....	۵
۳-۳-۱ انواع آنتی‌اکسیدان‌ها.....	۶
۴-۱ درون‌پوشانی.....	۶
۵-۱ انواع مواد دیواره.....	۸
۱-۵-۱ پوشش‌های پروتئینی.....	۹
۱-۱-۵-۱ ویژگی پوشش‌های پروتئینی.....	۱۰
۱-۱-۵-۱ پروتئین زئین ذرت.....	۱۱
۲-۵-۱ پوشش‌های هیدروکلوئیدی.....	۱۳
۱-۲-۵-۱ گیاه ریحان.....	۱۵
۱-۱-۲-۵-۱ صمغ دانه ریحان.....	۱۶
۶-۱ امولسیون.....	۱۷
۱-۶-۱ امولسیون‌های کلاسیک.....	۱۸
۲-۶-۱ امولسیون‌های پیکرینگ.....	۱۸

۱۹	۷-۱ خشک کردن پاششی
۲۰	۱-۷-۱ خشک کن پاششی نانو
۲۱	۲-۷-۱ خشک کردن پاششی امولسیون ها
۲۳	فصل دوم: مروری بر پژوهش های پیشین
۲۴	۱-۲ پژوهش های مربوط به روغن ماهی
۳۵	۲-۲ پژوهش های مربوط به صمغ ریحان
۳۸	۳-۲ پژوهش های مربوط به زئین
۴۳	فصل سوم: مواد و روش ها
۴۴	۱-۳ مواد و تجهیزات مورد استفاده
۴۵	۲-۳ استخراج صمغ دانه ریحان
۴۶	۳-۳ روش خالص سازی زئین
۴۶	۴-۳ اندازه گیری محتوای آنتوسیانین عصاره زرشک
۴۸	۵-۳ مراحل تهیه نانوکپسول ها
۴۸	۱-۵-۳ آماده سازی محلول مواد دیواره (صمغ ریحان-زئین)
۴۹	۲-۵-۳ تبخیر حلال با تغلیظ کننده تحت خلأ و تهیه امولسیون های پیکرینگ
۴۹	۳-۵-۳ خشک کردن امولسیون ها با نانو خشک کن پاششی
۵۰	۶-۳ آزمایش های انجام شده مربوط به امولسیون ها
۵۰	۱-۶-۳ تصویربرداری از امولسیون ها با میکروسکوپ نوری
۵۱	۲-۶-۳ تعیین اندازه ذرات
۵۲	۳-۶-۳ تعیین ویسکوزیته و خواص ویسوالاستیک امولسیون ها
۵۲	۴-۶-۳ ارزیابی رنگ امولسیون ها
۵۳	۷-۳ آزمایش های انجام شده مربوط به پودرها
۵۳	۱-۷-۳ پخش پذیری مجدد پودرها
۵۴	۲-۷-۳ بررسی مورفولوژی پودرها (FESEM)

۵۴	XRD آنالیز ۳-۷-۳
۵۴	DSC آزمون ۴-۷-۳
۵۵	ارزیابی رنگ پودرها ۵-۷-۳
۵۵	تجزیه و تحلیل آماری ۸-۳
۵۷	فصل چهارم: بحث و نتایج
۵۸	۱-۴ نتایج حاصل از محتوای آنتوسیانین
۵۸	۲-۴ بررسی نتایج آزمون‌های مربوط به امولسیون‌ها
۵۹	۱-۲-۴ تصاویر امولسیون‌ها با میکروسکوپ نوری
۶۰	۲-۲-۴ اندازه ذرات امولسیون‌ها قبل و بعد از فراصوت
۶۲	۳-۲-۴ ویسکوزیته و خواص ویسکوالاستیک امولسیون‌ها
۶۶	۴-۲-۴ ارزیابی رنگ امولسیون‌ها
۶۷	۳-۴ بررسی نتایج آزمون‌های مربوط به پودرها
۶۷	XRD آنالیز ۱-۳-۴
۷۰	۲-۳-۴ پخش پذیری مجدد پودرها
۷۲	۳-۳-۴ مورفولوژی پودرها (FESEM)
۷۶	DSC آزمون ۴-۳-۴
۸۰	۵-۳-۴ ارزیابی رنگ پودرها
۸۳	۴-۴ نتیجه گیری
۸۵	۵-۴ پیشنهادات
۸۶	منابع

فهرست جداول

جدول ۳-۱. تجهیزات و لوازم	۴۴
جدول ۴-۱. مشخصات امولسیون‌های تهیه‌شده	۵۸
جدول ۴-۲. توزیع و اندازه ذرات امولسیون‌ها قبل از فراصوت	۶۰
جدول ۴-۳. توزیع و اندازه ذرات امولسیون‌ها بعد از فراصوت	۶۰
جدول ۴-۴. مقادیر ارزیابی رنگ امولسیون‌های تهیه‌شده	۶۷
جدول ۴-۵. توزیع و اندازه ذرات پودرهای تهیه‌شده	۷۱
جدول ۴-۶. مقادیر ارزیابی رنگ پودرهای خشک‌کن	۸۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. ساختار شیمیایی زئین ذرت ۱۳
- شکل ۳-۱. تصویر شماتیک یک امولسیون معمولی و امولسیون پیکرینگ ۱۹
- شکل ۱-۳. تصویر پودر صمغ دانه ریحان ۴۵
- شکل ۲-۳. تصویر پودر زئین خالص شده ۴۶
- شکل ۳-۳. تصویر نانو خشک کن پاششی مورد استفاده در تحقیق حاضر ۵۰
- شکل ۵-۳. دستگاه رئومتر مورد استفاده در تحقیق حاضر ۵۲
- شکل ۱-۴. امولسیون ها با میکروسکوپ نوری با عدسی $40\times$ قبل از فراصوت ۵۹
- شکل ۲-۴. تصاویر امولسیون ها با میکروسکوپ نوری با عدسی $40\times$ بعد از فراصوت ۶۰
- شکل ۳-۴. ویسکوزیته ظاهری در مقابل سرعت برشی امولسیون های تهیه شده ۶۲
- شکل ۴-۴. ضرایب ذخیره و افت امولسیون ها ۶۶
- شکل ۵-۴. تصویر امولسیون های تهیه شده ۶۶
- شکل ۶-۴. شاخص پخش پذیری مجدد امولسیون های تهیه شده ۷۲
- شکل ۷-۴. تصاویر SEM مربوط به پودرهای حاصله از خشک کن پاششی ۷۴
- شکل ۸-۴. الگوی XRD پودرهای به دست آمده از خشک کن پاششی ۷۰
- شکل ۹-۴. منحنی DSC مربوط به پودرهای حاصله از خشک کن پاششی ۷۸
- شکل ۱۰-۴. تصاویر پودرهای به دست آمده از خشک کن پاششی ۸۰

مقدمه

اسیدهای چرب به عنوان اصلی‌ترین و ساده‌ترین واحد لیپیدها دسته‌بندی می‌شوند و شامل دو دسته اشباع و غیراشباع می‌باشند. یکی از مهم‌ترین اسیدهای چرب غیراشباع، امگا ۳ است [۱]. روغن ماهی درواقع منبع اصلی امگا ۳ و اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد [۲]. اسیدهای چرب امگا ۳ به دلیل کاربردهای درمانی و تغذیه‌ای زیادی که دارند در سال‌های اخیر موردتوجه قرار گرفتند، اما حساسیت بالای آن‌ها به اکسیداسیون استفاده از آن‌ها را در مواد غذایی دچار مشکل کرده است [۳].

با افزایش آگاهی و شیوع بیماری‌های مزمن نظیر فشارخون بالا، سرطان، بیماری‌های قلبی و آلزایمر، افسردگی، مصرف جهانی مکمل‌های غذایی و محصولات غذایی حاوی روغن ماهی به سرعت افزایش یافته است. روش‌های مختلفی برای محافظت از این ترکیبات از جمله استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها و درون‌پوشانی وجود دارد. فناوری درون‌پوشانی یک روش منحصربه‌فرد برای بسته‌بندی مواد در قالب ذرات در حد نانو و به عنوان فرآیندی برای به دام انداختن یک ماده فعال درون ماده دیگر تحت عنوان دیواره، می‌باشد [۴].

در صنایع غذایی پلی‌فنل‌ها، افزودنی‌های فرار، رنگ‌ها، باکتری‌ها و آنزیم‌ها در کپسول‌های کوچک، برای ایجاد ثبات و محافظت آن‌ها در برابر ضررهایی همچون تجزیه ترکیبات فعال، از دست رفتن ترکیبات فرار، برهمکنش‌های فیزیکی-شیمیایی و ... قرار می‌گیرند [۵، ۶]. انتخاب ترکیب مناسب مواد دیواره،

برای افزایش حفاظت از اجزاء فعال و نیز دستیابی به ذرات پایدار در طی درون‌پوشانی مهم می‌باشد.

درواقع درون‌پوشانی فناوری بسته‌بندی مواد گازی، مایع و یا جامد در کپسول‌ها (بسته کوچک‌شده)

برای رهاسازی در نرخ‌های کنترل‌شده با استفاده از رهایش مطلوب می‌باشد [۷].

ساده‌ترین نوع درون‌پوشانی شامل یک هسته احاطه‌شده با یک دیواره یا مانع است. هسته ترکیبی است

که نیازمند محافظت بوده و از یک ماده یا اجزای بیشتری تشکیل شده است. دیواره نیز ممکن است، یک

یا چندلایه و اغلب از جنس پروتئین و کربوهیدرات می‌باشد. این فناوری در مواد غذایی و نوشیدنی برای

کنترل رهایش ترکیبات فعال، محافظت اجزاء از آسیب‌های محیطی، کاهش از دست رفتن طعم در طی

مدت ماندگاری و نیز افزایش بازدهی و زیست‌موجودیت اجزاء به کار می‌رود [۸، ۹].

زئین پروتئین گیاهی حاصل از ذرت و نامحلول در آب می‌باشد. درواقع نسبت زیاد اسیدهای آمینه

غیرقطبی (لوسین، پرولین، آلانین و فنیل آلانین) در زئین آن را در آب نامحلول می‌کند. زئین تجاری

در دو درجه زئین سفید و زرد که حاوی غلظت بالایی از گزانتوفیل است، وجود دارد [۱۰].

گیاه ریحان یکی از جنس‌های مهم تیره نعناع^۱ است و به عنوان یک گیاه دارویی، مخصوص آشپزی و

مصرف به صورت تازه کاربرد دارد.

^۱ Lamiaceae

با خیساندن دانه گیاه ریحان درون آب یک لایه صمغی تشکیل می‌گردد که کاربردهای متنوعی دارد [۱۱].

در صنایع غذایی خشک‌کردن به روش خشک‌کن پاششی، معمول‌ترین و قدیمی‌ترین روش برای درون‌پوشانی می‌باشد. خشک‌کردن پاششی یک محلول، سوسپانسیون و امولسیون فرموله شده به‌طور گسترده‌ای برای تولید پودر که اجزاء فعال آن به‌خوبی در ماتریکس پخش شدند، استفاده می‌گردد [۱۲، ۱۳].

امولسیون‌سازی نقش کلیدی در بهبود بازدهی درون‌پوشانی، طعم‌دهنده‌های غذایی و روغن‌ها دارد [۱۴، ۱۵]. به‌خوبی ثابت شده که اندازه قطرات امولسیون، اثر مهمی بر بازدهی درون‌پوشانی در طی خشک‌کردن پاششی می‌گذارد. این گزارش‌ها به وضوح نشان می‌دهد که کاهش دادن اندازه قطرات امولسیون می‌تواند منجر به تولید پودرهایی با حفظ بالاتر مواد فرار و محتوای کمتر روغن درون‌پوشانی نشده، در سطح ذرات پودر گردد [۱۶].

در مورد امولسیون‌ها، ماده دیواره به عنوان یک پایدارکننده عمل می‌کند و امولسیون خشک‌شده، قادر به انحلال مجدد در آب می‌باشد [۱۷]. این عملیات به صورت مداوم انجام می‌گیرد و طی آن ماده به محیط خشک‌کننده پاشیده شده و از حالت سیال به شکل ذرات خشک‌شده درمی‌آید. چندین مزیت

برای این روش وجود دارد، مانند هزینه عملیاتی کم، کیفیت و پایداری بالای کپسول با عملکرد خوب،

حلالیت سریع کپسول، جابجایی و نگهداری آسان‌تر، اندازه کوچک کپسول و ... [۱۸، ۱۹].

با توجه به اینکه اسیدهای چرب غیراشباع در روغن ماهی نسبت به اکسیداسیون حساس هستند،

بنابراین این روغن به منظور استفاده در مواد غذایی، نیازمند محافظت در مقابل شرایط محیطی

می‌باشد. به همین دلیل هدف از این پژوهش تولید پودر روغن ماهی به وسیله نانو خشک‌کن پاششی

با استفاده از ترکیب دو پایدارکننده پوشش زئین حاوی آلفاتوکوفرول و صمغ دانه ریحان حاوی عصاره

زرشک هست.

فصل اول: کلیات

۱-۱ امگا ۳ و فواید مصرف آن

خانواده امگا ۳ متشکل از آلفا لینولنیک اسید (*ALA C18:3*)، ایکوزاپنتانوئیک اسید^۲ (*EPA C20:5*) و دکوزاهگزانوئیک اسید^۳ (*DHA C22:6*) است. این ترکیبات چند پیوند دوگانه در زنجیره خود دارند که اولین پیوند دوگانه در کربن سوم از سمت گروه متیل قرار گرفته است. امروزه زنجیره اسیدهای چرب امگا ۳، روغن ماهی و مکمل‌های روغن ماهی جزء منابع غذایی برتر محسوب می‌شوند. ماهی‌های چرب مانند هرینگ، ماکرل و کبد ماهی سفید و ماهی‌های کم‌چرب مانند کاد و هالیبوت منبع طبیعی ایکوزاپنتانوئیک اسید (*EPA*) و چربی پستانداران دریایی مانند نهنگ و گونه‌های جلبک منبع طبیعی دکوزاهگزانوئیک اسید (*DHA*) می‌باشند [۲۰]. گردو، دانه‌های چیا، برخی از انواع لوبیا و روغن کتان و زیتون نیز به عنوان منابع آلفا لینولنیک اسید (*ALA*) شناخته می‌شوند [۲۱].

امگا ۳ جزء اسیدهای چرب غیراشباع^۴ (*PUFA*) و ضروری محسوب شده، بدان معنی که برای سلامتی لازم بوده ولی توسط بدن ساخته نمی‌شود از این رو باید از طریق منابع غذایی دریافت شود [۲۲]. از جمله بیماری‌هایی که اسیدهای چرب امگا ۳ در بهبود آن‌ها نقش دارند می‌توان به بیماری‌های قلبی - عروقی، سرطان سینه و پروستات، میگرن و انواع سردردها، استرس، ناباروری، بیماری‌های گوارشی، اختلالات بینایی، سکته، دیابت و اختلالات روده‌ای - معده‌ای اشاره کرد [۲۳، ۲۴].

^۲ Eicosapentaenoic Acid

^۳ Docosahexanoic Acid

^۴ Polyunsaturated fatty Acid

به دلیل کاربردهای درمانی و تغذیه‌ای زیادی که اسیدهای چرب امگا ۳ دارند، در سال‌های اخیر موردتوجه قرار گرفته‌اند؛ اما حساسیت بالای آن‌ها به اکسیداسیون، استفاده از آن‌ها را در مواد غذایی دچار مشکل کرده است [۲۵]. برای محافظت از این ترکیبات روش‌های مختلفی از جمله استفاده از آنتی‌اکسیدان و درون‌پوشانی وجود دارد [۲۶]. آگاهی مصرف‌کنندگان از اثرات سمی آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی در سال‌های اخیر باعث استقبال مصرف‌کنندگان از مواد افزودنی طبیعی گردیده است.

۱-۲ روغن ماهی

تأثیر اسیدهای چرب غیراشباع چندانکه بر سلامتی انسان، طی دهه‌های گذشته موردبررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که این ترکیبات در بدن اثرات سلامتی بخش و مفیدی دارند. تحقیقات نشان داد، اسیدهای چرب چند غیراشباعی در روغن‌های دریایی به شکل فسفولیپید، استروئید و تری‌گلیسیرید یافت می‌شوند. مهم‌ترین این مواد اسیدهای چرب امگا ۳ می‌باشند. میزان اسیدهای چرب موجود در روغن ماهی، برحسب گونه و فصل صید متفاوت هست. در حال حاضر روغن ماهی به عنوان یک منبع غنی از امگا ۳ شناخته می‌شود [۲۷].

۱-۳ اکسیداسیون

اکسیداسیون فرآیندی است که باعث تولید رادیکال‌های آزاد گردیده و رادیکال‌های آزاد تولیدشده، به عنوان آغازگر واکنش‌های زنجیره‌ای عمل کرده و موجب آسیب به سلول‌ها می‌شوند. واکنشی که بین

لیپیدها و رادیکال‌های آزاد رخ می‌دهد، باعث اکسیداسیون ترکیبات حاوی لیپید می‌گردد. مواد غذایی متشکل از چندین نوع ترکیب بوده که به آسانی اکسید می‌شوند. بیشتر ترکیبات موجود در مواد غذایی، اکسیژن را تحمل می‌کنند، اما لیپیدها تمایل زیادی به از دست دادن الکترون داشته و طی فرآیند سرخ کردن اکسید می‌شوند [۲۸]. در مورد روغن‌های خوراکی سازوکارهای شیمیایی گوناگونی از قبیل اتواکسیداسیون، فوتواکسیداسیون و اکسیداسیون آنزیمی مطرح بوده که اتواکسیداسیون مربوط به اکسیداسیون حرارتی می‌باشد. اخیراً مطالعات گوناگونی به منظور کاهش اثرات سوء اکسیداسیون در حال انجام است [۲۹].

۱-۳-۱ اثرات اکسیداسیون بر روغن

اکسید شدن لیپیدها عامل ایجاد اکسیداسیون و فساد مواد غذایی است. در واقع تخریب اسیدهای چرب و ویتامین‌های محلول در چربی، نقش به سزایی در کاهش کیفیت مواد غذایی و اکسید شدن کلسترول‌ها داشته که سلامت مصرف‌کننده را تهدید می‌کند. اکسیداسیون موجب بو و طعم نامناسب در مواد غذایی شده و در صورت پیشرفت، ماده غذایی غیرقابل مصرف گردیده و ترکیبات سمی و سرطان‌زا در آن به وجود می‌آید [۳۰].

۱-۳-۲ راه‌های مهار اکسیداسیون

آنتی‌اکسیدان‌های مهارکننده: این ترکیبات با جلوگیری از تبدیل هیدروپراکسیدهای لیپیدی به رادیکال‌های آزاد، مانع از اکسیداسیون می‌شوند.

آنتی‌اکسیدان‌های زنجیر شکن: این ترکیبات از بازدارنده‌های مرحله انتشار در اتواکسیداسیون لیپیدها هستند که از آن‌ها می‌توان به فنل‌های متداول موجود در روغن اشاره کرد.

خاموش‌کننده اکسیژن تک اتمی: از این گروه می‌توان کاروتنوئیدها به‌خصوص لیکوپن و توکوفرول‌ها را نام برد.

سینرژیست آنتی‌اکسیدان زنجیر شکن: این ترکیبات اگر به‌تنهایی به کار روند تأثیری ندارند، ولی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های زنجیر شکن را افزایش می‌دهند. اسید سیتریک یکی از آن‌ها می‌باشد.

عوامل احیاکننده: از این گروه می‌توان تیول و سولفید را نام برد که هیدروپراکسید را به ذرات پایدار تبدیل می‌کنند.

چلاته‌کننده‌های^۵ فلزی: این گروه ترکیباتی مانند پروکسیدان‌های فلزی آهن، مس و مشتقات آن‌ها را به ذرات پایدار تبدیل می‌نمایند. در صورت چلاته نشدن، فلزات رادیکال‌های آزاد را از راه تجزیه هیدروپراکسید چربی‌ها، افزایش می‌دهند.

^۵ Chelating agent

مهارکننده‌های آنزیم‌های کمک اکسایشی: این گروه آنزیم‌هایی از قبیل لیپوکسیژناز که موجب اکسید اسیدهای چرب می‌شوند را غیرفعال می‌کنند. از این گروه می‌توان فلاونوئیدها، اسیدهای فنلی و گالات‌ها را نام برد [۳۱].

۱-۳-۳ انواع آنتی‌اکسیدان‌ها

انواع طبیعی آنتی‌اکسیدان‌ها از گیاهان و میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها حاصل می‌شوند که به خاطر منبع طبیعی‌شان مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار دارند [۳۲]. دومین گروه از آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیبات سینتیک هستند که توسط انسان و به صورت صنعتی تولید می‌گردند. گروه سوم نیز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی هستند که به صورت صنعتی در مواد غذایی تولید می‌شوند و به آن‌ها آنتی‌اکسیدان‌های شبه‌طبیعی می‌گویند. این ترکیبات ارزان و در دسترس بوده و خواص آن‌ها مخلوطی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و سینتیک می‌باشد [۳۳].

۱-۴ درون‌پوشانی

طعم مواد غذایی نقش به سزایی در جلب رضایت مصرف‌کننده و میزان استفاده از آن محصول دارد. ترکیباتی که مسئول طعم، بو و رنگ ماده غذایی هستند، در برابر شرایطی مانند رطوبت، نور و دمای بالا ناپایدار می‌باشند، بنابراین تلاش برای حفاظت از مواد غذایی در برابر این شرایط و تولید محصولات غذایی مفید و سالم در حال افزایش است. اخیراً استفاده از مواد تغذیه‌ای مختلف مانند اسیدهای چرب

ضروری، کاروتنوئیدها، آنتی اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، مواد غذایی فیبری، مواد معدنی و پپتیدهای فعال

زیستی توجه دانشمندان و پژوهشگران صنعت غذا را جلب نموده است [۳۴].

درون‌پوشانی یا انکپسولاسیون^۶ از مهم‌ترین روش‌هایی است که به عنوان یک فرآیند مناسب برای

حفاظت و پایداری هر چه بیشتر ترکیبات فرار مواد غذایی و رهاسازی کنترل‌شده آن‌ها در محصولات

غذایی صورت می‌گیرد. فناوری انکپسولاسیون به عنوان یک روش منحصربه‌فرد برای بسته‌بندی مواد در

قالب ذرات در حد نانو و به عنوان فرآیندی برای به دام انداختن یک ماده فعال درون ماده دیگر که

همان دیواره است، به سرعت در حال پیشرفت می‌باشد. در صنایع غذایی پلی‌فنل‌ها، افزودنی‌های فرار،

رنگ‌ها، آنزیم‌ها و باکتری‌ها درون کپسول‌های کوچک برای ایجاد ثبات و محافظت آن‌ها در برابر ضررهای

غذایی، قرار می‌گیرند [۶]. درواقع در روش ریزپوشانی^۷ مواد موجود در هسته با کمک دیواره که می‌تواند

از جنس پروتئین، لیپید و کربوهیدرات باشد، در مقابل شرایط و عوامل محیطی حفظ می‌شوند [۳۵].

بدین ترتیب مواد واکنش‌پذیر از سایر اجزای سیستم غذایی جدا و انتشار آن‌ها کنترل می‌گردد. مواد

بسته‌بندی‌شده می‌توانند به صورت خالص یا مخلوط باشند که به نام‌های مختلفی اعم از مواد پوشش

داده‌شده، مواد هسته، پرکننده، فعال یا فاز داخلی نامیده می‌شوند. از طرف دیگر به مواد محصورکننده،

پوشش، دیواره، کپسول، حامل یا پوسته گفته می‌شود که همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره گردید،

^۶ Encapsulation

^۷ Microencapsulation

شامل گروه وسیعی از پلیمرهای طبیعی و سنتزی هستند. ریزکپسول‌ها را می‌توان در سه گروه جای داد، مانند ماکروکپسول‌ها که بیشتر از ۱ میلی‌متر اندازه دارند، میکروکپسول‌ها که بین ۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر هستند و نانو ذرات که بین ۱ تا ۱۰۰۰ نانومتر می‌باشند. با کوچک کردن هر چه بیشتر اندازه ذرات می‌توان به میزان بالاتری از زیست دسترسی آن‌ها، تحویل بهتر و افزایش حلالیت مواد موجود در آن‌ها دست یافت. صنایع غذایی به‌طور پیوسته، مواد و فرمولاسیون جدید را جهت درون‌پوشانی مواد غذایی توسعه می‌دهد. مواد پوشش‌دهنده مجاز بوده و از مهم‌ترین ویژگی‌های آن‌ها می‌توان به خوراکی و ایمن بودن، زیست‌تخریب‌پذیر بودن، ممانعت بین فازهای درونی و بیرونی، اثر محافظتی بالا روی مواد طی فرآیند و نگهداری و سهولت کار با آن‌ها اشاره کرد [۳۶].

۱-۵ انواع مواد دیواره

- پلی‌ساکاریدها و هیدروکلوئیدها: کربوکسی‌متیل سلولز، مالتودکسترین، نشاسته، پلی‌پکتیک
- انواع صمغ‌ها: صمغ دانه آفاقیا، صمغ عربی، آلژینات، آگار، کارگینان، صمغ گوار، صمغ دانه ریحان، صمغ دانه شاهی
- چربی‌ها: اسیدهای چرب، منو/دی/تری گلیسیریدها، کاپریک، پالمیتیک، استیریک اسیدها و نمک‌ها، میسل‌ها، لیپوزوم‌ها
- پروتئین‌ها: پروتئین‌های شیر، آلبومین، کازئین، ژلاتین، پروتئین سویا، زئین ذرت، گلوتن گندم

● کربوهیدرات‌ها: متیل اتیل سلولز، مالتوز، ساکاروز، لاکتوز، کیتوزان، پولولان، گزانتان

● واکس‌های هیدروفیلک و لیپوفیلک: لاک، پلی اتیلن، واکس کارنوبا، گلایکل

۱-۵-۱ پوشش‌های پروتئینی

اسیدهای آمینه واحدهای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها می‌باشند. پروتئین‌های موجود در مواد غذایی حداقل از ۲۰ اسید آمینه با زنجیره جانبی مختلف تشکیل گردیده‌اند، بنابراین می‌توان آن‌ها را کوپلیمر تصادفی از اسیدهای آمینه دانست. برخلاف بعضی از پلی‌ساکاریدها مانند نشاسته که هموپلیمر می‌باشند، پروتئین‌ها هتروپلیمر هستند و ساختار آن‌ها توسط پیوند که از نظر نوع، موقعیت و انرژی متفاوت هست، پایدار می‌گردد. ساختار اولیه پروتئین‌ها به پیوندهای پتیدی بین اسیدهای آمینه و توالی آن‌ها در مولکول، مربوط است. ساختارهای دوم، سوم و چهارم آن‌ها می‌توانند توسط عوامل فیزیکی و شیمیایی مختلفی، تغییر کنند. این عوامل شامل حرارت، تیمار مکانیکی، فشار، پرتودهی، اسید، قلیا، یون‌های فلزی و عوامل سطحی می‌باشند. درواقع این عوامل شکل پروتئین و برهمکنش‌های پروتئین را اصلاح می‌کنند تا ویژگی‌های مناسب در پوشش ایجاد شود. پروتئین‌های حیوانی که در پوشش استفاده می‌شوند شامل کراتین، کازئین، ژلاتین و پروتئین آب‌پنیر بوده و پروتئین‌های گیاهی که برای تولید محلول پوشش استفاده می‌شوند، شامل زئین ذرت، گلوتن گندم، پروتئین سویا و پروتئین پنبه‌دانه می‌باشند. پروتئین‌ها در حالت طبیعی به دو شکل وجود دارند. گروه اول پروتئین‌های

رشته‌ای بوده که این نوع پروتئین‌ها مانند کلاژن، کراتین و کارژین، بیشتر در بافت حیوانی وجود دارند. همچنین در آب نامحلول و یا کم‌محلول هستند. زنجیره پلی پپتیدی این پروتئین‌ها به موازات هم کشیده شده و توسط پیوند هیدروژنی به هم متصل می‌گردند و در حالت طبیعی بسیار گسترده بوده و نسبت به دناتوراسیون حرارتی، هیدرولیز شیمیایی و آنزیمی نسبتاً مقاوم می‌باشند [۳۷].

گروه دوم پروتئین‌های کروی می‌باشند که بیشتر در بافت گیاهی وجود دارند. اکثر انواع پروتئین‌ها مانند زئین ذرت، گلیادین گندم، گلیسینین سویا و پروتئین‌های حیوانی آب‌پنیر، جزو پروتئین‌های کروی هستند. این پروتئین‌ها در آب یا محلول‌های آبی اسیدها، بازها و نمک‌ها محلول بوده و زنجیرهای این پروتئین‌ها تا شده و توسط پیوندهای درون‌مولکولی هیدروژنی، دی سولفیدی و یونی، ساختار کروی پایدار تشکیل می‌دهند و نسبت به دناتوراسیون حرارتی، شیمیایی و آنزیمی حساس می‌باشند [۳۸].

۱-۵-۱ ویژگی پوشش‌های پروتئینی

اسیدهای آمینه قطبی (یونیزه و غیر یونیزه)، بخش عمده‌ای از اسیدهای آمینه پروتئین‌ها را تشکیل می‌دهند. به همین دلیل پروتئین‌ها خصوصیات بازدارندگی خوبی، در برابر اکسیژن و گازهای دیگر مثل دی‌اکسیدکربن دارند. قطبیت پروتئین‌ها خصوصیات بازدارندگی پوشش‌های پروتئینی را تعیین می‌نماید. این پوشش‌ها نفوذپذیری زیادی به مواد قطبی مانند بخار آب و نفوذپذیری کمی به مواد غیرقطبی مانند اکسیژن و روغن دارند. نفوذپذیری پوشش‌های پروتئینی به مواد قطبی و غیرقطبی در حضور رطوبت نسبی و نرم‌کننده‌ها افزایش می‌یابد. برای دستیابی به خواص بازدارندگی مطلوب در

پوشش‌های پروتئینی باید نرم‌کننده و پروتئین مناسب را انتخاب و شرایط تشکیل پوشش را بهینه نمود. پوشش‌های پروتئینی مقاومت کشش نهایی کمتری نسبت به اغلب پوشش‌های پلی‌ساکاریدی و نیز ازدیاد طول تا نقطه شکست کمتری نسبت به پوشش‌های سنتزی دارند. میزان نرم‌کننده تأثیر زیادی روی خصوصیات پوشش دارد. همچنین با افزایش نرم‌کننده، مدول یانگ، مقاومت کشش نهایی و درصد ازدیاد طول تا نقطه شکست کاهش می‌یابد. عوامل مختلفی از جمله نوع پروتئین، غلظت پروتئین در حلال، نوع و pH حلال، نوع و غلظت نرم‌کننده و روش تولید، خواص مکانیکی پوشش‌های پروتئینی تحت تأثیر قرار می‌دهد. پوششی از نظر مکانیکی مطلوب است که ضمن داشتن مقاومت مکانیکی زیاد، کشش‌پذیری و انعطاف‌پذیری خوبی داشته و ترد و شکننده نیز نباشد [۳۹].

۱-۱-۵-۱ پروتئین زئین ذرت

زئین یک پروتئین ذخیره‌ای از ذرت می‌باشد که ۴۵-۵۰ درصد از پروتئین‌های ذرت را تشکیل می‌دهد. تقریباً تمام محتوی زئین در آندوسپرم ذرت می‌باشد. زئین یک دسته از محصولات بر پایه پروتئین پرولامین با خواص بسیار آب‌گریز و خواص ممانعتی است که این آب‌گریزی به مقدار گروه‌های غیرقطبی آمینواسیدها برمی‌گردد. پوشش‌دهندگی، سختی، براقیت، مقاومت در برابر چربی و آب از منافع تجاری زئین و رزین‌های آن می‌باشد. زئین کاربردهای مختلفی از قبیل استفاده در الیاف، چسب، پوشش‌دهنده، سرامیک، جوهر، لوازم‌آرایشی و بهداشتی، نساجی، آدامس و پلاستیک

زیست تخریب پذیر دارد. ۶-۱۲ درصد ترکیب ذرت را پروتئین تشکیل می دهد که ۷۰ درصد آن در

جوانه قرار دارد، پروتئین ذرت به انواع زیر تقسیم می شوند:

آلبومین ها: که در آب خالص حل می شوند.

گلوبولین ها: که در آب نمکی ۰/۵-۱ مول، محلول می باشند.

گلوکلین ها: که در محلول های اسیدی و قلیایی ضعیف، محلول هستند.

پرولامین ها: پرولامین ذرت، زئین نام دارد. پرولامین در اتانول ۷۵ در صد محلول است و در آب خالص

و نمکی محلول نیست [۴۰].

از نظر ترکیب اسید آمینه، زئین حاوی اسید آمینه های غیرقطبی زیادی مثل لوسین، آلانین و پرولین

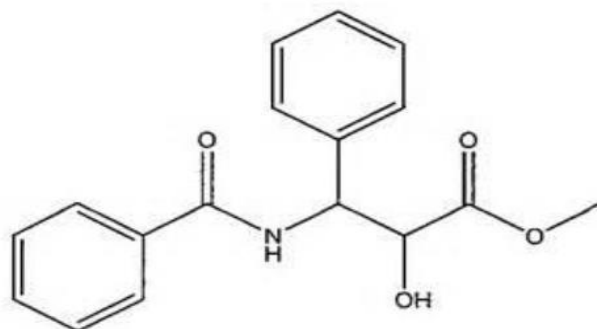
می باشد و به همین دلیل زئین در آب نامحلول است [۴۱]. همچنین میزان اسید آمینه گلوتامین در آن

زیاد بوده که این اسید آمینه می تواند باعث افزایش بیش از حد پیوندهای هیدروژنی بین زنجیری و کاهش

حلالیت زئین در آب شود، اما این ماده در غلظت زیاد اوره یا مواد قلیایی، پاک کننده های آنیونی و

اصلاحات آنزیمی، در آب محلول می شود. شکل ۱-۱ ساختار زئین بوده که از یک بخش آب دوست

(گروه های هیدروکسیلی و آمینی) و یک بخش آب گریز (حلقه) تشکیل شده است.



شکل ۱-۱. ساختار شیمیایی زئین

زئین تجاری زردرنگ بوده و محتوی کمتر از ۲۰ درصد مواد جامد غیرپروتئینی و مقادیر کمی روغن است. محلول‌های زئینی بسیار ناپایدار بوده و به سرعت بین مولکول‌ها، برهمکنش‌های دی سولفید، هیدروژنی و آب‌گریز ایجاد شده و ژل تشکیل می‌گردد [۴۰]. همچنین ویسکوزیته محلول زیاد می‌شود. سرعت ژله‌ای شدن محلول‌های الکلی زئین در غلظت‌های کمتر از ۱۰ درصد وزنی/وزنی بسیار کمتر است، ولی با زیاد شدن غلظت، سرعت تشکیل ژل افزایش می‌یابد. نوع و غلظت حلال، دما، سرعت هم‌زدن، حضور عوامل بازدارنده و غلظت زئین از عوامل مؤثر در سرعت ژله‌ای شدن می‌باشند. هرچقدر گروه‌های جانبی تشکیل‌دهنده پیوندهای آب‌گریز در یک پروتئین بیشتر باشند، بازدارندگی نسبت به رطوبت افزایش می‌یابد [۴۲].

۱-۵-۲ پوشش‌های هیدروکلوئیدی

هیدروکلوئیدها بیوپلیمرهای زیستی آبدوست با ساختمان پروتئینی یا کربوهیدراته و وزن مولکولی بالا می‌باشند که توانایی تولید محصول با ویسکوزیته بالا در غلظت‌های پایین را دارند و پرمصرف‌ترین

افزودنی در صنایع غذایی می باشند. علاوه بر ویژگی تغلیظ‌کنندگی و ایجاد گرانروی برخی هیدروکلوئیدها در محلول‌های آبی، ژل تشکیل می‌دهند. این مواد اولین بار در شیرابه درختان و درختچه‌ها، عصاره گیاهان و گیاهان دریایی، لعاب چسبناک حاصل از تخمیر و بسیاری از فرآورده‌های طبیعی یافت شدند. همچنین به دلیل عملکردهایی نظیر قوام‌دهندگی، تشکیل ژل، جلوگیری از تشکیل کریستال‌های شکر و یخ، کنترل رهایش عطر و طعم و جایگزین چربی، ترکیباتی عمل‌گرا در صنعت غذا محسوب شده و شامل تمامی پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از منابع دریایی، میکروبی، صمغ‌های مشتق شده از گیاهان و پلیمرهای زیستی بهبود یافته‌اند [۴۳]. صمغ‌ها در واقع کلوئید حقیقی محسوب نمی‌شوند ولی بیشتر پلیمرهای با اندازه کلوئیدی (۱۰ تا ۱۰۰۰ آنگستروم) دارای خصوصیات کلوئیدی مانند حفظ مواد معلق در محیط و نیز رؤیت‌پذیری زیر میکروسکوپ هستند. به‌طور کلی می‌توان گفت صمغ‌ها یا هیدروکلوئیدها در بیشتر مواقع محلول‌های مولکولی تشکیل می‌دهند. اهمیت و کاربرد هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آنها بستگی دارد. خاصیت تغلیظ‌کنندگی در همه صمغ‌ها مشترک بوده و این دلیل استفاده از آنها در بسیاری از موارد محسوب می‌شود. درجه تغلیظ‌کنندگی صمغ‌ها متفاوت بوده، به‌طوری‌که تعداد کمی از آنها در غلظت‌های زیاد گرانروی کمی ایجاد می‌کنند؛ اما بیشتر صمغ‌ها در غلظت‌های بسیار کم (معمولاً کمتر از ۱ در صد) گرانروی زیادی ایجاد می‌کنند و نیز خواص ارگانولپتیکی و بافتی در مواد غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۴۴].

۱-۵-۲-۱ گیاه ریحان

ریحان عضو خانواده نعنائیان است و نام گونه‌ی ریحان از واژه‌ی یونانی *Basileus* به معنی پادشاه گرفته شده، زیرا قصر پادشاهان یونانی را با اسانس این گیاه معطر می‌نمودند. این گیاه طی مدت‌های زیادی به عنوان یک منبع مناسب از ترکیبات، برای مومیایی کردن و نگهداری بدن متوفی در مصر باستان کاربرد داشته و نماد سوگواری شناخته شده است. گفته شده اسکندر این گیاه را از آسیا به یونان و از آنجا به انگلستان برده است. در فرانسه نیز از ریحان به عنوان گیاهی سلطنتی یاد می‌شود [۴۵]. گیاه ریحان با نام علمی *Ocimum basilicom* حاوی ۵۰ تا ۱۵۰ گونه مختلف بوده که در نواحی گرمسیری آسیا، آفریقا، آمریکای مرکزی و جنوبی و همچنین در جنوب اروپا یافت می‌شود. این جنس دارای تنوع بسیار زیادی است، به طوری که گونه‌های یکسان آن در نقاط مختلف جهان دارای ترکیبات شیمیایی مختلفی هستند [۴۶]. در ایران در مناطق مختلفی از جمله تهران، همدان، خراسان، کرمانشاه، خرمشهر، آذربایجان و بلوچستان به صورت وحشی رویده و یا کشت می‌شود. در واقع ریحان گیاهی یک‌ساله به طول ۶۰ سانتی‌متر بوده که گل‌های کوچک مایل به سبز، ارغوانی یا سفید دارد. طبق گزارش کنفرانس بین‌المللی *FAO* در سال ۱۹۹۶ ریحان جزء گیاهان بومی ایران شناخته شده است. ریحان همچنین خواص دارویی فراوانی دارد و در طب سنتی ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین ریحان به دلیل داشتن روغن‌های خاص دارای فعالیت‌های ضد قارچی، ضد ویروسی، ضد التهاب و مهم‌تر از همه دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. همچنین فنیل پروپانوئیدها ۹۰ درصد اسانس گیاه ریحان را تشکیل

داده که در درمان بیماری‌های سرفه، سردرد، اسهال، زگیل پوستی، کرم روده و ناراحتی‌های کلیوی استفاده می‌شود. همچنین در مقایسه با خواص ضد میکروبی و آفت کشی این گیاه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد سرطانی آن میزان بالاتری را طی مطالعات نشان داده است و این گیاه به لحاظ دارا بودن مقدار زیادی اسانس در اندام‌های رویشی، در طب سنتی و صنایع عطرسازی نیز به کار می‌رود. [۴۵].

۱-۵-۲-۱-۱ صمغ دانه ریحان

با خیساندن دانه‌های سیاه‌رنگ ریحان در آب، پریکارپ خارجی به سرعت آب جذب کرده و ترکیبات هیدروکلوئیدی موجود در دانه با جذب آب متورم شده و یک لایه ژلی در اطراف دانه ایجاد می‌گردد و این لایه ژلی را می‌توان جدا نمود و پس از خشک کردن به عنوان صمغ یا هیدروکلوئیدها در فرمولا سیون‌های غذایی استفاده کرد [۴۷]. لازم به ذکر است که بهترین غلظت برای تشکیل شبکه ژلی مناسب غلظت ۰/۱ درصد می‌باشد [۴۸]. دانه ریحان در تهیه نوشیدنی‌های سنتی کاربرد داشته، از همین رو به نام تخم شربتی نیز خوانده می‌شود. دانه و برگ ریحان به صورت جوشانده، در رفع التهاب مجاری ادراری، از بین بردن نفخ، رفع زخم معده، رفع درد ریه‌ها، آرامش بخش، افزایش شیر مادر و ... مؤثر است. صمغ دانه ریحان^۸ باعث ایجاد ظاهری مناسب در نوشیدنی‌ها، دسرهای یخی، ایجاد فیبر رژیمی، پایدارکننده، قوام دهنده، کاهش آب انداختن فرآورده‌هایی مانند ماست، مطلوبیت

^۸ Basil seed gum

احساس دهانی، حفظ ترکیبات مولد طعم، حذف و به دام انداختن برخی از فلزات سنگین و ایجاد بافت می‌گردد [۴۹]. صمغ دانه ریحان جزء صمغ‌های آنیونی دسته‌بندی می‌شود. این صمغ دارای ۷۹/۶۳ درصد کربوهیدرات و ۱۰/۳۹ درصد پروتئین می‌باشد. گلوکز، گالاکتوز و مانوز به ترتیب با ۲۹/۹، ۱۶/۱ و ۸/۹ درصد، عمده‌ترین قندهای تشکیل‌دهنده و پتاسیم با ۲/۶۴ درصد، بیشترین یون موجود در این صمغ گزارش شده است. انرژی فعال‌سازی پایین صمغ این دانه باعث شده، گرانشی محلول را در دماهای بالا حفظ نماید. مقاومت این صمغ به فرآیندهای حرارتی مانند استریل کردن، انجماد و خروج از انجماد مورد تأیید قرار گرفته است [۵۰].

۱-۶ امولسیون

امولسیون یک سیستم ناهمگن، شامل دو مایع غیر قابل اختلاط می‌باشد که یکی از مایعات به صورت قطراتی که معمولاً قطر آن‌ها بیشتر از ۱ میکرومتر است، در مایع دیگر پراکنده شده است. نانوامولسیون‌ها دیسپرسیون‌های روغن در آب، کمتر از میکرون یعنی فرا پایدار (کم ثبات)، با قطر ذره در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر هستند [۵۱]. بسته به اندازه ذره امولسیون‌ها به انواع نانو (۱۰۰-۱۰) نانومتر، میکرو (۱۰۰-۱۰۰۰ نانومتر) و ماکرو (۱۰۰-۵۰۰ میکرومتر) دسته‌بندی می‌شوند [۵۲]. برخی از مزایای نانوامولسیون‌ها مانند پایداری فیزیکی بالا، زیست موجودیت بالا و کدورت پایین، نسبت به امولسیون‌های معمولی باعث افزایش استفاده از آن‌ها در مواد غذایی، آرایشی و صنایع دارویی می‌شود. از نانوامولسیون‌ها به عنوان عوامل انتقال برای ترکیبات زیست فعال همچون دارو در صنایع دارویی و

عوامل ضد میکروبی در صنایع غذایی، انحلال پذیری آفت کش های نامحلول در آب، در صنایع شیمیایی-کشاورزی و محصولات شخصی و مراقبت پوستی در صنایع آرایشی و بهداشتی استفاده می نمایند. امولسیون سازی اولتراسونیک روشی با انرژی بالا برای توسعه نانوامولسیون بوده که به عنوان روشی سریع و مؤثر جهت فرموله کردن نانوامولسیون پایدار، با قطر ذره بسیار کوچک و پراکندگی کم ثبت شده است [۵۳].

۱-۶-۱ امولسیون های کلاسیک

امولسیون های کلاسیک با عوامل فعال سطحی پایدار می شوند. سورفکتانت ها که مولکول های آمفیپاتیک کوچک دارای هر دو گروه آب دوست و آب گریز مانند پروتئین ها می باشند [۵۴، ۵۵].

۱-۶-۲ امولسیون های پیکرینگ

امولسیون های پایدار شده با ذرات جامد به جای سورفکتانت را امولسیون پیکرینگ^۹ می نامند [۵۶]. امولسیون های پیکرینگ به دلیل طیف گسترده ای از کاربردها، در مواد غذایی، دارویی و آرایشی، در مقایسه با امولسیون های معمولی که از سورفکتانت ها در آن ها استفاده می کنند و برای آن ها اثرات مسمومیت مطرح است، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. در این امولسیون ها، ذرات در نتیجه انرژی بالای اتصالشان در سطح مشترک آب و روغن به طور غیرقابل بازگشتی جذب می شوند و

^۹ pickering

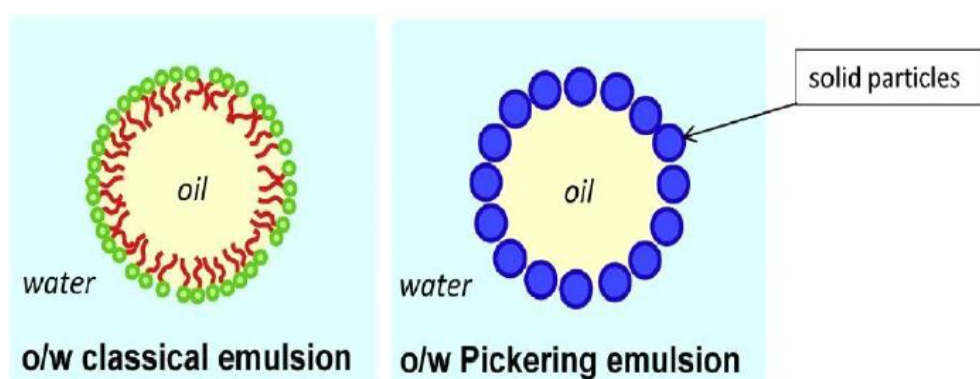
در نتیجه آن امولسیون‌های پیکرینگ حاصل شده برای ماه‌ها یا حتی سال‌ها پایدارند [۵۷]. همچنین

امولسیون‌های پیکرینگ ساختار اولیه امولسیون‌های کلاسیک را حفظ می‌کنند و به هر نوع

امولسیون‌های روغن در آب و آب در روغن و یا امولسیون‌های چندگانه (آب/روغن/آب و

روغن/آب/روغن) تقسیم می‌گردند. شکل ۱-۳ تصاویر امولسیون پیکرینگ و معمولی را نشان داده

است.



شکل ۱-۳. تصویر شماتیک یک امولسیون معمولی و امولسیون پیکرینگ [۵۶]

۷-۱ خشک کردن پاششی

خشک کردن پاششی تغییر شکل یک سیال از حالت مایع به شکل ذره خشک شده است که با پاشیدن

سیال به داخل محیط خشک کننده صورت می‌گیرد و یک فرآیند تک مرحله‌ای می‌باشد که برای تبدیل

شکل‌های مختلف مایع همچون محلول‌های آبی و آلی، امولسیون‌ها و سوسپانسیون به پودرهای خشک

است [۵۸]. خشک کردن پاششی یک فناوری خشک کردن سریع و ساده بوده که در صنایع دارویی،

غذایی و شیمیایی بسیار متداول می‌باشد. تجهیزات خشک کردن پاششی به‌طور تجاری موجود است و

هزینه تولید آن در مقایسه با دیگر فناوری‌های خشک کردن، همچون خشک کردن انجمادی بسیار

پایین تر است [۵۹]. پودر تولید شده از خشک‌کن، دارای کیفیت بالا و محتوای رطوبت پایین بوده که در نتیجه آن ماندگاری بالایی خواهد داشت [۶۰]. اثر سرمایشی تبخیر حلال، دمای قطرات را در دمای نسبتاً پایین حفظ می‌کند و بنابراین محصولات حساس به حرارت با تخریب ناچیزی خشک می‌شوند. خشک‌کردن پاششی از طریق بهبود بخشیدن پارامترهای فرآیند و فرمولاسیون خوراک ورودی، انعطاف‌پذیری بالایی برای کنترل مورفولوژی و اندازه ذره ارائه می‌دهد [۶۱]. پودر خشک شده پایدارتر است و محافظت بهتر در برابر شرایط محیطی همچون اکسیداسیون، نور و دما دارد و جابجایی و نگهداری آن آسان‌تر بوده، همچنین انحلال‌پذیری مجدد در محلول‌های آبی را دارد [۱۲، ۱۳، ۱۸]. در حقیقت خشک‌کردن پاششی متداول‌ترین روش درون‌پوشانی مورد استفاده برای محصولات غذایی می‌باشد. خشک‌کردن پاششی برای مواد غذایی همچون طعم‌دهنده‌ها، ویتامین‌ها، نمک‌ها، مواد معدنی، رنگ‌ها، چربی و روغن‌ها، ادویه‌ها، پلی‌فنل‌ها، پروتئین‌ها، کاروتنوئیدها، آنتی‌اکسیدان‌ها، سلول‌های زنده پروبیوتیک، باکتری‌های پروبیوتیک، آنزیم‌ها، پپتیدها و بسیاری موارد دیگر کاربرد دارد [۶].

۱-۷-۱ خشک‌کن پاششی نانو

این خشک‌کن در سال ۲۰۰۹ معرفی گردید. درواقع این فناوری جدید بر پایه موارد زیر و برای حل مشکلات خشک‌کن‌های پاششی معمول ایجاد شد:

- جریان آرام گاز خشک‌کن به صورت لامینار

- فناوری سرنده (غربال) لرزنده پاششی برای تشکیل قطرات كوچك

- رسوب‌دهنده الكتروستاتيكي بسيار كارآمد برای جمع‌آوری نانو ذرات

مزيت اصلي فناوری غربال لرزاننده، توانايی از مقدار بسيار كم مايعات در حد ميلي‌ليتر است. در

حقيقت خشك‌كن پاششی نانو امكان دستيابی به ذرات در محدوده نانو را ميسر کرده است [۶۲].

۱-۷-۲ خشك‌کردن پاششی امولسيون‌ها

به نظر می‌رسد امولسيون دستورالعمل مؤثري برای درون‌پوشانی روغن‌ها باشد [۶۳]. امولسيون‌های

مرسوم سيستم‌های ناهمگون، شامل قطرات يك مايع پراكنده شده در يك مايع نامحلول يا كم‌محلول

ديگر و پايدار شده با سورفكتانت‌ها يا پليمرهای فعال سطحی و يا پليمرهای طبيعی همچون پروتئين‌ها

و پلی‌ساكاريدها می‌باشند. به‌هر حال امولسيون‌های روغن در آب به‌واسطه تجزيه، اكسيداسيون روغن و

آسان نبودن حمل‌ونقل از لحاظ فيزيکی ناپايدار می‌باشند. تبديل امولسيون مايع به پودر به‌وسيله

خشك‌کردن پاششی، يك روش مؤثر برای حذف چنين معايبی است [۶۴، ۶۵]. امولسيون‌های روغن

در آب برای حذف فاز آبی و تغيير شكل اجزا باقيمانده به پودر خشك می‌شوند. اين كار قطرات روغن

و هر تركيب درون‌پوشانی شده را در برابر تجزيه و اكسيداسيون محافظت کرده و ماندگاری آن‌ها را

افزايش می‌دهد [۶۶، ۶۷].

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیش

۲-۱ پژوهش‌های مربوط به روغن ماهی

انسینا و همکاران در سال ۲۰۲۱ از هیدروکسی پروپیل اینولین به عنوان یک عامل محصورکننده جدید روغن ماهی با خشک کردن اسپری معمولی و بدون آب استفاده کردند. هیدروکسی پروپیل اینولین (*HPI*) از اینولین توسط استریفیکاسیون سنتز شد. در این پژوهش از دو حلال اتانول و آب استفاده گردید و مشاهده شد نوع حلال بر راندمان کپسوله کردن تأثیری نداشت. میکرو ذرات حاصل از خشک کردن اسپری بدون آب، انتشار آهسته‌تر و بالاترین پایداری اکسیداتیو را نشان دادند. با ارزیابی ریز ذرات از نظر توزیع و تشکیل ترکیبات قطبی نتیجه‌گیری شد آب دارای اثر روان‌سازی بیشتری نسبت به متانول بوده که خواص ضعیفی برای پوشش ریز ذرات ارائه می‌دهد [۶۸].

جیا و همکاران در سال ۲۰۲۱ پژوهشی در مورد پایداری ذخیره سازی و رفتار آزاد سازی آزمایشگاهی میکروکپسول‌های حاوی روغن ماهی با خشک کردن اسپری انجام دادند. میکروکپسول‌های روغن ماهی از طریق خشک کردن اسپری با استفاده از نشاسته اکتیل سوکسینیک انیدرید (*OSAS*) و مالتودکسترین (*MD*) به عنوان مواد دیواره تهیه شدند. پایداری ذخیره سازی و آزاد سازی در شرایط آزمایشگاهی روغن محبوس شده بود در دماهای مختلف نگهداری و pH (۳، ۴، ۵، ۶، ۷) مورد بررسی قرار گرفت. خواص ساختاری میکروکپسول‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکسیداسیون میکروکپسول روغن ماهی ذخیره شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

از ۴ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درجه سانتی‌گراد جدی‌تر بود. علاوه بر این، اکسیداسیون بالاتر در pH برابر ۳، ۴ و ۵ یافت شد. روغن ماهی کپسوله‌شده در مایع شبیه‌سازی‌شده معده نشان داد که مجموعه مواد دیواره (OSAS و MD) برای کپسولاسیون مساعد بوده و منجر به فراهمی زیستی از مواد هسته تحت شرایط روده می‌شود [۶۹].

در مطالعه راموس و همکاران در سال ۲۰۲۱ تأثیر خشک‌کردن پاششی خلأ بر کپسولاسیون روغن ماهی، پایداری اکسیداتیو و راندمان کپسولاسیون بررسی گردید. درواقع این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل فناوری خشک‌کردن پاششی خلأ برای ریزپوشانی یک ماده حساس به اکسیداسیون، به حداقل رساندن اکسیداسیون لیپید و به حداکثر رساندن راندمان کپسولاسیون انجام شد. برای این منظور از امولسیون حاوی روغن ماهی برای تولید ذرات استفاده شد. مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به عنوان مواد دیواره با نسبت ۲۵:۷۵ استفاده شدند. این فرآیند بر روی یک خشک‌کن پاششی خلأ (VSD) و یک خشک‌کن پاششی (SD) برای مقایسه ذرات بازیافت شده توسط هر دو فرآیند انجام شد. ذرات تولید شده توسط VSD بهترین محافظت از ماده فعال در برابر اکسیداسیون لیپید را نشان دادند. درحالی‌که حفاظت ضعیف‌تر برای ذرات SD به دست آمد و همچنین کمترین راندمان کپسوله‌سازی را نشان داد. همه نمونه‌ها توخالی با دیواره‌های پیوسته و بدون شکاف یا ترک ظاهری در ساختار خود بودند. نوع فرآیند به‌طور قابل‌توجهی بر خواص فیزیکوشیمیایی و ساختاری ریز ذرات تأثیر گذاشت [۷۰].

پورءشوری و همکاران در سال ۲۰۲۱ کپسوله سازی روغن ماهی توسط کاراگینان و صمغ کتیرا به عنوان دیواره مواد و کاربرد آن در غنی سازی ناگت مرغ بررسی کردند. روغن ماهی (*FOL*) و روغن ماهی کپسوله شده توسط کتیرا (*TRG*) و کاراگینان (*CGN*) به مرغ اضافه شد تا مشخصات فیزیکی، اسیده های چرب و پایداری اکسیداتیو ناگت های از قبل سرخ شده را در طول ذخیره سازی منجمد ارزیابی کنند. در صد ۱ اضافه میکروکپسول (۸-۴ در صد) در پذیرش ناگت مؤثر بود. نمونه ها که توسط میکروکپسول های ۴ گرم در ۱۰۰ گرم غنی شده است در طول ذخیره سازی توسط پایداری شیمیایی و اکسیداتیو کنترل شدند مقادیر *CD*، *TBARS* و کربونیل، تفاوت معنی داری در طول زمان نگهداری و بین تیمارها نشان داد. در تیمارهای *TRG* و *CGN*، مقدار *EPA* و *DHA* قطعات به طور قابل توجهی بیشتر از نمونه های کنترل *FOL* از قبل سرخ شده بود. کپسوله کردن روغن ماهی اثر محافظتی در برابر اکسیداسیون لیپید و پروتئین نشان داد و باعث بهبود آن شد. همچنین عمر مفید اکسیداتیو و ویژگی های حسی قطعات غنی شده با کپسول روغن ماهی توسط کتیرا در حفظ خصوصیات حسی مؤثرتر بود [۷۱].

واچر و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطالعه ای در خصوص ریزپوشانی روغن ماهی توسط ریز ذرات صمغ عربی (*GA*)، کمپلکس های کازئین-پکتین و مالتودکسترین (*CP*) با خشک کن اسپری و

کوآسرواسیون^{۱۰} پیچیده انجام دادند. راندمان کپسوله‌سازی، اندازه ذرات، محتوای رطوبت، پایداری اکسیداتیو و خواص مورفولوژیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. راندمان کپسوله‌سازی ۵۶/۸ - ۵۱/۲ درصد برای GA و ۶۷/۹ - ۶۴/۷ درصد برای CP گزارش گردید. اندازه ذرات GA، ۱۰۰-۲ میکرومتر و ۱۲۰-۲ میکرومتر برای میکرو ذرات CP بود. همچنین اشکال کروی با فرورفتگی در توپوگرافی هر دو سیستم توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص شد. نتایج بیانگر این بود که CP در کاهش اکسیداسیون کارآمدتر از GA بوده، بنابراین CP یک ترکیب بیوپلیمری امیدوارکننده برای کپسوله‌کردن روغن ماهی است که محافظت در برابر اکسیداسیون لیپیدها را فراهم می‌کند [۷۲].

جورجیو و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک مطالعه سیستماتیک از کپسوله‌کردن روغن ماهی با میکرو ذرات سویا توسط امولسیون و سپس خشک کردن آن با خشک‌کن پاششی به منظور حفاظت در برابر اکسیداسیون لیپیدی و نیز تسهیل کار با آن برای افزودن به محصولات غذایی سالم گزارش کردند. به طور خاص، اثر فرمولاسیون این تکنیک بر ویژگی‌های امولسیون و کپسول‌های حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت. دو فرآیند امولسیون‌سازی و چهار نسبت پروتئین: روغن تجزیه و تحلیل شدند. پروتئین‌های سویا توانستند روغن ماهی را محصور کرده و بوی مشخص و بافت چربی ماهی توسط میکروکپسول‌های مشاهده‌شده با میکروسکوپ، پوشش داده شد. هر دو فرآیند خشک کردن و امولسیون‌سازی چشم‌انداز خوبی را در پایداری اکسیداتیو روغن نشان دادند [۷۳].

^{۱۰}coacervation

اوگرو دوفسکا و همکاران در سال ۲۰۱۹ تحقیقی با هدف افزودن روغن کدوتنبل و فرآیند کپسوله سازی به عنوان روش هایی برای بهبود اکسیداتیو پایداری روغن ماهی انجام دادند. ویژگی های حسی و پایداری اکسیداتیو کپسول های ساخته شده از روغن کبد ماهی با کپسول های ساخته شده از مخلوط روغن کبد ماهی و روغن کدوسبز غلیظ و سبز تیره با رایحه مغزی و محتوای بومی بالا مقایسه شد. از مالتودکسترین، پروتئین آب پنیر، آفتابگردان و برنج و صمغ گوار به عنوان مواد دیواره استفاده گردید. مشاهده شد روغن کدو توکوفرول ها، اسکوالن، فیتواسترول ها و کاروتنوئیدها به کپسول روغن ماهی افزود و منجر به افزایش پایداری اکسیداتیو گردید. همچنین استفاده از پروتئین برنج برای مخلوط کردن پوشش روغنی به طور قابل توجهی بو و طعم ماهی را کاهش می دهد [۷۴].

در مطالعه سلمر و همکاران در سال ۲۰۱۹ پتانسیل آئروژل های پروتئینی (*WPI* و *EWP*) به عنوان ماده حامل برای افزودنی های غذایی مورد بررسی قرار گرفت. سپس آنالیز روغن ماهی، اندازه گیری اکسیداسیون ذرات بارگیری شده با روغن ماهی و ذخیره سازی در رطوبت نسبی تعریف شده انجام شد. ریز ذره آئروژل های پروتئینی با موفقیت با روغن ماهی توسط سیستم فوق بحرانی استاتیک بارگیری شدند. طبق مشاهدات صورت گرفته بالاترین بارگیری روغن ماهی (تا ۰/۷۴ گرم روغن ماهی در گرم آئروژل) برای *EWP-aerogels* به دست آمد. همچنین مشاهده شد افزایش دما منجر به کاهش بارگذاری در ماتریکس های آئروژل و افزایش فشار سیستم باعث افزایش حلالیت روغن و به دنبال آن افزایش بارگذاری می گردد [۷۵].

حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۸ کپسوله سازی کنسانتره *EPA* و *DHA* از روغن ماهی کیلکا توسط پروتئین شیر و ارزیابی پایداری اکسیداتیو آن را بررسی نمودند. برای محصور کردن این محصول مخلوطی از پودر آب پنیر و کازئینات سدیم (۴:۱) به عنوان یک ماده دیواره جدید استفاده شد. امولسیون سازی با استفاده از امواج فراصوت در توان های مختلف ۱۸۰-۳۸۰ وات به مدت ۱-۳ دقیقه انجام شد و سپس امولسیون ها برای به دست آوردن پودرها در حالت انجمادی خشک شدند. بر اساس راندمان کپسولاسیون فراصوت (۸۸-۹۴ درصد) می تواند، حضور روغن در سطح ذرات پودر را در مقایسه با نمونه های آماده شده بدون فراصوت (شاهد، ۶۸ درصد) مهار کند. بالاترین نرخ اکسیداسیون و کمترین مقدار L^* برای محصول گلیسیرید بدون کپسول ذخیره شده در اتمسفر هوا و سپس پودر کنترل یافت شد. در مورد پایداری اکسیداتیو نمونه ها، زمان فراصوت نسبت به قدرت فراصوت معنی دارتر بود. با توجه به نتایج، یک تیمار فراصوت ۳۸۰ وات به مدت ۳ دقیقه برای تهیه امولسیون ها در حین کپسوله کردن روغن ماهی توصیه شد [۷۶].

قربان زاده و همکاران در سال ۲۰۱۷ پژوهشی در رابطه با استفاده از نانولیپوزوم برای نانو کپسوله کردن روغن ماهی و سپس به کارگیری روغن کپسوله شده در تقویت ماست انجام دادند. خواص فیزیکوشیمیایی ماست تولیدی شامل pH، اسیدیته، سینرزیس، ترکیب اسیدهای چرب، ارزش پراکسید و همچنین آزمون های حسی طی سه هفته نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد بررسی شد. نتایج تجزیه و تحلیل کروماتوگرافی گازی نشان داد که پس از ۲۱ روز ذخیره سازی، ماست غنی شده

با روغن ماهی نانوکپسوله دارای محتوای *DHA* و *EPA* بالاتری نسبت به ماست حاوی روغن ماهی آزاد بود. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزودن روغن ماهی نانوکپسوله به ماست، نمونه کنترل از نظر ویژگی‌های حسی نسبت به ماست غنی‌شده با ماهی آزاد روغن نزدیک‌تر شد [۷۷].

بینسی و همکاران در سال ۲۰۱۶ اثر هم‌افزایی صمغ عربی و پلی فنول مریم‌گلی در برقراری ثبات در دیواره کپسول و حفاظت از روغن ماهی با خشک‌کن پاششی را بررسی کردند. امولسیون با مواد دیواره کازئینات و صمغ عربی آماده شد و از عصاره مریم‌گلی به عنوان تثبیت‌کننده دیواره استفاده گردید. بازده ریزپوشانی به طور قابل توجهی، در روغن ماهی حاوی صمغ عربی و عصاره مریم‌گلی، در مقایسه با کپسول حاوی صمغ عربی بالاتر بود. همچنین اسکن میکرو سکوپ الکترونی و تصاویر میکرو سکویی نشان داد که کپسول‌های حاوی عصاره مریم‌گلی، در مقایسه با دیگر کپسول‌ها کروی‌تر بوده و سطح یکنواخت و صاف‌تری دارند. نرخ اکسیداسیون کپسول‌های حاوی روغن ماهی و عصاره مریم‌گلی نیز در طول ذخیره‌سازی به نسبت نمونه شاهد پایین‌تر بود [۷۸].

مدینا و همکاران در سال ۲۰۱۵ عملکرد هیدرولیز پروتئین ماهی (*FPH*) برای ریزپوشانی روغن ماهی را مورد بررسی قرار دادند. پروتئین ماهیچه ساردین^{۱۱} و اسب‌ماهی خال‌مخالی^{۱۲} با استفاده از تریپسین یا آلکالاز هیدرولیز شد. امولسیون تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی که حاوی *FPH* با

^{۱۱} *Sardina pilchardus*

^{۱۲} *Trachurus mediterraneus*

درجه هیدرولیز ۵ درصد بود، پایداری فیزیکی مناسبی داشت. بازدهی ریزپوشانی به میزان $98 \pm 0/1$ درصد و ثبات اکسیداتیو روغن ریزپوشانی شده در طی یک دوره ۱۲ هفته بررسی شد که مشابه دیگر سیستم‌های ماتریس گزارش شده بود؛ بنابراین، *FPH* مناسب برای استفاده در امولسیون‌های خشک‌شده پاششی برای اولین بار نمایش داده شد [۷۹].

اراته و همکاران در سال ۲۰۱۵ درون‌پوشانی امگا ۳ روغن ماهی به همراه باکتری پروبیوتیک در پروتئین آب‌پنیر و صمغ عربی به روش کوآسرواسیون بررسی کردند که در میکروکپسول‌های حاوی باکتری لاکتوباسیلوس کازئی به علت حضور روغن ماهی میزان زنده ماندن باکتری افزایش یافت. همچنین میزان اکسیداتیو روغن ماهی در میکروکپسول‌هایی که با خشک‌کن پاششی خشک شده بودند نسبت به میکروکپسول‌های خشک‌شده با روش انجمادی، کمتر بود [۸۰].

چاترجی و همکاران در سال ۲۰۱۵ پژوهشی در مورد درون‌پوشانی روغن ماهی با استرول بوتیل گلیسرول-کیتوزان با استفاده از غشاء و فرآیندهای امولسیون‌سازی اولتراسونیک انجام دادند. میکروکپسول‌ها با توجه به مورفولوژی، پایداری کلئیدی، ظرفیت بارگذاری، کارایی کپسولاسیون و پروفایل انتشار بررسی شدند. میکروکپسول‌های تشکیل شده توسط فرآیند امولسیون‌سازی غشایی، قطر بزرگ و ظرفیت بارگذاری بهتری در مقایسه با نمونه‌های حاصل از فرآیند امولسیون‌سازی اولتراسونیک نشان دادند. همچنین استرول بوتیل گلیسرول-کیتوزان مانع انتقال حرارت شده و به‌طور قابل توجهی باعث افزایش مدت زمان ماندگاری روغن ماهی گردید [۸۱].

آگوستین و همکاران در سال ۲۰۱۴ دوغ بدون کره را به منظور سنجش پتانسیل آن به عنوان کپسوله کننده ی روغن امگا ۳ (روغن ماهی) برر سی نمودند. امولسیون ها حاوی (۳۵ در صد کل مواد جامد و ۱۷/۵ در صد روغن ماهی) و پودرها حاوی ۵۰ در صد روغن ماهی بر اساس وزن خشک بودند. دوغ کامل به تنهایی و یا در ترکیب با شربت گلوکز، باعث بهبود پایداری اکسیداتیو امولسیون ها و پودرها شد. با انجام فرمولاسیون صحیح، تنظیم pH و عملیات حرارتی، دوغ خواص ریزپوشانی برتری را در مقایسه با شیر برای کپسولاسیون روغن ماهی نشان داد [۸۲].

در مطالعه وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ بهینه سازی ریزپوشانی روغن ماهی تن در هگزامتافسفات ژلاتین سدیم (*SHMP*) برای تثبیت روغن های امگا ۳ و استفاده به عنوان یک ماده غذایی کاربردی با روش کوآسرواسیون پیچیده برر سی شد. ابتدا پایداری روغن با مقایسه پایداری تسریع شده روغن ماهی تن در حضور آنتی اکسیدان های تجاری مختلف، با استفاده *Rancimat* اندازه گیری و سپس پتانسیل زتا، کدورت و راندمان کوآسروات اندازه گیری شد و برای کوآسرواسیون پیچیده بهینه گردید. بالاترین عملکرد کوآسروات پیچیده در pH برابر ۴/۷ و نسبت ژلاتین به *SHMP* ۱۵:۱ به دست آمد. هنگامی که سیستم ریزپوشانی مخلوط تا دمای ۵ درجه سانتی گراد با سرعت ۱۲ درجه سانتی گراد در ساعت خنک شد، میکروکپسول های چندهسته ای تشکیل گردید. اتصال عرضی با ترانس گلوتامیناز و سپس خشک کردن انجمادی منجر به تولید پودر خشک شده با کارایی ۹۸/۵۶ درصد از روغن

میکروکپسوله شد و سرعت ثبات با استفاده از *Rancimat* اندازه‌گیری شد که ثبات آن بیش از دو برابر روغن غیر محصور شده بود [۸۳].

در مطالعه ایلایا سوگلا و همکاران در سال ۲۰۱۴ ریزپوشانی روغن ماهی با غشای سطحی چندلایه با استفاده از جاذبه الکترواستاتیک بین سدیم کازئینات و صمغ عربی و کاربرد آن در غنی‌سازی آبمیوه مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا شرایط مطلوب برای تشکیل یک کمپلکس پایدار بین کازئینات سدیم و صمغ عربی در pH برابر ۴ و غلظت ۰/۱ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر سدیم کازئینات و ۰/۲ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر صمغ عربی تعیین گردید. از این کمپلکس برای نانو ریزپوشانی روغن ماهی استفاده شد. راندمان ریزپوشانی و اندازه ذرات به ترتیب، $2/89 \pm 78/88$ درصد و $232/3$ نانومتر گزارش گردید. نانو کمپلکس روغن ماهی حاوی ۶۰-۵۰-۴۰ میلی‌گرم $EPA + DHA$ در غنی‌سازی ۱۰۰ میلی‌لیتر آبمیوه به کار گرفته شد. این مطالعه نشان داد، کمپلکس پروتئین پلی ساکارید پایدار را می‌توان برای نانو ریزپوشانی ترکیبات آب‌گریز مانند EPA و DHA در غنی‌سازی نوشیدنی‌های کم‌چرب یا بدون چربی استفاده نمود [۸۴].

آقبا شلو و همکاران در سال ۲۰۱۱ طی پژوهشی تأثیر مواد دیواره و دمای هوای ورودی خشک‌کن بر ریزپوشانی روغن ماهی به روش پاششی را بررسی نمودند. پودر شیر بدون چربی (SMP)، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ایزوله پروتئین آب‌پنیر (WPI)، ۸۰ درصد WPI به‌اضافه ۲۰ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و نیز ۸۰ درصد WPI به‌اضافه ۲۰ درصد سدیم کازئینات به عنوان مواد دیواره‌ها

استفاده شدند. دماهای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ برر سی گردیدند. مشاهده شد هر چه دمای هوای خشک شدن بیشتر باشد، اندازه ذرات، راندمان کپسولاسیون و مقدار پراکسید بیشتر و میزان رطوبت و چگالی ظاهری کمتر است. به دلیل وجود لاکتوز در ترکیب شیمیایی روغن، بالاترین راندمان کپسولاسیون و کمترین مقدار پراکسید برای میکروکپسول‌های تهیه‌شده با *SMP* بود [۸۵].

جعفری و همکاران در سال ۲۰۰۸ کپسوله‌سازی روغن ماهی با نانو ذرات تولیدشده توسط خشک‌کن پاششی ساده و سپس کارایی ریزپوشانی روغن ماهی به‌عنوان ماده هسته، بررسی کردند. نانو ذرات ریزپوشانی شده با خشک‌کن پاششی و آماده‌سازی امولسیون از طریق تکنیک‌های امولسیون‌کنندگی با انرژی بالا، یعنی میکروفلودایزر و اولتراسونیک تهیه شد. مالتودکسترین ترکیب‌شده با پلیمر زیستی فعال (نشاسته اصلاح شده یا کنسانتره پروتئین آب‌پنیر) در نسبت ۳:۱ به‌عنوان مواد دیواره استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از میکروفلودایزر روش کارآمدی برای امولسیون‌سازی بود و منجر به تولید پودر روغن ماهی با کمترین میزان روغن در سطح ذرات شد که عمده‌تاً به دلیل قابلیت‌های آن برای تولید امولسیون در محدوده نانو (۲۸۰-۲۱۰ نانومتر) می‌باشد [۸۶].

بیک و همکاران در سال ۲۰۰۴ اثرات آنتی‌اکسیدانی آلفاتوکوفرول و آسکوربیل پالمیتات و *RH* را بر پایداری اکسیداتیو پودر روغن ماهی ریزپوشانی شده با آزمون‌های *PV* و تیوباربیتیک اسید، موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد چربی کپسوله‌شده ۱۰ برابر در مقابل اکسیداسیون پایدارتر بود و آلفاتوکوفرول که یک آنتی‌اکسیدان چربی‌دوست است اثر آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به آسکوربیل

پالمیتات دارد. همچنین آلفاتوکوفرول با دوز 200 ppm در یک محدوده ۳۰-۱۰ درصد رطوبت نسبی،

پایداری اکسیداتیو پودر روغن ماهی ریزپوشانی شده را طولانی تر نمود [۸۷].

۲-۲ پژوهش‌های مربوط به صمغ ریحان

شایگان نیا و همکاران در سال ۲۰۲۱ در مطالعه‌ای ترکیبات فنلی حاصل از ضایعات لیمو با صمغ

ایرانی (PG) و صمغ دانه ریحان (BSG) به عنوان مواد پوشش‌دهنده در نسبت‌های مختلف (۱:۰، ۰:۱، ۱:۱ و

۱:۱) در ۱۵ درصد وزنی را کپسوله نمودند. سپس ریزپوشانی با میکروسکوپ الکترونی روبشی تأیید

گردید و محتوای فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، راندمان کپسوله‌سازی، مورفولوژی، شاخص‌های حلالیت

در آب و شاخص‌های جذب آب ارزیابی شد. نمونه سس مایونز با استفاده از پلی‌فنل‌های ریز

کپسوله‌شده از ضایعات و عصاره لیمو و نمونه‌های شاهد بدون عصاره یا میکروکپسول تهیه شد. تمامی

نمونه‌ها در طی ۳۰ روز نگهداری تحت آنالیز شیمیایی (اندازه‌گیری پراکسید، تیوباربیتوریک اسید،

اسیدیته و رنگ) و میکروبی (تعداد کل میکروارگانیسم‌ها و اشیریشیا کلی) قرار گرفتند. نمونه‌های

BSG بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۱/۱۹ درصد) و راندمان کپسوله‌سازی (۷۰/۷۲ درصد) را

نشان دادند و میکروکپسول‌های PG/BSG بالاترین قابلیت را برای جلوگیری از زوال اکسیداتیو در

طول ذخیره‌سازی داشتند. افزودن میکروکپسول‌ها به سس مایونز منجر به افزایش پارامتر b^* و کاهش

در پارامترهای a^* و L^* شد. به‌طور کلی، میکروکپسول‌های PG/BSG به عنوان نمونه‌های بهینه برای

تولید سس مایونز در نظر گرفته شدند، زیرا از زوال سس مایونز جلوگیری می کردند و خواص

آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی از خود نشان می دادند [۸۸].

شایگان نیا در سال ۲۰۲۱ طی پژوهشی ترکیبات فنلی را از ضایعات لیمو استخراج و با مخلوط صمغ

عربی (AG)، صمغ دانه ریحان (BSG) و صمغ ایرانی (PG) به عنوان پوشش میکروکپسوله نمودند.

کارایی کپسولاسیون، فعالیت آنتی اکسیدانی، مورفولوژی، رهاسازی و پایداری حاصل میکروکپسول در

شرایط تاریک و روشن ارزیابی شد. مشاهده شد مخلوط های PG و BSG می توانند یک محصول

کپسوله کننده مناسب باشند، زیرا دارای رفتارهای رهاسازی قابل کنترل در شرایط مورد بررسی

می باشند. همچنین تمامی پلیمرهای زیستی از ترکیبات فنلی در برابر شرایط تاریک و روشن محافظت

می کنند [۸۹].

در مطالعه قاسم پور و همکاران در سال ۲۰۲۰ تولید ماست پروبیوتیک حاوی عصاره چغندر قرمز و

صمغ دانه ریحان و خصوصیات فنی-عملکردی، میکروبی و حسی بررسی شد. زنده ماندن پروبیوتیک

در محیط کشت *MRS-vancomycin agar*، نرخ پس از اسیدی شدن از طریق اندازه گیری pH،

ویسکوزیته با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد، خواص آنتی اکسیدانی با روش مهار رادیکال آزاد DPPH

و ویژگی های حسی در ماست های زیستی طی ۲۱ روز نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. روند کاهش

pH در نمونه های حاوی مقدار بیشتری از BSG (۰/۴ درصد) و مکمل RBE (۰/۱ درصد) بارزتر بود.

زنده ماندن پروبیوتیک‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش ویسکوزیته نیز در نمونه‌های ذکر شده بالاترین مقدار بود [۹۰].

زینالی و همکاران در سال ۲۰۱۹ خصوصیات صمغ دانه ریحان را در مواد غذایی منجمد بررسی نمودند. نتایج حاکی از ثبات باندهای بین‌مولکولی در طول انجماد و خصوصیات عملکردی پایدار صمغ دانه ریحان پس از انجماد بود. همچنین مشاهده شد انجماد در دماهای زیر ۳۰- درجه سانتی‌گراد باعث افزایش تشکیل باندهای جانبی توسط پلیمرهای صمغ دانه ریحان شده که افزایش ویسکوزیته و خاصیت ارتجاعی پس از ذوب را به همراه دارد. درواقع فرآیند انجماد هیچ اثر مخربی روی پیوندهای داخلی صمغ دانه ریحان نداشته و نیز منجر به افزایش ثبات امولسیون و کف محلول‌های صمغ دانه ریحان پس از انجماد گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده استفاده از صمغ دانه ریحان در غذاهای منجمد مثل دسرهای یخ‌زده، بستنی، ماهی و فرآورده‌های گوشتی پیشنهاد گردید [۹۱].

دلفانیان و همکاران در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانوامولسیون‌های روغن در آب و تأثیر صمغ دانه ریحان - پروتئین سویا (*BSG-SPI*) و صمغ ریحان - پروتئین آب‌پنیر (*BSG-WPI*) را بر آن ارزیابی نمودند. نانوامولسیون‌ها با همگن‌سازی فشار بالا تولید شدند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌فنل‌های محصورشده در روغن با مقادیر پراکسید و آنیزیدین در طول نگهداری اندازه‌گیری شد و با عصاره غیر کپسوله و آنتی‌اکسیدان مصنوعی مقایسه شد. نتایج نشان داد تغییرات

اکسیداتیو در روغن‌های حاوی پلی‌فنل‌های محصور شده کمتر از فرم بدون کپسول بود. مجموعه این پلیمرها باعث افزایش پایداری امولسیون‌ها و کنترل انتشار پلی‌فنل‌های محصور شده نیز گردید. همچنین بالاترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به میکروکپسول‌های (*BSG_SPI*) بود [۹۲].

کریمی و اسماعیل‌زاده در سال ۲۰۱۶ کارایی صمغ دانه ریحان و مخلوط صمغ دانه ریحان و ثعلب را به عنوان پوشش در سه غلظت (۰/۵ - ۱ - ۱/۵ در صد) برای جذب روغن و خواص کیفی سیب‌زمینی سرخ شده مورد بررسی قرار دادند. تأثیر بر میزان رطوبت، عملکرد سیب‌زمینی سرخ شده و رفتار جریان سوسپانسیون پوشش را ارزیابی شد. منحنی‌های جریان نشان داد، تمامی سوسپانسیون‌های مورد مطالعه شبه‌پلاستیک و دارای ویژگی‌های رقیق شونده برشی هستند. مؤثرترین فرمولاسیون پوشش ۰/۵ درصد *BSG* و ۱/۵ درصد ثعلب بود. همچنین پوشش‌ها موجب کاهش جذب روغن و افت رطوبت محصول شدند [۹۳].

۳-۲ پژوهش‌های مربوط به زئین

کاراسکو و همکاران در سال ۲۰۲۱ دسترسی زیستی انواع مختلف ترکیبات فنلی به صورت کپسوله شده در نانو ذرات زئین پوشش داده شده با کیتوزان/آلژینات (*ali/chiZN*) را مطالعه کردند. اسید فنولیک، فلاونوئید گلیکوزیده و آگلیکون فلاونوئید با موفقیت در سه نانوذره کپسوله شدند. راندمان کپسوله‌سازی نانو ذرات زئین با پوشش کیتوزان/آلژینات، ۹۵/۳-۹۸/۵ درصد گزارش گردید. ادغام

لایه‌های پوشش منجر به افزایش کارایی کپسولاسیون اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدهای گلیکوزیده شد. افزایش دسترسی زیستی به اسیدهای فنولیک و گلیکوزیده فلاونوئیدها پس از پوشش با آلزینات مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین قابلیت دسترسی زیستی پلی فنل برای *alg/chizN* (بیش از ۶۵/۸ درصد) مشاهده شد؛ بنابراین، سیستم‌های توسعه‌یافته می‌توانند به‌طور بالقوه برای کپسوله کردن موارد مختلف انواع ترکیبات فنلی و بهبود قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها مفید باشند [۹۴].

در مطالعه تاواریس و همکاران در سال ۲۰۲۱ طراحی و شناسایی نانو ذرات زئین با اسید الازیک (*EA*) و تأثیر آن‌ها بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد باکتریایی بررسی شد. *EA* فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی قابل توجهی را نشان داده است. زئین پروتئین ذرت یک بیوپلیمر طبیعی است که خواص بیولوژیکی و عملکردی آن، استفاده از آن را برای بهبود سیستم‌های نانودرمانی تشویق می‌کند. نانو ذرات تهیه شده از نظر مورفولوژی، اندازه، پراکندگی چندانگانه، پتانسیل زتا، راندمان کپسولاسیون و بارگذاری دارو مورد ارزیابی قرار گرفتند. فعل‌وانفعالات شیمیایی بین *EA* و زئین توسط *FTIR* و طیف‌سنجی فلورانس ارزیابی شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش‌های مهار رادیکال *DPPH* و *ABTS* تعیین شد، درحالی‌که فعالیت ضد میکروبی از نظر روش‌های مهاری، باکتری‌کشی و آنتی‌بیوفیلیم علیه استافیلوکوکوس اورئوس و سودوموناس آئروژینوزا تعیین شد. نانو ذرات زئین کپسوله‌شده با *EA* کروی، بدون تجمع، کوچک‌تر از ۳۷۰ نانومتر و دارای بار مثبت بودند و فعالیت بازدارندگی و باکتری‌کشی مرتبطی را علیه استافیلوکوکوس اورئوس و سودوموناس آئروژینوزا نشان

دادند (MIC کمتر ۷۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر). نتایج حاکی از آن است که نانوکپسولاسیون زئین و EA خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد باکتریایی را افزایش داده و راهکاری بالقوه در برابر رادیکال‌های آزاد و پیشگیری از عفونت باکتری‌های گرم مثبت و منفی ارائه می‌دهد [۹۵].

ونرندا و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای در مورد تشکیل و شناسایی نانو ذرات کمپلکس زئین، کازئینات و پکتین برای کپسوله کردن اوژنول انجام دادند. کوچکترین و همگن‌ترین نانو ذرات پیچیده زمانی که pH برابر ۶/۶ نقطه ایزو الکتريک زئین، حرارت داده شدند، به دست آمد. کازئینات سدیم نقش مهمی برای دستیابی به پایداری مطلوب در طول ذخیره سازی و خشک کردن پاششی ایفا کرد. خشک کردن نوآورانه پاششی نانو برای تبدیل نانو ذرات کلوئیدی به ذرات پودری ریز مورد آزمایش قرار گرفت و امکان ذخیره سازی طولانی مدت به شکل پودر و در نتیجه پتانسیل بیشتری برای کاربردها در صنایع غذایی فراهم کرد. در شرایط آماده سازی و فرمولاسیون بهینه، نانو ذرات پیچیده بارگذاری شده با اوژنول با اندازه ۱۴۰ نانومتر، شکل کروی و توزیع اندازه یکنواخت به دست آمد و ساختار آن‌ها با هر دو میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری تأیید شد [۹۶].

کارمو و همکاران در سال ۲۰۱۷ پژوهشی در رابطه با ریزپوشانی آلفاتوکوفرول با زئین و بتاسیکلودکسترین با استفاده از خشک کردن پاششی برای ثبات رنگ و بهبود ماندگاری نوشیدنی‌های میوه‌ای انجام دادند. برای این منظور، کپسوله کردن آلفاتوکوفرول با پروتئین زئین ابتدا با استفاده از

فناوری خشک کردن پاششی بهینه شد. شرایط مختلف فرآیند، یعنی دما (۱۸۰-۱۱۰ درجه سانتی گراد) و غلظت مواد جامد (۰/۴-۰/۱ گرم بر میلی لیتر) با هدف به حداکثر رساندن میزان کپسوله سازی آلفاتوکوفرول و ظرفیت آنتی اکسیدانی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که دمای گاز ورودی کمتر و غلظت مواد جامد کمتر باعث تولید اشکال آلفاتوکوفرول: زئین با فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتر می شود؛ و بالاترین راندمان کپسولا سیون (۴۲/۵ درصد) با استفاده از ۰/۲ گرم در میلی لیتر غلظت مواد جامد به دست آمد. سیکلودکستین بیشتر به بهترین سیستم اضافه شد تا ظرفیت انحلال آلفاتوکوفرول را افزایش دهد. نوشیدنی های آبمیوه فرم آلفاتوکوفرول: زئین: سیکلودکستین، علیرغم فعالیت آنتی اکسیدانی کم، باعث کاهش افت رنگ در مقایسه با آبمیوه معمولی شدند و این اثر احتمالاً مربوط به سرکوب تخریب آنتوسیانین به دلیل تشکیل مجتمع های احاطه کننده بتاسیکلودکستین است. نکته مهم این است که هیچ یک از این اشکال باعث ایجاد سمیت سلولی نشده است و مدل سلولی 2Caco ایمنی این سیستم ها را تأیید می کند [۹۷].

چن و ژونگ در سال ۲۰۱۴ پژوهشی در رابطه با فرآیندهای بهبود پراکندگی نانو ذرات زئین خشک شده با خشک کن پاششی ساده با استفاده از کازئینات سدیم انجام دادند. از آنجایی که پرولامین ها نامحلول در آب هستند، پراکندگی نانو ذرات زئین در سیستم های آبی یک چالش است. نانو ذرات زئین با کازئینات سدیم به سه روش رسوبی تهیه شد. پراکندگی پودر نانو ذرات زئین خشک شده با

اسپری و خواص نانو ذرات زئین بازسازی شده مورد مطالعه قرار گرفت. برای کازئینات سدیم تیمار نشده، تمام کازئین ها در ابتدا روی کازئینات سدیم جذب شدند، اما فقط کازئین K متصل باقی ماند. برای کازئینات سدیم تیمار شده با قلیا، تنها کازئین K روی نانو ذرات زئین جذب می شود اما تا حدی در $75-300$ میلی مولار $NaCl$ جدا می شود. برای نانو ذرات زئین که با کازئینات سدیم رسوب می کند، کازئین K بخشی از نانو ذرات زئین با ثبات پراکندگی بسیار بهبود یافته شد [۹۸].

لو و همکاران در سال ۲۰۱۲ توسعه نانو ذرات زئین با پوشش کربوکسی متیل کیتوزان ($CMCS$) برای کپسولاسیون و آزاد سازی کنترل شده ویتامین D^3 را بررسی نمودند. ویتامین D^3 ابتدا با استفاده از روش جدا سازی فاز کم انرژی درون نانو ذرات زئین کپسوله شد و به طور همزمان با $CMCS$ پوشش داده شد. سپس، کلسیم به $CMCS$ پیوند متقابل اضافه شد تا پوشش های ضخیم تر و متراکم تر حاصل شود. نانو ذرات با پوشش $CMCS$ ساختار کروی با اندازه ذرات ۸۶ تا ۲۰۰ نانومتر داشتند. راندمان کپسولاسیون پس از پوشش $CMCS$ به میزان ۸۷/۹ درصد در مقایسه با ۵۲/۲ درصد برای استفاده از زئین به عنوان یک کپسول منفرد بهبود یافت. همچنین نانو ذرات با پوشش $CMCS$ ، آزاد سازی کنترل شده بهتر ویتامین D^3 را در محیط PBS و دستگاه گوارش شبیه سازی شده ارائه کردند. پایداری نور در برابر اشعه ماوراء بنفش پس از کپسوله سازی به طور قابل توجهی بهبود یافت. نتایج نشان داد کپسوله کردن مواد مغذی آب گریز در نانو ذرات زئین با پوشش های $CMCS$ یک رویکرد امیدوار کننده برای افزایش پایداری شیمیایی و خاصیت رهایش کنترل شده است [۹۹].

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱ مواد و تجهیزات مورد استفاده

روغن ماهی خریداری شده از کارخانه کیلکا ساری (با مشخصات عدد پراکسید ۱/۶۸۱ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم، انرژی خام ۸۹۸۲ کیلوکالری بر کیلوگرم و چربی خام ۹۹/۸ در صد اندازه‌گیری شده توسط شرکت مربوطه)، دانه ریحان خریداری شده از بازار اصفهان، زئین ذرت ناخالص خریداری شده از کارخانه زرین ذرت شاهرود، آلفاتوکوفرول خریداری شده از شرکت مرک آلمان، اتانول ۹۶ درصد خریداری شده از شرکت نصرالکل، عصاره زرشک میوه سیاه گونه *Berberis cartagena* دانشکده کشاورزی شاهرود اهدایی از دکتر موحدنژاد

جدول ۳-۱. تجهیزات و لوازم

نام دستگاه	مشخصات دستگاه
ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم	AND FX-300GD / ژاپن
حمام فراصوت	Elma / آلمان
سانترفیوژ	SIGMA / آلمان
تغلیظ کننده دوار تحت خلأ	Heidolph / Hei-VAP Value آلمان
نانو خشک کن پاششی توس نانو	UPWR-TN-556 / ایران
آب مقطر گیر	GFL / آلمان
همزن مغناطیسی	دست ساز با سرعت ۵۵۰۰
مگنت استیرر	Heidolph / MR Hei-Standard آلمان
هموژنایزر آلتراسونیک	20 kHz sigmasonic Sonicator ایران

Anton paar /litesizer	اتریش	DLS
Anton Par /Physica302	اتریش	رئومتر
TF5/25-1500	دما پژوه آروین ایران	DSC
UV2150، Unico	آمریکا	اسپکتروفتومتر نور مرئی
GX Microscopes	استرالیا	میکروسکوپ نوری
Seiss /Sigma 300- HV	آلمان	میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
Philips /PMD Philips X-Pert	هلند	XRD

۲-۳ استخراج صمغ دانه ریحان

دانه‌ها به صورت دستی تمیز و سنگریزه‌ها و ناخالصی‌ها جدا گردیدند. استخراج صمغ از دانه ریحان مطابق با روش رضوی و همکاران در سال ۲۰۰۹ و همچنین کاراژیان و همکاران در سال ۲۰۱۱ با کمی تغییر انجام شد. دانه‌ها ابتدا با آب مقطر با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به نسبت ۱ به ۳۰ مخلوط شدند. سپس به مدت ۲۰ دقیقه تا متورم شدن دانه‌ها نگهداری و سپس به مدت ۱ دقیقه با همزن خانگی مخلوط شدند. برای جدا کردن دانه‌ها از صمغ، از صافی با اندازه منافذ مناسب استفاده گردید. سپس صمغ‌ها در دمای اتاق خشک و با هاون دستی پودر شدند [۴۹، ۱۰۰].



شکل ۳-۱. تصویر پودر صمغ دانه ریحان

۳-۳ روش خالص سازی زئین

از آنجاکه زئین یکی از پروتئین‌های موجود در ذرت هست، زئین ذرت ناخالص از کارخانه زرین ذرت شاهرود تهیه گردید و مطابق روش اندرسون و همکاران در سال ۲۰۱۱ خالص سازی شد. زئین ذرت ناخالص با نسبت ۱ به ۶ درون اتانول ۷۰ درصد حل شد و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد همراه با هم‌زدن نگهداری گردید. فاز شفاف از رسوب جدا گردید و سانتریفیوژ شد. در انتها محلول حاصل در دمای محیط خشک و با هاون دستی پودر شد که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. [۱۰۱].



شکل ۳-۲. تصویر پودر زئین خالص شده

۳-۴ اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین عصاره زرشک

میزان آنتوسیانین عصاره زرشک مطابق روش گیوستی و همکاران در سال ۲۰۰۱ با روش اختلاف pH^{۱۳} اندازه‌گیری شد. از دو سیستم بافر پتاسیم کلراید (۰/۰۲۵ مولار) با pH برابر ۱ و بافر

^{۱۳} pH Differential Method

سدیم استات (۰/۴ مولار) با pH برابر ۴/۵ استفاده شد. به طور خلاصه در این روش ۱ سی سی محلول عصاره رقیق شده به نسبت ۱ به ۲۰۰ با ۱ سی سی از هر یک از بافرها به طور جداگانه مخلوط شد و میزان جذب هر نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با مشخصات ذکر شده در جدول ۱-۳ در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر خوانده شد [۱۰۲]. نتایج برحسب میلی گرم در لیتر معادل سیانیدین-۳-گلوکوزید^{۱۴} در عصاره بر اساس فرمول زیر بیان گردید. غلظت رنگدانه آنتوسیانین مونومری در عصاره برحسب میلی گرم در لیتر برابر است با:

$$(A * MW * DF * 1000) / (\epsilon * l) \quad (1-3)$$

در رابطه فوق DF ، MW ، ϵ ، A و l به ترتیب فاکتور رقت نمونه ها، وزن مولکولی سیانیدین-۳-گلوکوزید، ضریب مولی سیانیدین-۳-گلوکوزید، مقدار جذب و طول سل را نشان می دهد. مقدار MW برابر ۴۴۹/۲ گرم بر مول، ϵ برابر ۲۶۹۰۰ گرم بر مول/سانتی متر و l برابر یک سانتی متر بود.

مقدار جذب به صورت زیر محاسبه شد:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{PH_{1.0}} - (A_{510} - A_{700})_{PH_{4.5}} \quad (2-3)$$

A_{510} بیانگر جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر و A_{700} بیانگر جذب در ۷۰۰ نانومتر هستند.

^{۱۴} Cyaniding-3-glucoside

۳- ۵ مراحل تهیه نانوکپسول‌ها

۳-۵-۱ آماده‌سازی محلول مواد دیواره (صمغ ریحان-زئین)

محلول‌های ۰/۵ درصد وزنی حجمی صمغ ریحان و زئین با نسبت ۱:۱ به‌طور جداگانه تهیه شدند. به‌منظور هیدراته شدن کامل صمغ ریحان عمل هم‌زدن در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت انجام و سپس درون یخچال نگهداری شد. میزان 2000 ppm آلفاتوکوفرول به محلول زئین و میزان 2000 ppm عصاره زر شک به محلول صمغ ریحان، برحسب ماده خشک و در حین هم‌زدن اضافه گردیدند. سپس محلول زئین در چند مرحله، تحت شرایط فراصوت پروپی با دستگاه هموژنایزر آلتراسونیک ذکر شده در جدول ۳-۱ با توان ۴۸۰ وات و زمان ۵ دقیقه به محلول صمغ ریحان افزوده شد. همچنین لازم به ذکر است آلفاتوکوفرول به دلیل ساختار غیرقطبی، به محلول زئین و عصاره زرشک به علت ماهیت قطبی، به محلول صمغ ریحان افزوده گردید. بدین ترتیب دیسپرسیون اول شامل محلول صمغ ریحان و محلول زئین، دیسپرسیون دوم شامل محلول صمغ ریحان و محلول زئین حاوی 2000 ppm آلفاتوکوفرول، دیسپرسیون سوم شامل محلول صمغ ریحان حاوی 2000 ppm عصاره زر شک و محلول زئین، دیسپرسیون چهارم شامل محلول صمغ ریحان حاوی 2000 ppm عصاره زرشک و محلول زئین حاوی 2000 ppm آلفاتوکوفرول بود.

۳-۵-۲ تبخیر حلال با تغلیظ‌کننده تحت خلأ و تهیه امولسیون‌های

پیکرینگ

در ادامه حلال اتانول دیسپرسیون‌های حاصله با استفاده از تغلیظ‌کننده چرخان تحت خلأ خارج شد. عمل تبخیر تا زمان کاهش حجم به نصف حجم اولیه انجام گردید. پس از تبخیر اتانول، روغن ماهی با رعایت نسبت ۱:۲ هسته به دیواره جهت کپسولاسیون و تهیه امولسیون افزوده و امولسیون ۰/۵ درصد روغن تشکیل گردید. سپس با همزن سرعت بالا و دور 11000 rpm جهت تشکیل امولسیون به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. در ادامه امولسیون اولیه جهت ریزتر شدن ذرات، تحت شرایط فراصوت پروپی با قدرت ۴۸۰ وات قرار گرفت (زمان on ۳ ثانیه، زمان off ۲ ثانیه).

۳-۵-۳ خشک کردن امولسیون‌ها با نانو خشک کن پاششی

به منظور خشک کردن امولسیون‌ها و دستیابی به پودر خشک کن از خشک کن پاششی نانو^{۱۵} نشان داده شده در شکل ۳-۳ استفاده گردید. بدین ترتیب هر امولسیون با آب مقطر (نسبت ۱:۲۵) به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد و به منظور ریز شدن ذرات جهت سهولت در خشک شدن، به مدت ۵ دقیقه تحت شرایط فراصوت پروپی با ۱۰۴۰ وات قرار گرفت. سپس با خشک کن پاششی، دمای ۵۷ درجه سانتی گراد، زمان ۴۰ دقیقه و ولتاژ ۲۶ کیلوولت خشک گردید. در ادامه پودرهای خشک شده

^{۱۵} Nano Spray drying

جمع‌آوری شدند و درون ظروف دربسته پوشیده شده با فویل آلومینیوم، داخل فریزر تا زمان آزمایشات

نگهداری گردیدند.



شکل ۳-۳. تصویر نانو خشک‌کن پاششی مورد استفاده در تحقیق حاضر

۳-۶ آزمایش‌های انجام‌شده مربوط به امولسیون‌ها

۳-۶-۱ تصویربرداری از امولسیون‌ها با میکروسکوپ نوری

تصاویر امولسیون‌های تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ نوری ذکر شده در جدول ۳-۱ گرفته شد.

بدین ترتیب که یک قطره از امولسیون با سمپلر برداشته و روی لام شیشه‌ای ریخته و به‌طور کامل

پخش گردید. سپس بلافاصله و قبل از خشک شدن قطره، تصاویر با میکروسکوپ نوری مجهز به

دوربین دیجیتالی ثبت شد.

۳-۶-۲ تعیین اندازه ذرات

اندازه ذرات امولسیون با استفاده از دستگاه پراکندگی نور دینامیک^{۱۶} (DLS) با مشخصات ذکر شده در جدول ۳-۱ تعیین گردید. اندازه ذرات برای هر دو نوع امولسیون قبل و بعد از فراصوت تعیین شد. بدین منظور مقداری از امولسیون موردنظر با آب مقطر رقیق شده و برای پخش شدن کامل ذرات به مدت ۳ دقیقه در حمام فراصوت (pipeSinapTec lab75 ساخت فرانسه) قرار گرفت. شاخص *Span* دامنه نمودار توزیع اندازه ذرات را نشان می‌دهد. هر چه نمودار باریک‌تر باشد عدد *Span* کوچک‌تر است. توزیع اندازه ذرات با فرمول زیر محاسبه شد:

$$Span = \frac{D(90\%) - D(10\%)}{D(50\%)} \quad (3-3)$$

$D(90\%, 50\%, 10\%)$: قطری که حجم ذرات کوچک‌تر از آن به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حجم

کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می‌دهند.

^{۱۶} Dynamic light scattering

۳-۶-۳ تعیین ویسکوزیته و خواص ویسکوالاستیک امولسیون‌ها

خواص رئولوژی (ویسکوزیته، دامنه و فرکانس) امولسیون‌های تهیه شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با رئومتر ذکر شده در جدول ۳-۱ ارزیابی گردید. اندازه‌گیری رفتار جریان امولسیون‌ها در حالت میزان کنترل با یک سیستم سیلندری متحدالمرکز انجام شد. نرخ برشی نیز به‌طور خطی از ۱ به 100 s^{-1} به صورت خطی افزایش یافت. تصویری از دستگاه رئومتر استفاده شده در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵. دستگاه رئومتر مورد استفاده در تحقیق حاضر

۳-۶-۴ ارزیابی رنگ امولسیون‌ها

ابتدا عکس امولسیون‌ها با دوربین گرفته شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ شاخص زردی (b^*)، روشنایی (L^*) و قرمزی (a^*) تعیین گردید.

۷-۳ آزمایش‌های انجام‌شده مربوط به پودرها

۱-۷-۳ پخش‌پذیری مجدد پودرها

نمونه پودرها در ابتدا به میزان ۵۰ میلی‌گرم به ۱۵ سی‌سی آب مقطر برای جلوگیری از اثرات پخش

چندگانه افزوده شد سپس به مدت ۳ دقیقه در معرض حمام فراصوت (*pipeSinapTec lab750*)

ساخت فرانسه) به‌منظور پخش شدن کامل ذرات قرار گرفت و درنهایت با دستگاه آنالیز اندازه ذره

(*DLS*) ذکرشده در جدول ۱-۳ ارزیابی گردید. *RDI* (ضریب انحلال‌پذیری مجدد)^{۱۷} با معادله زیر

محاسبه شد [۱۰۳].

$$RDI = D/D_0 \quad (۴-۳)$$

D_0 برابر D_{50} امولسیون تهیه شده قبل از خشک‌کردن پاششی، D برابر مقدار متناظر سوپانسیون

پودر که پس از خشک‌کردن پاششی تهیه شده است. یک *RDI* نزدیک ۱ نشان‌دهنده این است که

پودر تولیدی می‌تواند به‌طور کامل به امولسیون اولیه بعد از افزودن مجدد آب بازیابی شود و *RDI*

بیشتر از ۱/۵ نشان‌دهنده این است که پودر نمی‌تواند به امولسیون اولیه به‌طور کامل بازیابی شود

[۱۰۴].

^{۱۷} Redispersibility index

۳-۷-۲ بررسی مورفولوژی پودرها (FESEM)

مورفولوژی پودرها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^{۱۸} ذکر شده در جدول ۳-۱ تعیین گردید. نمونه‌ها در ابتدا با دستگاه اسپاترینگ رومیزی (*DSR1-Nano-structured coatings* ساخت ایران) با طلا پوشش داده شدند و سپس عکس‌برداری انجام گرفت.

۳-۷-۳ آنالیز XRD

ساختار پودرها با دستگاه XRD ^{۱۹} ذکر شده در جدول ۳-۱ بررسی شدند. الگوها در محدوده 2θ و زاویه ۱۰ تا ۸۰ درجه با طول‌موج اشعه ایکس مس $1/\lambda 40.56$ آنکستروم اسکن شدند. اندازه‌گیری‌ها با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۰ میلی‌آمپر انجام گرفتند.

۳-۷-۴ آزمون DSC

به‌منظور بررسی پایداری اکسیداتیو پودرها از آزمون DSC ^{۲۰} ذکر شده در جدول ۳-۱ تحت شرایط غیر دمای ثابت^{۲۱} و در محدوده ۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ حرارتی ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه انجام گرفت. مقدار نمونه برای هر آزمون ۵ میلی‌گرم بوده و همچنین تمامی شرایط برای هر ۴ نمونه پودر یکسان در نظر گرفته شد.

^{۱۸} Scanning Electron Microscope

^{۱۹} X-Ray Diffraction

^{۲۰} Differential Scanning Calorimetry

^{۲۱} Non-isothermal

۳-۷-۵ ارزیابی رنگ پودرها

ابتدا عکس پودرها با دوربین گرفته شد و سپس با استفاده از نرم افزار فتوشاپ شاخص زردی (b^*),

روشنایی (L^*) و قرمزی (a^*) تعیین گردید [۱۰۵, ۱۰۶].

۳-۸ تجزیه و تحلیل آماری

داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای بررسی اختلاف بین تیمارها

از روش مقایسه میانگین دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. میانگین، انحراف معیار و

رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار میکروسافت اکسل انجام شد.

فصل چہارم: بحث و نتیجہ

۱-۴ نتایج حاصل از محتوای آنتوسیانین

میزان محتوای آنتوسیانین با روش pH افتراقی برحسب سیانیدین -۳-گلوکوزید برای عصاره زرشک موردا استفاده در تحقیق حاضر مقدار ۳۲۳۹/۵۸ میلی گرم بر لیتر به دست آمد که بسیار قابل توجه و اقتصادی بود. هوشیار و همکاران در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی در رابطه با خواص آنتی اکسیدانی و شیمیایی *Berberis vulgaris* و اثرات سمی آن بر سلول های سرطانی انسان، مقدار آنتوسیانین ۷۸۵ میلی گرم بر لیتر گزارش گردید [۱۰۷]. همچنین در مطالعه اوزگن و همکاران در سال ۲۰۱۳ با هدف بررسی ظرفیت آنتی اکسیدانی و خواص شیمیایی میوه زرشک *Berberis vulgaris* L مقدار آنتوسیانین ۶۶۵/۴ میلی گرم بر لیتر بود [۱۰۸].

۲-۴ بررسی نتایج آزمون های مربوط به امولسیون ها

به منظور درک بهتر مطالب، مشخصات تیمارهای مورد بررسی در جدول ۱-۴ ذکر شد.

جدول ۱-۴. مشخصات امولسیون های تهیه شده

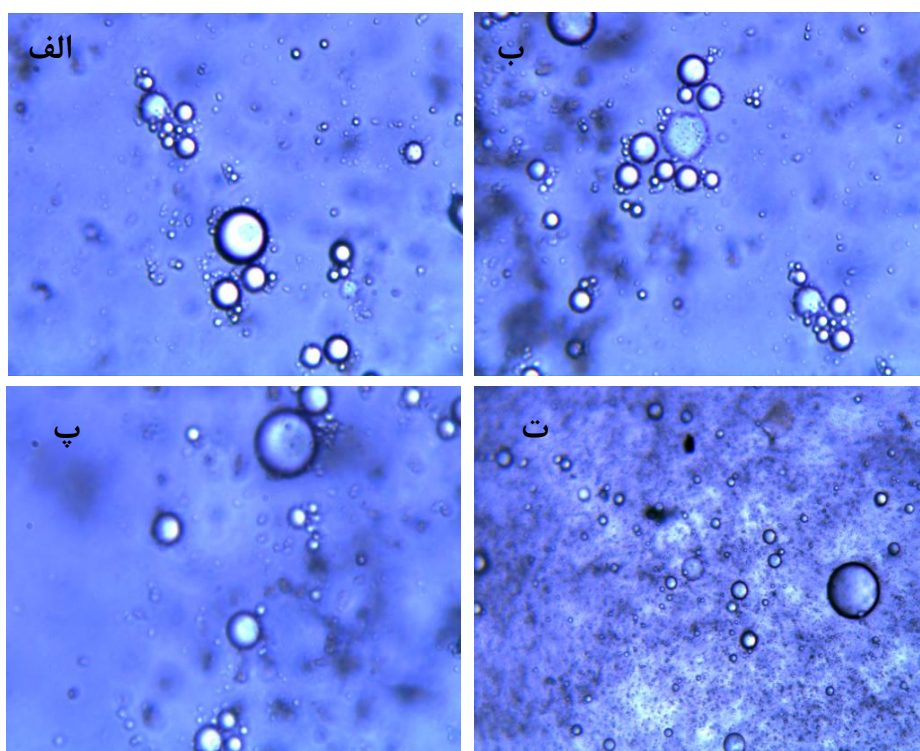
تیمار	ترکیبات تشکیل دهنده
امولسیون ۱	صمغ ریحان-زئین، روغن ماهی
امولسیون ۲	صمغ ریحان-زئین حاوی آلفاتوکوفرول، روغن ماهی
امولسیون ۳	صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین، روغن ماهی
امولسیون ۴	صمغ ریحان حاوی عصاره زرشک-زئین حاوی آلفاتوکوفرول، روغن ماهی

۴-۲-۱ تصاویر امولسیون‌ها با میکروسکوپ نوری

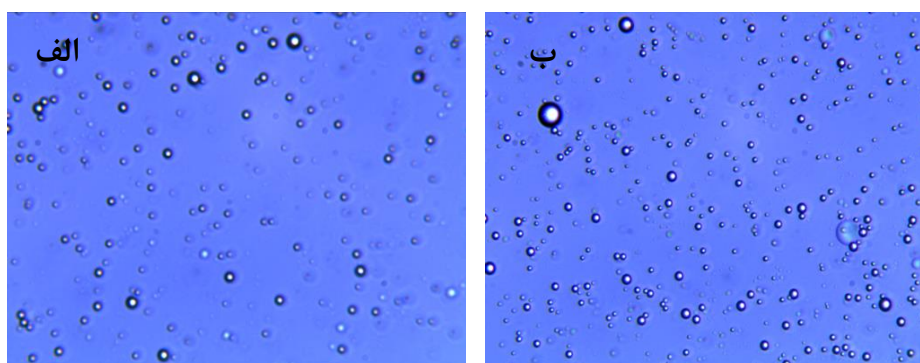
تصاویر مربوط به ذرات امولسیون‌ها قبل و بعد از فراصوت به منظور بررسی اندازه و حالت ذرات در

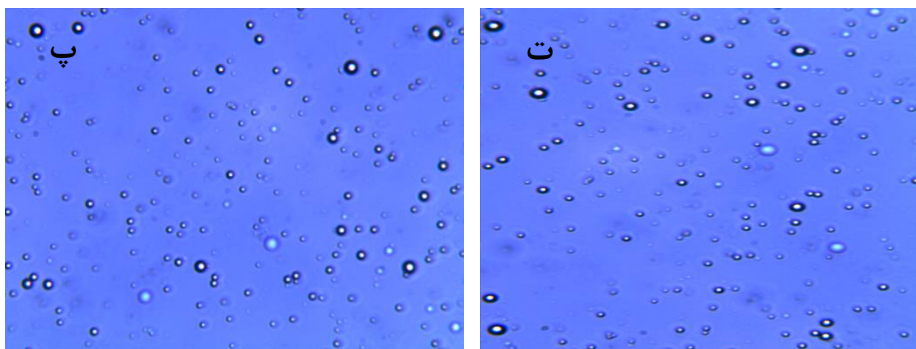
شکل ۴-۱ و ۴-۲ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود فراصوت منجر به ریز شدن ذرات

امولسیون شد و برای بررسی دقیق‌تر اندازه ذرات از نتایج آزمون *DLS* استفاده شد.



شکل ۴-۱. امولسیون‌ها با میکروسکوپ نوری با عدسی $40\times$ قبل از فراصوت (موارد الف، ب، پ و ت به ترتیب مربوط به امولسیون‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ است).





شکل ۴-۲. تصاویر امولسیون‌ها با میکروسکوپ نوری با عدسی X ۴۰ بعد از فراصوت (موارد الف، ب، پ و ت به ترتیب مربوط به امولسیون‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ است).

۴-۲-۲ اندازه ذرات امولسیون‌ها قبل و بعد از فراصوت

به منظور بررسی اندازه ذرات امولسیون‌ها قبل و بعد از فراصوت پروپی، آزمون *DLS* انجام شد که نتایج

حاصل در جدول ۴-۲ و ۴-۳ قابل مشاهده است.

جدول ۴-۲. توزیع و اندازه ذرات امولسیون‌ها قبل از فراصوت

تیمار	D_{10}	D_{50}	D_{90}	Span
امولسیون ۱	۳۲۸۵	۵۴۸۴	۶۹۷۵	۰/۶۷۳
امولسیون ۲	۲۰۳۵	۳۲۷۴	۴۳۹۴	۰/۷۲۰
امولسیون ۳	۱۸/۴۷	۱۹۱۳/۱	۳۱۵۶	۱/۶۴۰
امولسیون ۴	۴۲۳۰	۵۵۲۹	۶۹۹۲	۰/۵۰۰

جدول ۴-۳. توزیع و اندازه ذرات امولسیون‌ها بعد از فراصوت

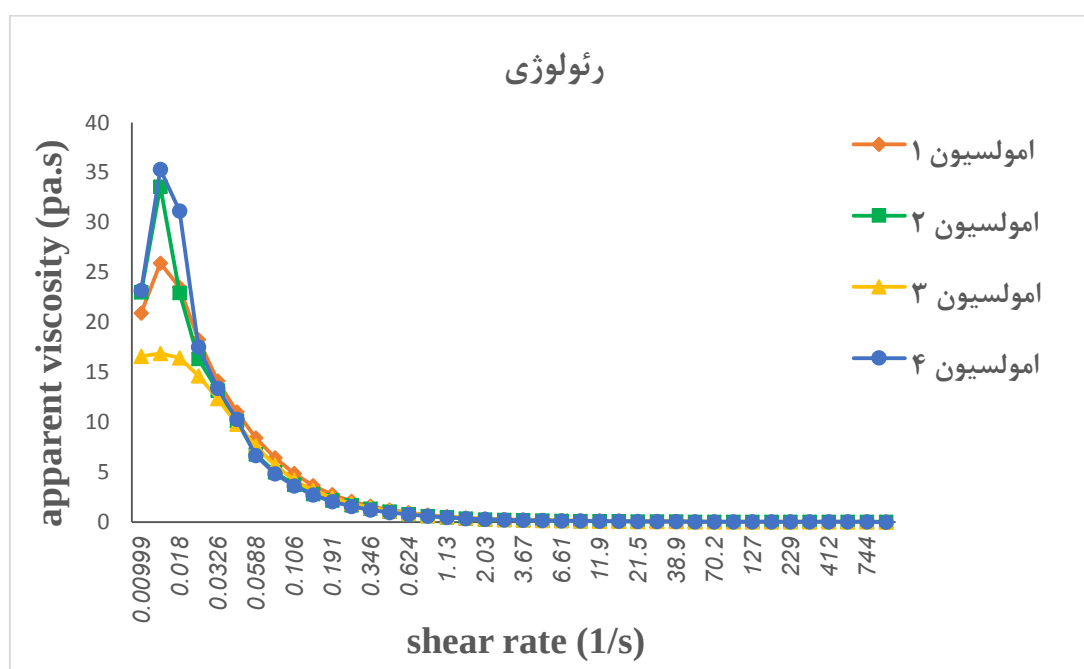
تیمار	D_{10}	D_{50}	D_{90}	Span
امولسیون ۱	۴۷/۴۶	۶۱/۶۱	۷۲۴/۵	۱۰/۹۹۰
امولسیون ۲	۲۰/۴۸	۵۲/۲۲	۱۹۸۱/۹	۳۷/۵۵۸
امولسیون ۳	۱۵/۵۹	۲۵/۰۵	۱۵۰۱/۴	۵۹/۳۰۴
امولسیون ۴	۵۲/۸۰	۸۷/۴۴	۱۳۸۷/۸	۱۵/۲۶۷

با توجه به نتایج، اندازه تمامی ذرات امولسیون‌ها بعد از فراصوت در محدوده نانومتر بود. مقادیر D_{50} در امولسیون‌های قبل از فراصوت در محدوده ۱۹۱۳ تا ۵۵۲۹ نانومتر و در امولسیون‌های بعد از فراصوت در محدوده ۲۵ تا ۸۷ نانومتر بودند و درواقع فراصوت منجر به کوچک شدن اندازه ذرات گردید. شاخص $Span$ یکنواختی ذرات را نشان داده و هرچه قدر کوچک‌تر باشد یعنی توزیع اندازه ذرات یکنواخت‌تر است. غیریکنواخت بودن اندازه ذرات به دلیل تفاوت در ضریب شکست فازهای پراکنده، پیوسته و همچنین شرایط تشکیل امولسیون است. با توجه به یکسان بودن شرایط تشکیل امولسیون‌ها، تفاوت در اعداد $Span$ را می‌توان به تفاوت در ضریب شکست فازها نسبت داد. درمجموع کاهش اندازه ذرات و نیز کاهش یکنواختی می‌تواند موجب بهبود و یا اختلال در ویژگی‌هایی همچون ثبات ذرات، ویسکوزیته، رنگ و خامه‌ای شدن نانوامولسیون‌ها گردد [۱۰۹]؛ زیرا با کوچک‌تر شدن هرچه بیشتر اندازه ذرات، اثرات جاذبه واندروالسی کاهش یافته، در نتیجه اتصال ذرات کم شده و امکان فلوکوله شدن و به هم پیوستن ذرات نانوامولسیون به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. مطابق مشاهدات مقادیر D_{50} برای امولسیون ۴ بیشترین مقدار به دست آمد که می‌توان گفت احتمالاً به دلیل افزودن توأم آلفاتوکوفرول و عصاره زرشک به مواد دیواره و در نتیجه افزایش مواد تشکیل دهنده دیواره می‌باشد. در مطالعه سیاری و همکاران در سال ۲۰۲۱ در مورد کپسولاسیون فیله ماهی قزل‌آلا با صمغ ریحان و اسانس دانه زیره مشاهده شد با افزایش غلظت اسانس اندازه ذرات نیز افزایش یافت [۱۱۰]. همچنین کمترین مقدار D_{50} مربوط به امولسیون ۳ بود که در حقیقت می‌توان به این نکته اشاره نمود،

افزودن عصاره زرشک احتمالاً تا حدودی باعث کاهش ویسکوزیته امولسیون گردیده و با کاهش ویسکوزیته قطرات امولسیون راحت تر توسط نیروهای برشی خرد شده‌اند، در نتیجه اندازه ذرات کاهش یافته است. در پژوهش بررسی اثر صمغ دانه شاهی در امولسیون روغن در آب که توسط نجفی و همکاران در سال ۲۰۱۶ انجام گرفت مشاهده شد با افزایش غلظت و مقادیر صمغ از ۰/۷۵ درصد به ۱ درصد، اندازه ذرات امولسیون افزایش یافت [۱۱۱].

۳-۲-۴ ویسکوزیته و خواص ویسکوالاستیک امولسیون‌ها

در شکل ۳-۴ ویسکوزیته ظاهری در مقابل سرعت برشی امولسیون‌ها نشان داده شده است.

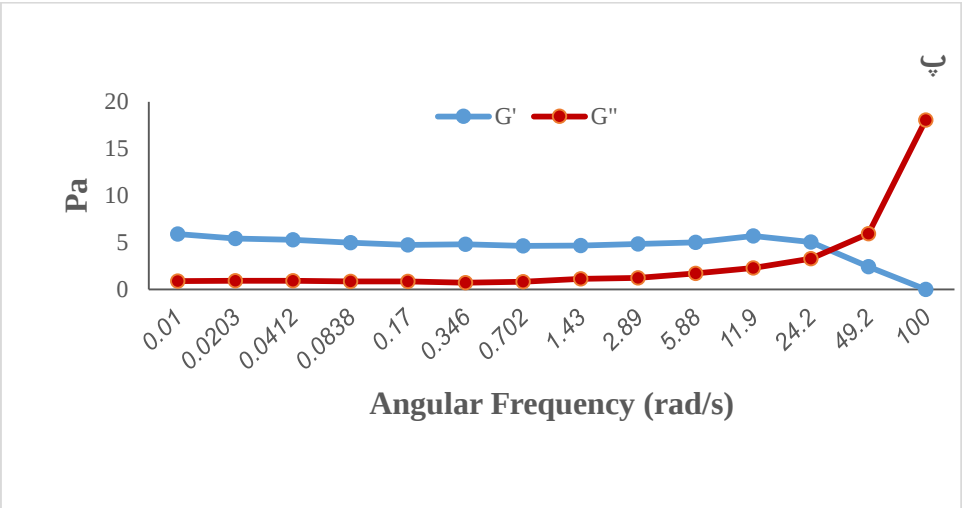
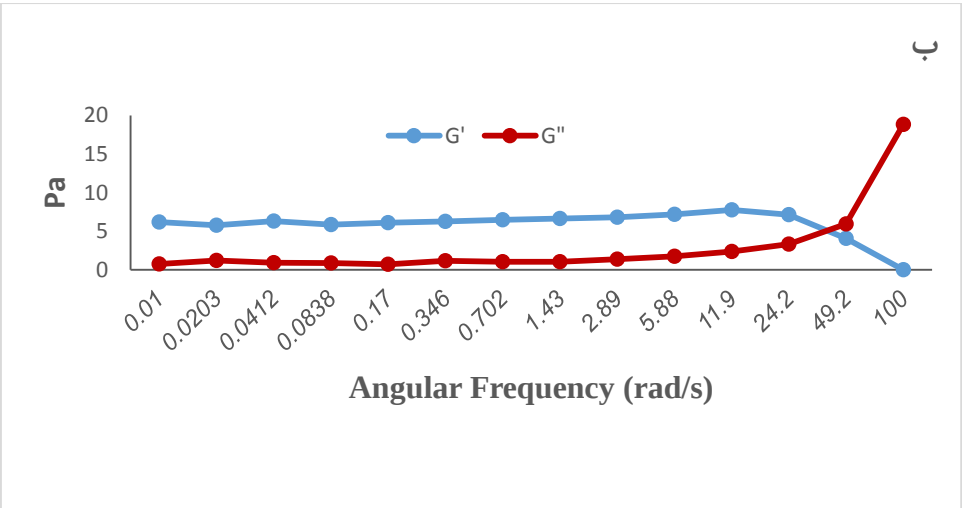
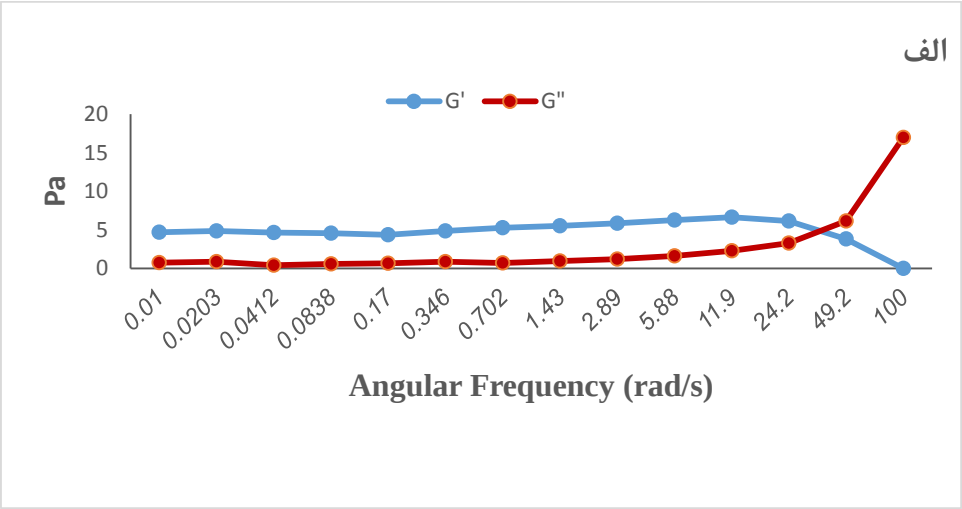


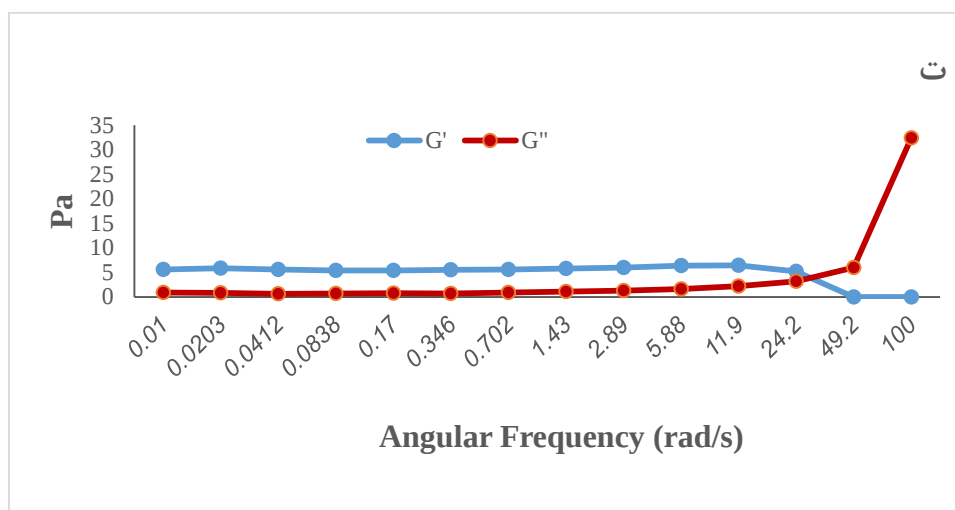
شکل ۳-۴. ویسکوزیته ظاهری در مقابل سرعت برشی امولسیون‌های تهیه شده

با توجه به شکل ۳-۴ می‌توان مشاهده کرد که تمام امولسیون‌ها جزء سیالات غیریوتنی و از نوع سودوپلاستیک یا رقیق شونده برشی بودند. رفتار سودوپلاست را این‌گونه می‌توان تفسیر نمود که وقتی نیروی برشی افزایش می‌یابد اصطکاک میان لایه‌ها کاهش یافته و در نتیجه ویسکوزیته کاهش می‌یابد. در واقع برش باعث می‌گردد مولکول‌های طویل زنجیر در یک راستا قرار گیرند که این باعث جریان‌پذیری بهتر مولکول‌ها شده یعنی راحت‌تر روی هم می‌لغزند و ویسکوزیته کاهش می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان گفت در سیالات رقیق شونده با برش، هر چه اصطکاک بین مولکول‌ها کاهش یابد، ویسکوزیته نیز کاهش می‌یابد. یکی دیگر از علل این پدیده را می‌توان به شکسته شدن ساختار مولکول‌ها با اعمال نیروی برشی نسبت داد. این ویژگی رئولوژیکی در واقع کیفیت حسی را در محصولات غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی افزایش می‌دهد و نیز درجه بالایی از اختلاط، قابلیت پمپاژ و تخلیه را در حین فراوری تضمین می‌نماید [۱۱۲].

علاوه بر این با توجه به شکل ۳-۴ می‌توان مشاهده کرد در سرعت‌های برشی کم ویسکوزیته نمونه‌های حاوی آلفاتوکوفرول بیشتر از نمونه شاهد بوده است و این امر در مورد امولسیون ۴ مشهودتر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که احتمالاً آلفاتوکوفرول توانسته برهمکنش‌های بین مولکولی امولسیون را تقویت کند و موجب افزایش ویسکوزیته شود. البته در سرعت‌های برشی بالا به دلیل از بین رفتن این برهمکنش‌ها، ویسکوزیته همه امولسیون‌ها تقریباً مشابه یکدیگر بوده است.

در شکل ۴-۴ ضریب ذخیره (G') و ضریب افت (G'') امولسیون‌های تهیه‌شده در فرکانس‌های مختلف نشان داده شده است. ضریب ذخیره یعنی وقتی ما نیرویی را به ماده‌ای وارد می‌کنیم، مولکول‌های آن ماده انرژی را در خود ذخیره می‌کنند و دوباره برمی‌گردانند. در حقیقت این فاکتور نشان‌دهنده الاستیک بودن ماده می‌باشد. ضریب افت هنگامی است که ماده انرژی واردشده را تلف می‌کند که غالباً به شکل شکسته شدن پیوندهای بین‌مولکولی و یا اصطکاک یعنی حرکت مولکول‌ها روی هم است که نشان‌دهنده ویسکوز بودن ماده می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از شکل ۴-۴ می‌توان مشاهده کرد که در فرکانس‌های پایین در تمام امولسیون‌ها ضریب ذخیره بیشتر از ضریب افت بوده است که این نشان می‌دهد که در مورد تمام امولسیون‌ها رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز غالب بوده است. غالب بودن رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز حاکی از آن است که امولسیون‌ها ساختاری ژل‌گونه داشته‌اند. ولی در فرکانس‌های بالا رفتار ویسکوز بر رفتار الاستیک غلبه کرده است. این نتیجه نشان می‌دهد که ساختار ژلی ایجاد شده در امولسیون‌ها در اثر نیروهای بین‌مولکولی ضعیف بوده است که در فرکانس‌های بالا این نیروها شکسته شده و امولسیون‌ها رفتار ویسکوز از خود نشان داده‌اند. پی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در بررسی رفتار رئولوژی امولسیون پیکرینگ پایدار شده با نانو ذرات نشاسته ذرت و همچنین دایی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در امولسیون‌های ژلی پایدارشده با نانو ذرات صمغ عربی/زئین نیز نتایج مشابه با تحقیق حاضر را مشاهده کردند [۱۱۳، ۱۱۴].





شکل ۴-۴. ضرایب ذخیره و افت امولسیون‌ها (موارد الف، ب، پ، ت به ترتیب مربوط به امولسیون‌های ۱، ۲، ۳، ۴ هست).

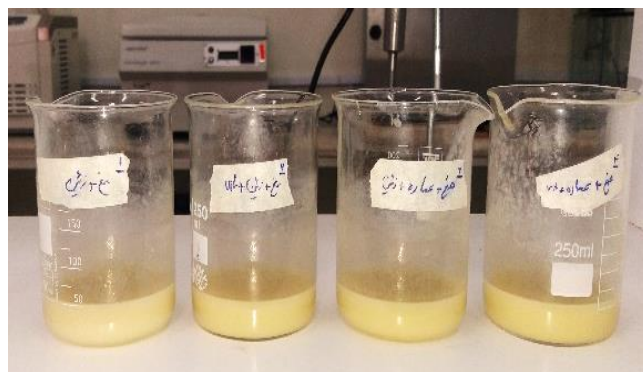
۴-۲-۴ ارزیابی رنگ امولسیون‌ها

به منظور بررسی رنگ امولسیون‌های تولیدی که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، مقادیر L^* ، a^* و

b^* اندازه‌گیری شدند که مقادیر L^* میزان روشنایی، مقادیر a^* محدوده تغییر رنگ از قرمز (+) به سبز

(-) و مقادیر b^* محدوده تغییر رنگ از زرد (+) به آبی (-) را نشان می‌دهند. نتایج حاصله در جدول ۴-۴

۴ ذکر گردیده است.



شکل ۴-۵. تصویر امولسیون‌های تهیه‌شده (به ترتیب از چپ به راست امولسیون‌های ۱، ۲، ۳ و ۴)

جدول ۴-۴. مقادیر ارزیابی رنگ امولسیون‌های تهیه شده

تیمار	L^*	a^*	b^*
امولسیون ۱	$66/04 \pm 3/12^a$	$-6/15 \pm 1/03^a$	$17/68 \pm 0/71^a$
امولسیون ۲	$66/20 \pm 2/19^a$	$-6/22 \pm 0/97^a$	$17/49 \pm 0/72^a$
امولسیون ۳	$67/16 \pm 2/25^a$	$-6/14 \pm 1/02^a$	$17/61 \pm 0/73^a$
امولسیون ۴	$66/19 \pm 2/21^a$	$-6/17 \pm 0/99^a$	$17/59 \pm 0/72^a$

حروف a نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

مطابق با نتایج حاصله مقادیر مدنظر برای شاخص روشنایی، زردی و سبزی تمامی امولسیون‌ها در یک

رنج بود و تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین تیمارها مشاهده نشد.

۳-۴ بررسی نتایج آزمون‌های مربوط به پودرها

۱-۳-۴ آنالیز XRD

آنالیز پراکنش اشعه ایکس برای پودرهای درون‌پوشانی شده به‌منظور تعیین طبیعت کریستالی یا

آمورف نمونه‌ها و نیز مقایسه آن‌ها با یکدیگر انجام شد. همچنین تعیین ویژگی‌های ساختاری نمونه‌ها

از طریق تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس برای ارزیابی پایداری نانو ذرات حائز اهمیت است. نتایج

پراش اشعه ایکس نمونه‌ها در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. مواد کریستالی به علت ساختار منظم

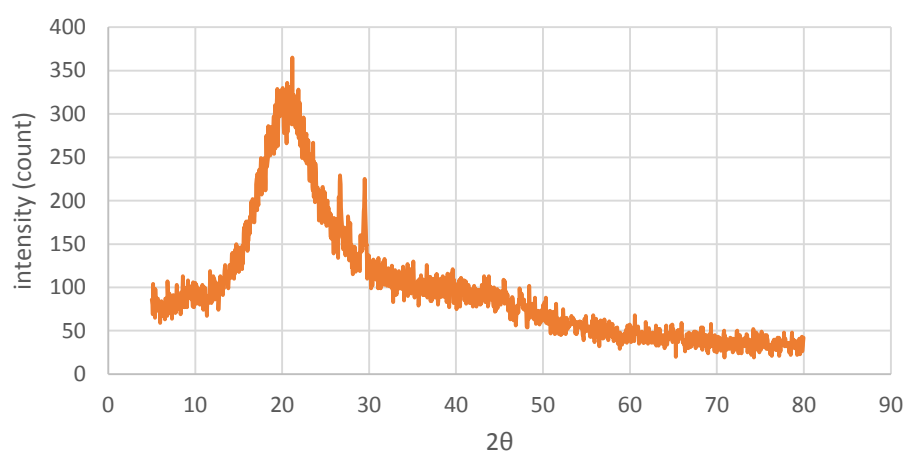
خود منجر به تشکیل پیک‌های تیز شده، در صورتی که مواد آمورف به دلیل حالت نامنظمی که دارند،

پیک‌های پهنی را ایجاد می‌کنند [۱۱۵]. همه پیک‌ها به صورت تیز بود. بیشترین شدت پیک ۲θ برای

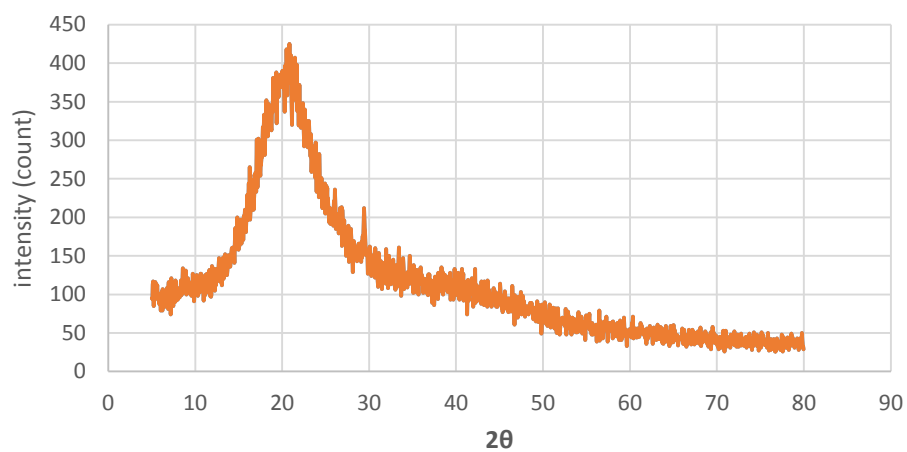
پودر ۴ در محدوده ۲۰/۷۷۵ درجه مقدار ۴۲۳، پودر ۳ مقدار ۴۰۳ در محدوده ۲۰/۴۷۵ درجه، پودر ۲

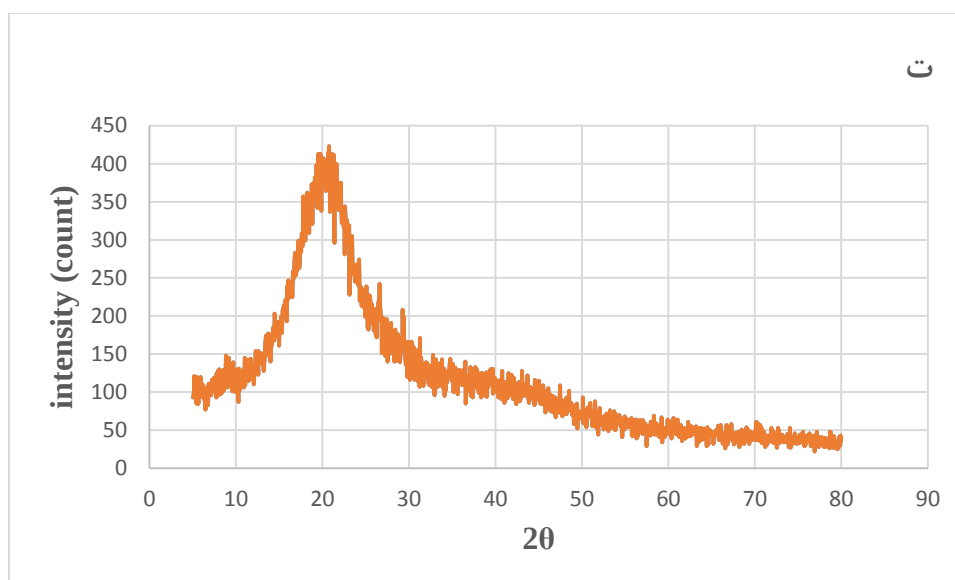
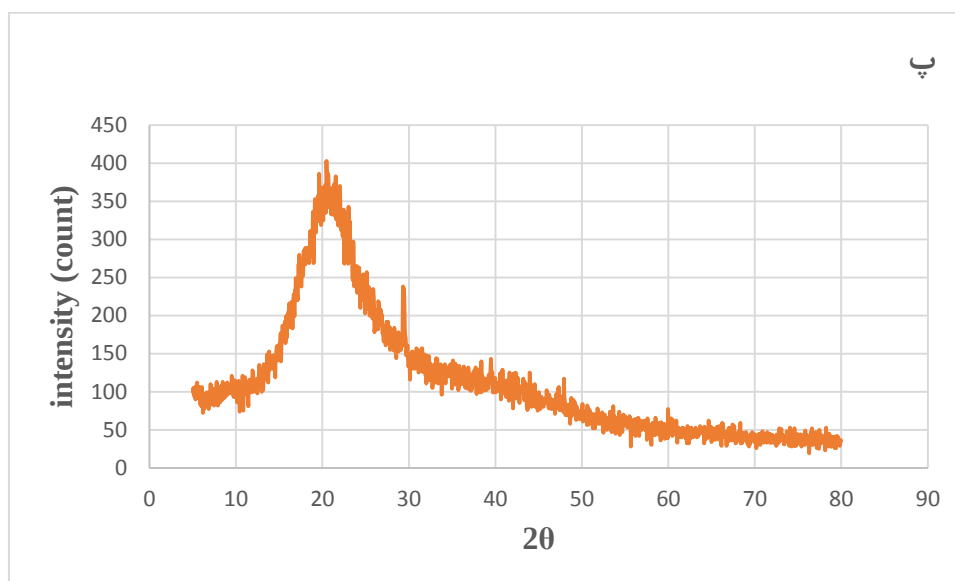
مقدار ۴۱۸ در محدوده ۲۰/۵۲۵ درجه و پودر ۱ مقدار ۳۶۵ در محدوده ۲۱/۱۷۵ درجه بود. استفاده از روش خشک‌کن پاششی منجر به افزایش کریستالی شدن می‌گردد. می‌توان گفت در نمونه‌های ۲ و ۴ با افزودن آلفاتوکوفرول مقدار کریستالی شدن افزایش یافته است و درواقع کاهش در کریستالی شدن نمونه‌ها مربوط به کاهش برهمکنش‌های بین مولکولی است [۱۱۶]. چوکا و همکاران در سال ۲۰۰۵ در پژوهش تأثیر حامل‌های مالتودکسترتین، صمغ عربی و نشاسته مومی بر ریزساختار پودر انبه، تیمارهای فاقد سلولز ذراتی با سطح آمورف و تیمارهایی که حاوی ۳، ۶ و ۹ درصد سلولز بودند، ذراتی با سطوح نیمه کریستالی را نشان دادند [۱۱۷]. پورعشوری و همکاران در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی با هدف کیسول‌سازی روغن ماهی توسط کاراگینان و صمغ کتیرا و سپس کاربرد آن در غنی‌سازی ناگت مرغ گزارش کردند نوع دیواره در انحلال‌پذیری مجدد پودرها تأثیر داشت و کمترین حلالیت تا سطح ۶۰/۱۰ درصد مربوط به پوشش صمغ کتیرا و بیشترین حلالیت تا سطح ۷۳/۵۵ درصد مربوط به کاراگینان بود [۷۱].

الف



ب.





شکل ۴-۶. الگوی XRD پودرهای به دست آمده از خشک کن پاششی (موارد الف، ب، پ و ت به ترتیب مربوط به پودرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ است).

۴-۳-۲ پخش پذیری مجدد پودرها

در ادامه تحقیق پس از تهیه امولسیون ها و خشک نمودن آن ها با خشک کن پاششی، اندازه ذرات پودرهای حاصله با آزمون DLS ارزیابی گردید که نتایج در جدول ۴-۵ قابل مشاهده است. با مقایسه

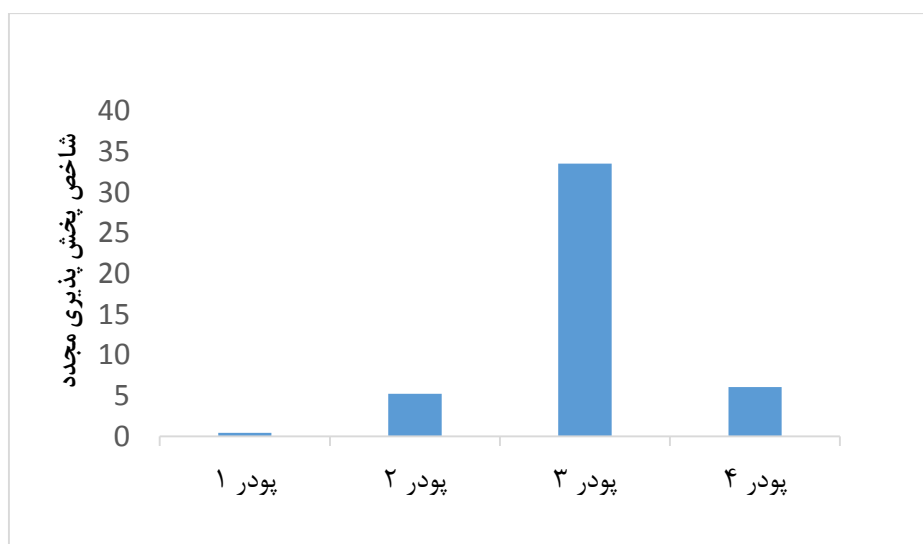
نتایج جداول ۳-۴ و ۵-۴ می‌توان گفت اندازه ذرات در امولسیون ثانویه بیشتر از امولسیون اولیه بوده است.

جدول ۴-۵. توزیع و اندازه ذرات پودرهای تهیه شده

تیمار	D_{10}	D_{50}	D_{90}	Span
پودر ۱	۱۵/۶۰	۲۷۵/۷	۱۵۲۷/۶	۵/۴۸۳
پودر ۲	۴۶/۶۶	۲۷۴/۳	۷۲۷/۲	۲/۲۸۱
پودر ۳	۱۱۳/۰۱	۸۳۹/۵	۱۲۴۵/۲	۱/۳۴۹
پودر ۴	۴۳۳/۷	۵۳۰/۹	۶۳۶/۵	۰/۳۸۲

به‌منظور بررسی بهتر تفاوت میزان پخش‌پذیری پودرهای حاصل از امولسیون‌ها، انحلال‌پذیری مجدد پودرها با استفاده از رابطه‌ی مربوطه در فصل سه محاسبه گردید که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. میزان اندازه ذرات در پودرها نسبت به امولسیون‌های اولیه به دلیل آگلومریزاسیون افزایش یافته بود. همچنین مشاهده شد شاخص انحلال‌پذیری مجدد در مورد پودر ۱ کمتر از ۱/۵ و برای بقیه پودرها بیشتر از ۱/۵ بوده است در نتیجه پودر ۱ توانایی بازیابی به امولسیون اولیه را داشته ولی پودرهای دیگر عدم بازیابی به امولسیون اولیه را نشان دادند. لازم به ذکر است که شاخص پخش‌پذیری بیشتر از ۱/۵ بیانگر همجوشی قطرات امولسیون در حین خشک‌کردن می‌باشد [۱۰۴، ۱۱۸]. همچنین با توجه به نتایجی که از آنالیز XRD به دست آمد، پودرهای ۲، ۳ و ۴ مرتبه کریستالی بالایی را نشان دادند و پودر ۱ مرتبه کریستالی کمتری داشت. خاصیت کریستالی بالاتر موجب کاهش و خاصیت کریستالی کمتر منجر به افزایش انحلال‌پذیری مجدد پودرها شد که این نتایج مطابق با پژوهش‌های

قبلی بود. چوکا و همکاران در سال ۲۰۰۵ پژوهشی با هدف تأثیر حامل‌ها بر ریزساختار پودر انبه حاصله از خشک کردن پاششی و بررسی خصوصیات عملکردی آن داشتند که طی آن گزارش نمودند، تیمارهای حاوی مالتودکسترین دارای درجه بالایی از حلالیت مجدد تا مقادیر ۹۰ درصد بودند و با افزودن ۹ درصد سلولز این مقدار به حدود ۷۲ درصد کاهش یافت. انحلال پذیری بالای مالتودکسترین و تغییر در ریزساختار سیستم در اثر افزودن سلولز (کریستالی شدن) ازجمله دلایل اصلی این مشاهدات ذکر گردید [۱۱۷].

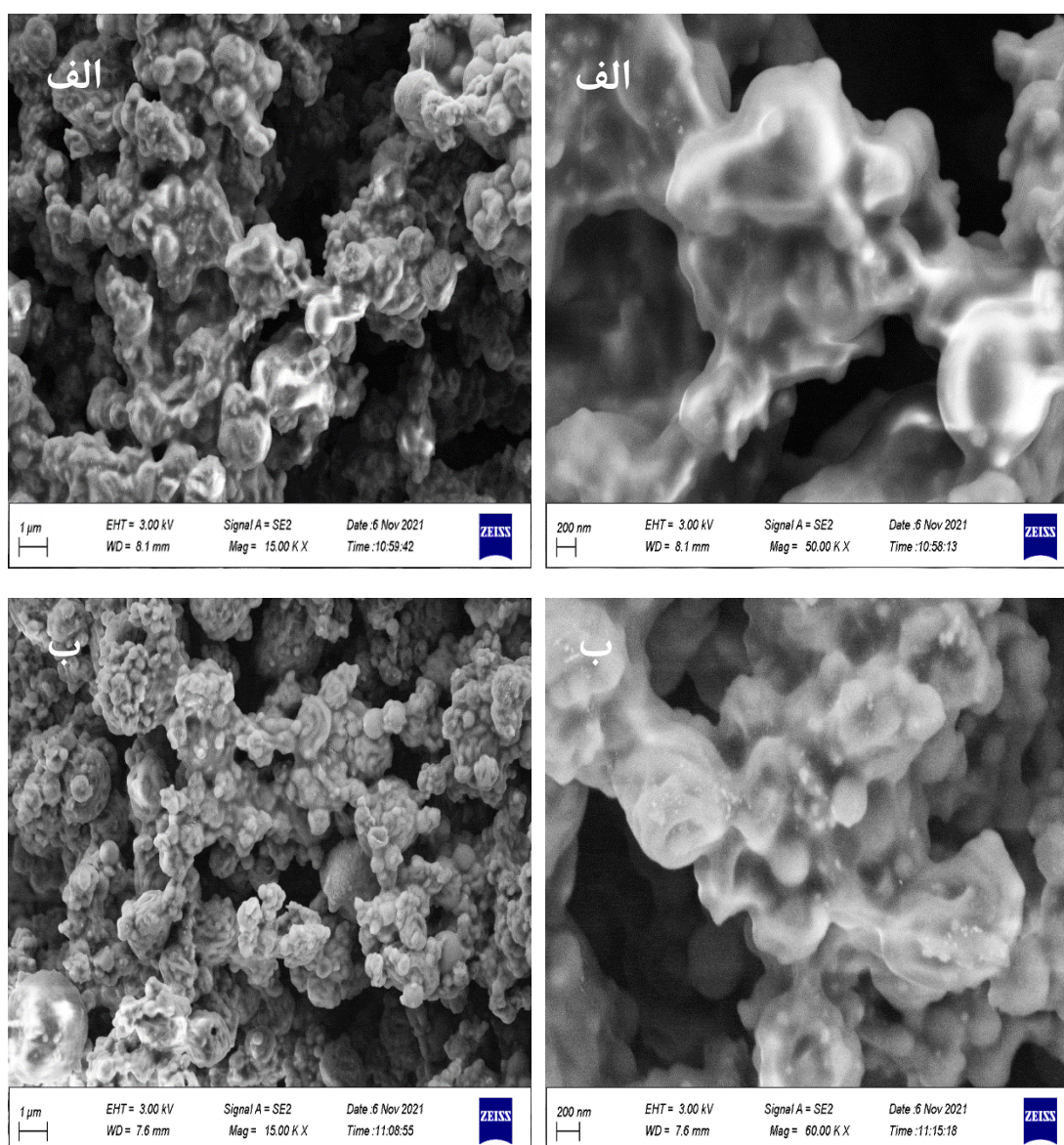


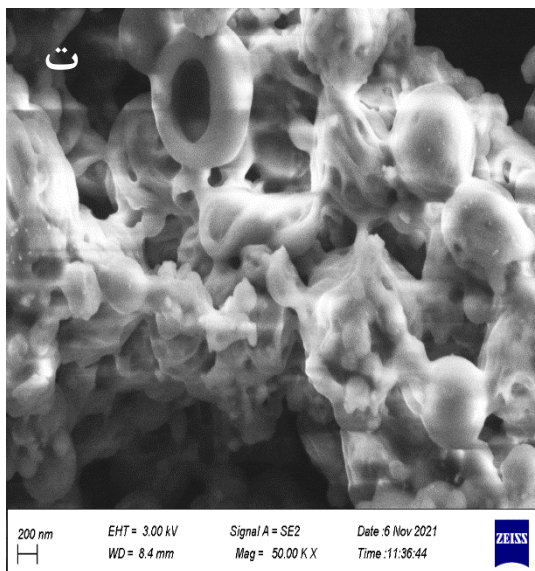
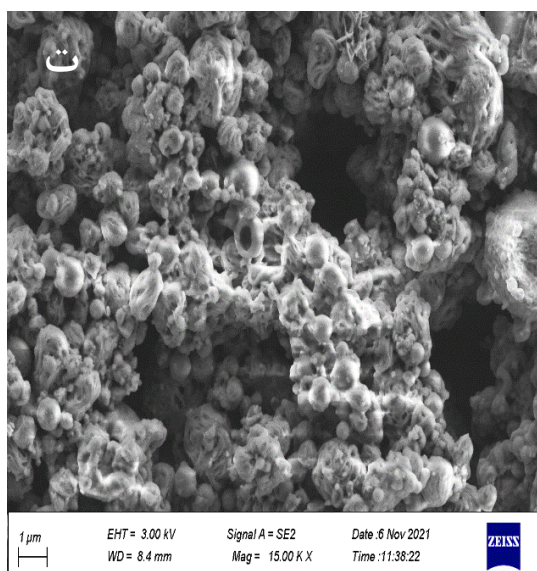
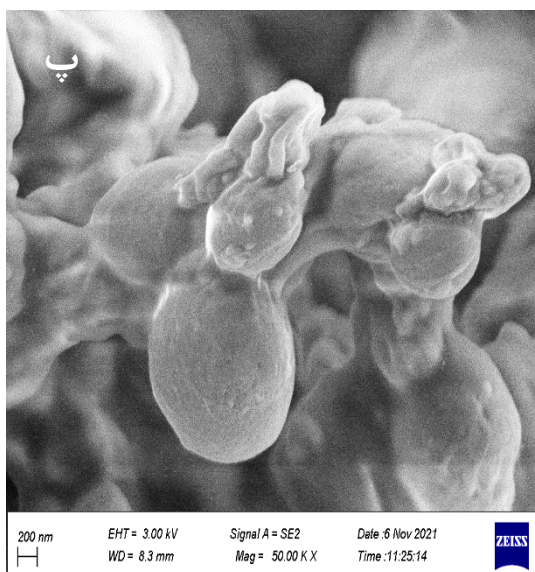
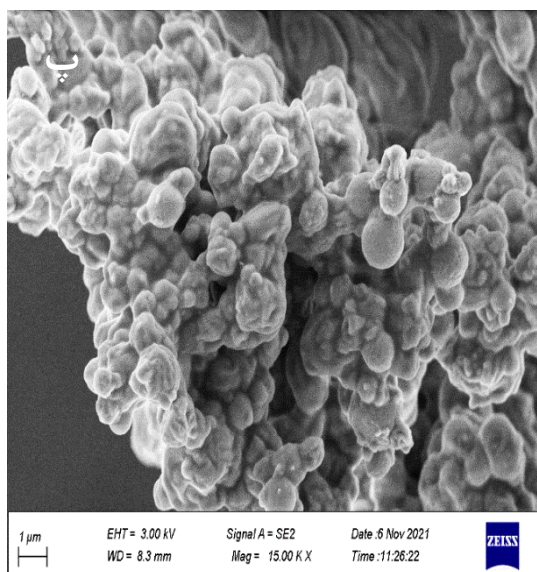
شکل ۴-۷. شاخص پخش پذیری مجدد امولسیون‌های تهیه شده

۳-۳-۴ مورفولوژی پودرها (*FESEM*)

از آنجایی که *SEM* اطلاعات مهمی راجع به مورفولوژی ذره همچون اندازه، شکل و نحوه قرارگیری ذرات در سطح نمونه، توپوگرافی نمونه یعنی خصوصیات سطحی ذرات مانند پستی، بلندی و

برجستگی و نیز ترکیب نمونه فراهم می‌سازد، به‌طورمعمول برای بررسی پودرهای خشک‌شده پاششی استفاده می‌گردد. شکل ذرات تهیه شده توسط خشک کردن پاششی نانو به ویژگی‌های خوراک (مثل نوع ماده، غلظت جامد، حلال و سورفکتانت) و شرایط خشک کردن (مثل دما) بستگی دارد. در شکل ۴-۸ تصاویر حاصله از میکروسکوپ الکترونی نشان داده شده است.





شکل ۴-۸. تصاویر SEM مربوط به پودرهای حاصله از خشک‌کن پاششی (موارد الف، ب، پ و ت به ترتیب مربوط به پودرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ است).

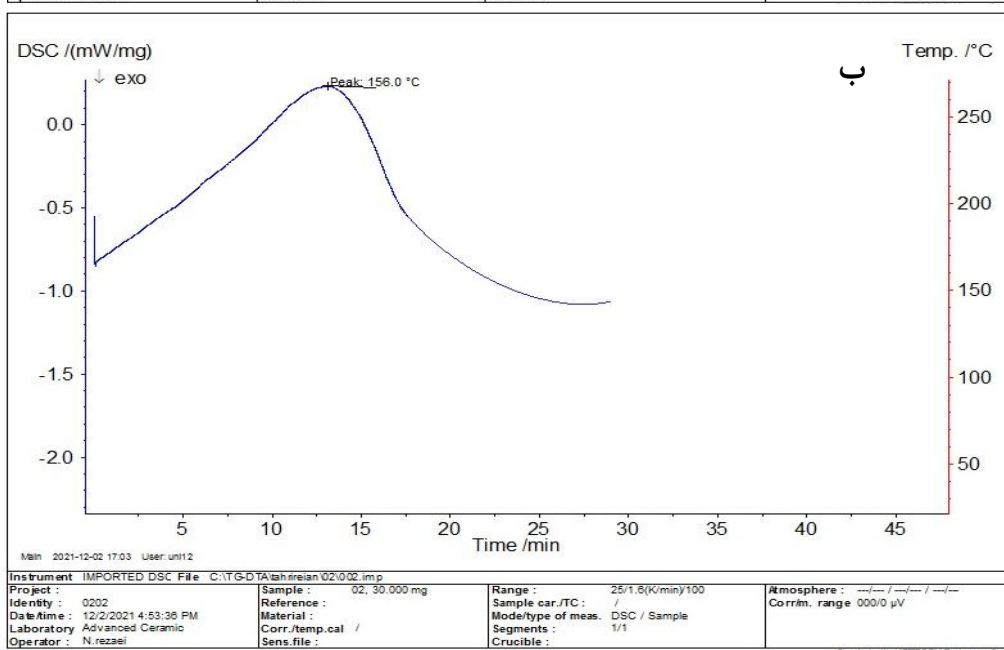
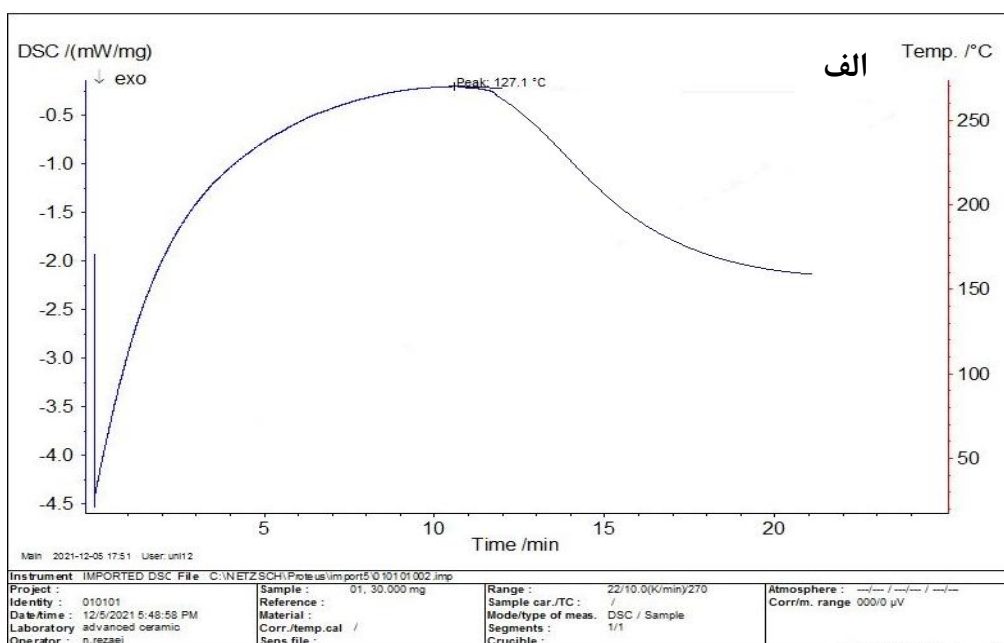
با توجه به تصاویر می‌توان بیان کرد در هر ۴ نمونه پودر، ذرات به صورت کروی با ساختارهای متراکم و سطحی صاف، بدون ترک و منافذ و نیز در ابعاد مختلف تشکیل گردیدند با این تفاوت که در پودر چهارم ذرات با شکل دونات نیز مشاهده شدند که احتمالاً به علت از دست رفتن پایداری ساختار

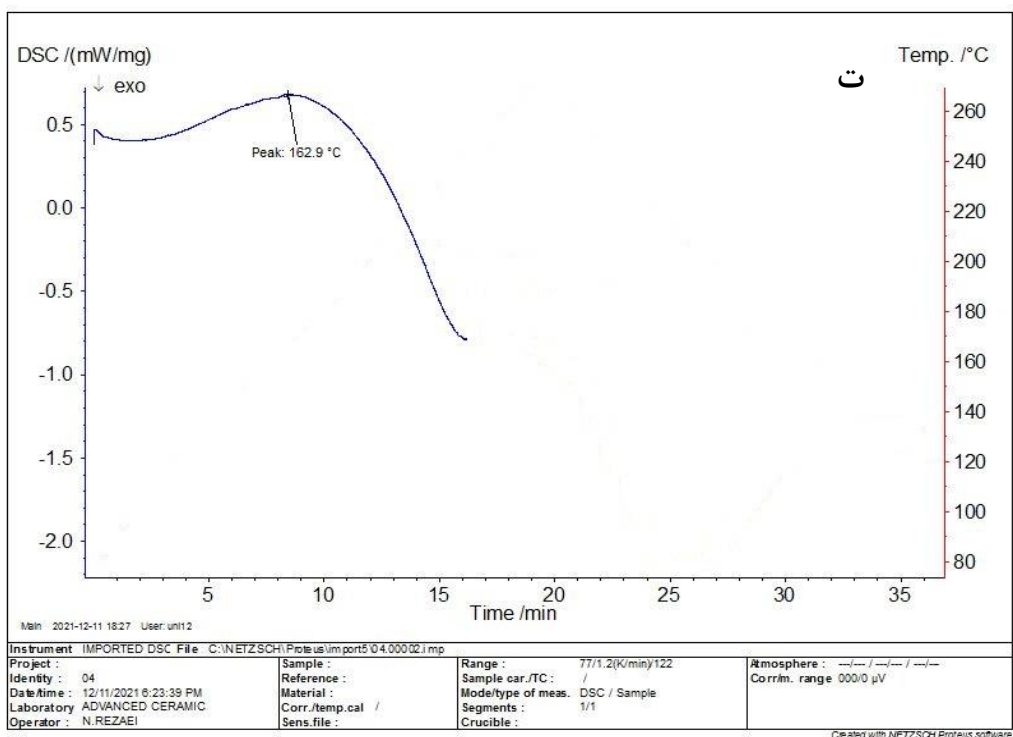
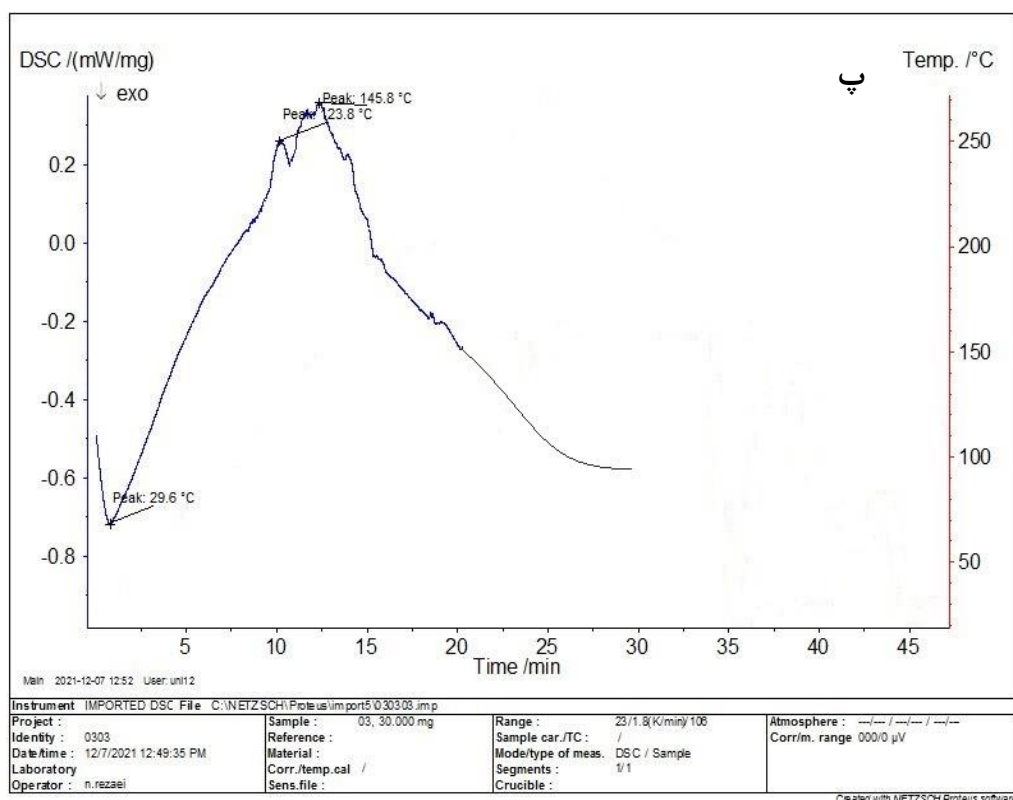
قطرات پاشیده شده به واسطه ویسکوزیته بالا حین خشک کردن بوده است. دلیل تراکم ذرات را می توان به خشک کردن آهسته نمونه ها نسبت داد زیرا خشک کردن سریع نمونه منجر به تشکیل ذرات توخالی می گردد. عدم وجود ترک و منافذ نیز دلیلی برای تضمین حفاظت از روغن کپسوله شده خواهد بود. در تحقیق ژونگ و همکاران در سال ۲۰۰۹ که رها سازی پایدار لیزوزیم از نانوکپسول های ژئین به روش ضد حلال فوق بحرانی، میکروکپسول ها از نظر اندازه ناهمگن و از کوچکی به اندازه زیر میکرومتر تا به قطر ۵۰ میکرومتر بود [۱۱۹]. در تحقیق پریس و همکاران در سال ۲۰۰۵ با هدف کپسول سازی اسانس ها در نانو ذرات ژئین تصاویر توپوگرافی نشان داد که ذرات پودرها شکل نامنظم داشتند [۱۲۰]. در مطالعه ی راموس و همکاران در سال ۲۰۲۱ با بررسی تأثیر خشک کردن اسپری خلأ بر کپسولاسیون روغن ماهی همه نمونه ها توخالی با دیواره پیوسته و بدون شکاف یا ترک ظاهری در ساختار خود بودند. همچنین گزارش شد نوع فرآیند به طور قابل توجهی بر خواص فیزیکی شیمیایی و ساختاری ریز ذرات تأثیر گذاشت [۷۰]. در تحقیق سیاری و همکاران در بررسی اثر اسانس دانه زیره سیاه انکپسوله شده با صمغ ریحان بر فیله ماهی قزل آلا تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطحی کروی و یکنواخت با درصد حفرگی پایین برخوردار بود [۱۱۰]. اندازه ذرات از ۷۷/۴۷ نانومتر مربوط به پودر سوم تا ۱/۶۰۱ میکرومتر مربوط به پودر چهارم متغیر بود و تا حدودی با نتایج *DLS* همخوانی داشت. همچنین پدیده آگلومره شدن در مورد تمامی پودرها مشاهده شد که علل اصلی آن را احتمالاً می توان به عدم استفاده از سورفکتانت، کم بودن مدت زمان فرا صوت و افزایش نسبی دمای نمونه هنگام استفاده از فرا صوت

مربوط دانست. همچنین عدم یکنواختی در اندازه ذرات نیز تا حدودی مربوط به آگلومره شدن است زیرا ذرات ریز تحت اثر نیروهای واندروالسی و با پیوستن به یکدیگر باعث ایجاد ذرات بزرگتر می‌گردند. آگلومرها به دو دسته سخت و نرم تقسیم می‌شوند. آگلومره‌های نرم نمی‌توانند به‌طور کلی بر خواص یک پودر تأثیر بگذارند چراکه تمایل دارند با فشارهای ملایم در طول فرآیند بشکنند. گاهی در اثر تجمع نانوساختارها نسبت سطح به حجم کاهش می‌یابد که موجب تنزل برخی از رفتارهای آنها می‌گردد. البته آگلومره‌های نرم ممکن است با چسبنده‌تر کردن پودر به روان‌تر شدن آن کمک کنند که در این پژوهش احتمالاً از نوع نرم بوده‌اند [۱۲۱، ۱۲۲].

۴-۳-۴ آزمون *DSC*

در ادامه تحقیق پایداری اکسیداتیو پودرهای حاصل از خشک‌کن پاششی توسط آزمون *DSC* سنجیده شد. نتایج در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. مطابق پژوهش‌های پیشین سیگنال *DSC* در محدوده ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد اساساً با فرایند اکسیداسیون مرتبط بوده ولی تغییرات در بالاتر از این محدوده دمایی با تجزیه حرارتی ارتباط دارد. درواقع زمانی که اکسیداسیون نمونه رخ می‌دهد یک پیک که مساحت آن متناسب با مقدار گرمای آزادشده توسط نمونه است با دستگاه مربوطه ثبت می‌شود.





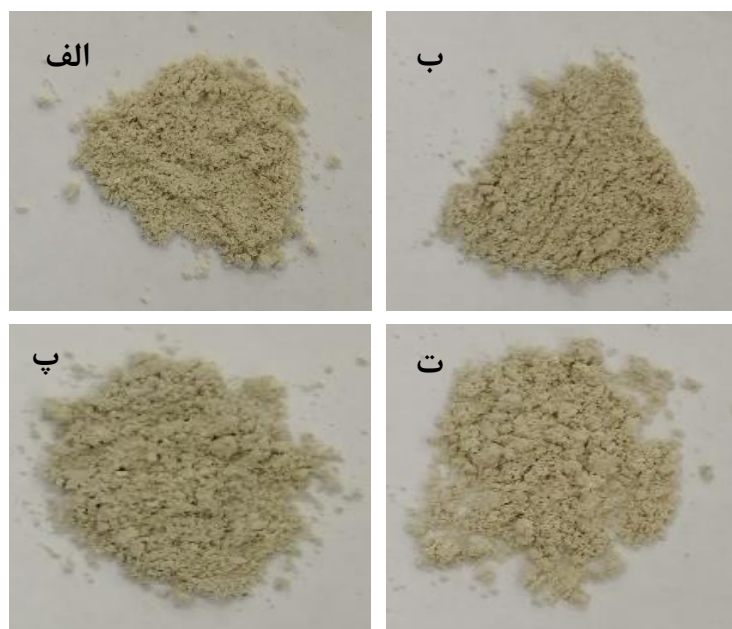
شکل ۴-۹. منحنی DSC مربوط به پودرهای حاصله از خشک‌کن پاششی (موارد الف، ب، پ و ت به ترتیب مربوط به پودرهای ۱، ۲، ۳، ۴ است).

با توجه به نتایج مشاهده شد در نمونه پودر اول (نمونه شاهد) که ترکیبی از صمغ ریحان، زئین و روغن ماهی بود پیک گرمازا در دمای ۱۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد ظاهر شد و به همین ترتیب برای پودر دوم که علاوه بر ترکیب قبلی آلفاتوکوفرول نیز افزوده شده بود پیک گرمازا در دمای ۱۵۶ درجه سانتی‌گراد، در نمونه پودر سوم حاوی عصاره زرشک دو پیک در دماهای ۱۲۳/۸ و ۱۴۵/۸ درجه سانتی‌گراد و در نمونه پودر چهارم که آلفاتوکوفرول و عصاره زرشک باهم داشته است پیک گرمازا در دمای ۱۶۲/۹ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. درواقع با افزودن عصاره زرشک و آلفاتوکوفرول به عنوان آنتی‌اکسیدان دما و زمان رؤیت پیک گرمازا تغییر یافت. همچنین افزودن توأم عصاره زرشک و آلفاتوکوفرول تأثیر بیشتری در زمان و دمای رؤیت پیک داشته است که می‌تواند مربوط به اثبات سینرژیستی آن‌ها باشد. بیک و همکاران طی تحقیقی در سال ۲۰۰۴ اثرات آنتی‌اکسیدانی آلفاتوکوفرول و آسکوربیل‌پالمیتات را بر ثبات اکسیداتیو پودر روغن ماهی ریزپوشانی شده بررسی کردند و نتایج نشان داد مقدار پراکسید در نمونه‌های حاوی آلفاتوکوفرول نسبت به نمونه‌های حاوی آسکوربیل‌پالمیتات کمتر بود [۸۷]. در مطالعه‌ی کارمو و همکاران در سال ۲۰۱۷ که ریزپوشانی آلفاتوکوفرول با زئین و بتا‌سیکلودکسترین و استفاده از خشک‌کن پاششی جهت ثبات رنگ و بهبود ماندگاری نوشیدنی‌ها انجام گرفت گزارش شد دمای گاز ورودی کمتر و غلظت مواد جامد کمتر موجب تشکیل اشکال آلفاتوکوفرول: زئین با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر شد و همچنین سیکلودکسترین باعث افزایش انحلال آلفاتوکوفرول گردید [۹۷]. بینسی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بررسی اثر

همافزایی صمغ عربی و پلی فنل مریم‌گلی و حفاظت از روغن ماهی توسط خشک‌کن پاششی گزارش کردند نرخ اکسیداسیون کپسول‌های حاوی روغن و عصاره در طول ذخیره‌سازی، نسبت به نمونه شاهد کمتر بود [۷۸].

۴-۳-۵ ارزیابی رنگ پودرها

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت محصولات خشک، رنگ می‌باشد زیرا در پذیرش مشتری و ارزش اقتصادی محصولات تأثیرگذار است. همچنین فرآیند خشک‌کردن می‌تواند بر رنگ محصول نهایی مؤثر باشد لذا تعیین آن حائز اهمیت می‌باشد. تصویر پودرها در شکل ۴-۱۰ و نتایج مربوط به ارزیابی رنگ پودرها با پارامترهای رنگ‌سنجی L^* ، a^* و b^* در جدول ۴-۶ ذکر گردید.



شکل ۴-۱۰. تصاویر پودرهای به‌دست‌آمده از خشک‌کن پاششی (موارد الف، ب، پ و ت به ترتیب مربوط به پودرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ است).

جدول ۴-۶. مقادیر ارزیابی رنگ پودرهای خشک کن

تیمار	L^*	a^*	b^*
پودر ۱	$54/66 \pm 0/4^{bc}$	$0/4 \pm 0/1^c$	$19/87 \pm 0/08^c$
پودر ۲	$54/90 \pm 0/34^b$	$0/06 \pm 0/05^d$	$21/79 \pm 0/03^a$
پودر ۳	$57/80 \pm 0/18^a$	$0/97 \pm 0/12^a$	$19/90 \pm 0/12^c$
پودر ۴	$54/10 \pm 0/35^c$	$0/79 \pm 0/01^b$	$20/89 \pm 0/17^b$

حروف a-b-c-d نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده، پارامتر a^* نسبت به نتایج ارزیابی رنگ امولسیون ها مقادیر مثبت یعنی

قرمزی را نشان داد که برای پودرهای ۳ و ۴ بیشترین مقدار بود و می توان این نتیجه را به تأثیر افزودن

عصاره زرشک ربط داد. مشاهده شد با خشک کردن امولسیون ها، مقادیر روشنایی نمونه ها کاهش و

مقادیر قرمزی و زردی نمونه ها افزایش یافته است. همچنین بیشترین میزان روشنایی مربوط به پودر ۳

و کمترین روشنایی مربوط به پودر ۴ بود که مطابق با پژوهش های پیشین، احتمالاً ترکیب مواد دیواره

تأثیر داشته است. در مورد پارامتر زردی نیز، پودرهای ۲ و ۴ بیشترین زردی و پودرهای ۱ و ۳

کمترین زردی را نشان دادند. شایگان نیا و همکاران در سال ۲۰۲۱ مطالعه ای در مورد کپسولاسیون

ترکیبات فنلی با صمغ ایرانی و دانه ریحان و سپس افزودن به سس مایونز داشتند که مشاهده شد با

افزودن میکروکپسول ها به سس مایونز پارامتر b^* افزایش و پارامترهای a^* و L^* کاهش یافتند [۸۸].

اوگروودوفسکا و همکاران در سال ۲۰۱۹ تحقیقی با هدف افزودن روغن کدوتنبل و فرآیند کپسوله سازی

به عنوان روش هایی برای بهبود اکسیداتیو پایداری روغن ماهی انجام دادند. از سیستم RGB برای

تعیین رنگ کپسول ها استفاده شد. رنگ کپسول های روغن ماهی ترکیبی از سبز، کرم و قهوه ای بود.

در کپسول‌های حاوی پوشش برنج رنگ سبز و در کپسول‌های حاوی پوشش آفتاب‌گردان رنگ قهوه‌ای غالب شد. همچنین مشاهده شد نوع هسته تأثیری بر رنگ قهوه‌ای نداشت و این رنگ تحت تأثیر مواد دیواره بود. میزان سبزی نیز در کپسول‌های روغن ماهی بدون دیواره نسبت به کپسول‌های حاوی دیواره کمتر مشاهده شد [۷۴]. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۸ کپسوله سازی کنسانتره *EPA* و *DHA* از روغن ماهی کیلکا توسط پروتئین شیر و ارزیابی پایداری اکسیداتیو آن را بررسی نمودند. گزارش شد پس از ۱۲ روز ذخیره سازی برای همه کپسوله ها میزان روشنایی به طور معنی داری کاهش یافت درحالی که میزان زردی به دلیل واکنش های نامطلوب روندی افزایشی داشت. افزایش پارامتر قرمزی به عنوان معیاری از اکسیداسیون فقط برای پودر کنترل ثبت شد. در انتها بیشترین روشنایی و کمترین زردی برای نمونه هایی حاوی دیواره با بالاترین پایداری اکسیداتیو به دلیل مقدار کم لیپید و همچنین نمونه های تهیه شده با اولتراسوند مشاهده شد [۷۶]. پورعشوری و همکاران در سال ۲۰۲۱ کپسوله سازی روغن ماهی توسط کاراگینان و صمغ کتیرا به عنوان دیواره مواد و کاربرد آن در غنی سازی ناگت مرغ بررسی کردند. پودرهای حاصله رنگ زرد، قرمز با روشنایی بالا نشان دادند. تیمار پوشش کتیرا میزان زردی و قرمزی کمتر و نیز میزان روشنایی بالاتری نسبت به تیمار پوشش کاراگینان نشان داد. همچنین گزارش شد مطابق پژوهش های پیشین، ترکیب دیواره پودرها، اندازه میکروکپسول ها و روش خشک کردن بر شاخص رنگ مؤثر بود [۷۱].

۴-۴ نتیجه گیری

به طور کلی این تحقیق شامل دو بخش بود. بخش اول شامل تهیه امولسیون های پیکرینگ و بررسی اندازه ذرات، رئولوژی، تصاویر میکروسکوپ نوری و رنگ بود. بخش دوم خشک کردن امولسیون های پیکرینگ تهیه شده با خشک کن پاششی نانو و بررسی ویژگی های پخش پذیری مجدد، مورفولوژی، آنالیز DSC ، XRD و رنگ پودرهای به دست آمده بود. نتایج حاصل از آزمون اندازه ذره نشان داد اندازه ذرات پس از فراصوت پروپی به طور چشم گیری کاهش یافت. مقادیر D_{50} برای امولسیون چهارم بیشترین مقدار به دست آمد که می توان به افزودن توأم آلفاتوکوفرول و عصاره زرشک به مواد دیواره و در نتیجه افزایش مواد تشکیل دهنده دیواره نسبت داد. نتایج حاصل از رئولوژی رفتار سودوپلاستیک را برای تمامی تیمارها نشان داد. همچنین آزمون فرکانس حاکی از آن بود که تمامی امولسیون ها در فرکانس های پایین رفتار الاستیک داشتند و این مربوط به ساختار ژل گونه آنها بود. لیکن در فرکانس های بالا رفتار ویسکوز بر رفتار الاستیک غلبه کرد که بیانگر شکسته شدن ساختار ژلی با نیروهای بین مولکولی ضعیف آنها در فرکانس های بالا بود. تصاویر حاصله از میکروسکوپ نوری نیز ذراتی کروی در اندازه های مختلف را نشان داد که اندازه این ذرات پس از فراصوت پروپی به طور مشهودی کاهش یافته بود. در نتایج حاصله از رنگ امولسیون ها تفاوت چشم گیری مشاهده نشد. شاخص پخش پذیری مجدد در مورد پودر اول کمتر از ۱/۵ و در مورد پودرهای دیگر مقادیر بیشتر از

۱/۵ داشت که بیانگر توانایی پودر اول برای بازیابی به امولسیون اولیه و عدم این توانایی برای بقیه پودرها بود. نتایج مورفولوژی پودرها نیز ذراتی کروی با ساختارهای متراکم و سطحی صاف، بدون ترک و منافذ در ابعاد مختلف را نشان داد. در مورد پودر چهارم ذرات با شکل دونات نیز مشاهده شدند که احتمالاً به علت از دست رفتن پایداری ساختار قطرات پاشیده شده حین خشک کردن به واسطه ویسکوزیته بالا بوده است. عدم وجود ترک و منافذ نیز دلیلی بر تضمین حفاظت از روغن کپسوله شده و کارایی خوب کپسولاسیون بود. آنالیز XRD پیک‌های تیز را برای نمونه‌های پودر نشان داد که بیانگر ساختار منظم و طبیعت کریستالی آن‌ها بود. بیشترین شدت پیک برای نمونه دوم و چهارم مشاهده شد که حاکی از افزایش برهم‌کنش‌های مولکولی در اثر افزودن آلفاتوکوفرول بود. بررسی پایداری اکسیداتیو پودرها توسط آزمون DSC بیانگر بیشترین پایداری مربوط به نمونه پودر چهارم در اثر افزودن توأم آلفاتوکوفرول و عصاره زرشک و کمترین پایداری مربوط به نمونه پودر اول (شاهد) بود. در نتیجه آن می‌توان گفت درون‌پوشانی روغن ماهی با پوشش صمغ ریحان-زئین که در ساختار صمغ ریحان عصاره زرشک و در ساختار زئین آلفاتوکوفرول وجود داشته رویکردی مناسب برای بهبود پایداری روغن ماهی بود. نتایج آزمون رنگ پودرها نیز نشان داد پارامتر a^* برای پودر سوم و چهارم مقدار بیشتری داشت که به دلیل افزودن عصاره زرشک بود و به‌طور کلی با خشک نمودن امولسیون‌ها و تبدیل آن‌ها به پودر مقادیر روشنایی کاهش و قرمزی و زردی افزایش یافت.

۵-۴ پیشنهادات

۱. بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف مواد دیواره و روغن ماهی بر پودرهای خشک‌شده پاششی
۲. بررسی تأثیر تیمارهایی همچون دور هموژنایزر، درصد بیوپلیمر و میزان روغن بر اندازه ذرات و کارایی درون‌پوشانی
۳. ارزیابی حسی و قابلیت استفاده و مدت ماندگاری محصول تولیدشده
۴. بررسی پایداری پودرهای تولیدشده طی مدت نگهداری

۱. Khoshnoudi-Nia, S., Z. Forghani, and S.M. Jafari, *A systematic review and meta-analysis of fish oil encapsulation within different micro/nanocarriers*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020: p. 1-22.
۲. Kolanowski, W. and S. Berger, *Possibilities of fish oil application for food products enrichment with omega-3 PUFA*. International journal of food sciences and nutrition, 1999. **50**(1): p. 39-49.
۳. Faraji, H., D.J. McClements, and E.A. Decker, *Role of continuous phase protein on the oxidative stability of fish oil-in-water emulsions*. Journal of agricultural and food chemistry, 2004. **52**(14): p. 4558-4564.
۴. Aronson, W.J., et al., *Modulation of omega-3/omega-6 polyunsaturated ratios with dietary fish oils in men with prostate cancer*. Urology . ۲۰۰۱ , ۵۸(۲): p. 283-288.
۵. Shamaei, S., et al., *Drying behavior and locking point of single droplets containing functional oil*. Advanced Powder Technology, 2016. **27**(4): p. 1750-1760.
۶. Mahdavi, S.A., et al., *Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: A review*. Drying technology, 2014. **32**(5): p. 509-518.
۷. Desai, K.G.H. and H. Jin Park, *Recent developments in microencapsulation of food ingredients*. Drying technology, 2005. **23**(7): p. 1361-1394.
۸. Reineccius, G.A., *The spray drying of food flavors*. Drying technology, 2004. **22**(6): p. 1289-1324.
۹. Jafari, S.M., et al., *Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying*. Drying technology, 2008. **26**(7): p. 816-835.

١٠. Podaralla, S. and O. Perumal, *Influence of formulation factors on the preparation of zein nanoparticles*. Aaps Pharmscitech, 2012. **13**(3): p. 919-927.
١١. Muráriková, A., et al., *Characterization of essential oil composition in different basil species and pot cultures by a GC-MS method*. Molecules, 2017. **22**(7): p. 1221.
١٢. Fang, Z. and B. Bhandari, *Encapsulation of polyphenols—a review*. Trends in Food Science & Technology, 2010. **21**(10): p. 510-523.
١٣. Madene, A., et al., *Flavour encapsulation and controlled release—a review*. International journal of food science & technology, 2006. **41**(1): p. 1-21.
١٤. Liu, X.-D., et al., *Microencapsulation of emulsified hydrophobic flavors by spray drying*. Drying Technology, 2001. **19**(7): p. 1361-1374.
١٥. LIU, X.-D., et al., *Retention of emulsified flavor in a single droplet during drying*. Food Science and Technology Research, 2000. **6**(4): p. 335-339.
١٦. Jafari, S.M., et al., *Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying*. Food Research International, 2008. **41**(2): p. 172-183.
١٧. Fuchs, M., et al., *Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration*. Journal of Food Engineering, 2006. **75**(1): p. 27-35.
١٨. Murugesan, R. and V. Orsat, *Spray drying for the production of nutraceutical ingredients—a review*. Food and Bioprocess Technology, 2012. **5**(1): p. 3-14.
١٩. Okuyama, K., et al., *Preparation of functional nanostructured particles by spray drying*. Advanced Powder Technology, 2006. **17**(6): p. 587-611.
٢٠. Kaushik, P., et al., *Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods*. Journal of functional foods, 2015. **19**: p. 868-881.
٢١. Larsen, J. and L. Boeckner, *NF05-624 Omega-3 Fatty Acids*. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension, 2005: p. 1774.

۲۲. Van Seeventer, P. and F. Systermans, *Micro-encapsulation of nutritional oils: human milk lipids as a model for infant formula*. Agro Food Industry Hi-Tech, 2006. **17**(5): p. 91-95.
۲۳. Simopoulos, A.P., et al., *Common purslane: a source of omega-3 fatty acids and antioxidants*. Journal of the American College of Nutrition, 1992. **11**(4): p. 374-382.
۲۴. Chang, C.-P., et al., *Release properties on gelatin-gum arabic microcapsules containing camphor oil with added polystyrene*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces : (۲)۵۰ . ۲۰۰۶ ,p. 136-140.
۲۵. Eilander, A., et al., *Effects of n-3 long chain polyunsaturated fatty acid supplementation on visual and cognitive development throughout childhood: a review of human studies*. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 2007. **76**(4): p. 189-203.
۲۶. Dziezak, J.D., *Microencapsulation and encapsulated ingredients*. Food technology (Chicago), 1988. **42**(4): p. 136-153.
۲۷. Kaushik, M., et al., *Long-chain omega-3 fatty acids, fish intake, and the risk of type 2 diabetes mellitus*. The American journal of clinical nutrition, 2009. **90**(3): p. 613-620.
۲۸. Choe, E. and D.B. Min, *Mechanisms and factors for edible oil oxidation*. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2006. **5**(4): p. 169-186.
۲۹. Min, D.B. and J.M .Boff, *Lipid oxidation of edible oil*. Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology, 2002(Ed. 2): p. 335-363.
۳۰. Maszewska, M., et al., *Oxidative stability of selected edible oils*. Molecules, 2018. **23**(7): p. 1746.
۳۱. Kochhar, S., *Oxidative pathways to the formation of off-flavours*, in *Food taints and off-flavours*. 1996, Springer. p. 168-225.
۳۲. Rafieian-Kopaei, M., A. Baradaran, and M. Rafieian, *Oxidative stress and the paradoxical effects of antioxidants*. Journal of Research in Medical Sciences 2013 .**18**(7) :p. 628.
۳۳. Hamid, A., et al., *Antioxidants: Its medicinal and pharmacological applications*. African Journal of pure and applied chemistry, 2010. **4**(8): p. 142-151.

۳۴. Jafari, S.M. and D.J. McClements, *Nanotechnology approaches for increasing nutrient bioavailability*. Advances in food and nutrition research, 2017. **81**: p. 1-30.
۳۵. Quintanilla-Carvajal, M.X., et al., *Nanoencapsulation: a new trend in food engineering processing*. Food Engineering Reviews, 2010. **2**(1): p. 39-50.
۳۶. Sharma, N ,et al., *Nanoemulsion: A new concept of delivery system*. Chronicles of Young Scientists, 2010. **1**(2): p. 2-6.
۳۷. Hoffman, J.R. and M.J. Falvo, *Protein—which is best?* Journal of sports science & medicine, 2004. **3**(3): p. 118.
۳۸. Gennadios, A., *Protein-based films and coatings*. 2002: CRC press.
۳۹. Baldwin, E.A., R. Hagenmaier, and J. Bai, *Edible coatings and films to improve food quality*. 2011: CRC press.
۴۰. Shukla, R. and M. Cheryan, *Zein: the industrial protein from corn*. Industrial crops and products, 2001. **3**(13) :p. 171-192.
۴۱. Landry, J., *Comparison of extraction methods for evaluating zein content of maize grain*. Cereal chemistry, 1997. **74**(2): p. 188-189.
۴۲. Wu, Q., H. Sakabe, and S. Isobe, *Studies on the toughness and water resistance of zein-based polymers by modification*. Polymer, 2003. **44**(14): p. 3901-3908.
۴۳. Glicksman, M., *Origins and classification of hydrocolloids*, in *Food hydrocolloids*. 2020, CRC Press. p. 3-18.
۴۴. Williams, P., *Introduction to food hydrocolloids*. IN PHILLIPS, GO & WILLIAMS, PA (Eds) *Handbook of Hydrocolloids*, p 1-19. 2000, Woodhead publishing Limited.
۴۵. De Barros, N.A., et al. *Extraction of basil oil (Ocimum basilicum L.) using supercritical fluid*. in *III Iberoamerican Conference on Supercritical Fluids*. Cartagena de Indias, Colombia. 2013.
۴۶. Koutsos, T., P. Chatzopoulou, and S. Katsiotis, *Effects of individual selection on agronomical and morphological traits and essential oil of a “Greek basil” population*. Euphytica, 2009. **170**(3): p. 365-370.

۴۷. Razavi, S.M., A .Bostan, and M. Rezaie, *Image processing and physico-mechanical properties of basil seed (Ocimum basilicum)*. Journal of Food Process Engineering, 2010. **33**(1): p. 51-64.
۴۸. Saeedi, M., et al., *Evaluation of Ocimum basilicum L. seed mucilage as rate controlling matrix for sustained release of propranolol HCl*. Pharmaceutical and Biomedical Research, 2015. **1**(1): p. 18-25.
۴۹. Razavi, S.M., et al., *Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (Ocimum basilicum L.)*. International journal of food Science & Technology, 2009. **44**(9): p. 1755-1762.
۵۰. Hosseini-Parvar, S., et al., *Steady shear flow behavior of gum extracted from Ocimum basilicum L. seed: Effect of concentration and temperature*. Journal of food engineering, 2010. **101**(3): p. 236-243.
۵۱. McClements, D.J., *Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance*. Soft matter, 2011. **7**(6): p. 2297-2316.
۵۲. Windhab, E.J., et al., *Emulsion processing—from single-drop deformation to design of complex processes and products*. Chemical Engineering Science, 2005. **60**(8-9): p. 2101-2113.
۵۳. Lin, C.-Y. and L.-W. Chen, *Comparison of fuel properties and emission characteristics of two-and three-phase emulsions prepared by ultrasonically vibrating and mechanically homogenizing emulsification methods*. Fuel, 2008. **87**(10-11): p. 2154-2161.
۵۴. Sakai, T., et al., *Design and fabrication of a high-strength hydrogel with ideally homogeneous network structure from tetrahedron-like macromonomers*. Macromolecules, 2008. **41**(14): p. 5379-5384.
۵۵. Tadros, T., et al., *Formation and stability of nano-emulsions*. Advances in colloid and interface science, 2004. **108**: p. 303-318.
۵۶. Chevalier, Y. and M.-A. Bolzinger, *Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2013. **439**: p. 23-34.
۵۷. Binks, B.P., *Particles as surfactants—similarities and differences*. Current opinion in colloid & interface science, 2002. **7**(1-2): p. 21-41.
۵۸. Jafari, S.M., M. Fathi, and I. Mandala, *Emerging product formation*. Food waste recovery, 2021: p. 257-275.

٥٩. Gharsallaoui, A., et al., *Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview*. Food research international, 2007. **40**(9): p. 1107-1121.
٦٠. Anandharamakrishnan, C., *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation*. 2015: John Wiley & Sons.
٦١. Nandiyanto, A.B.D. and K. Okuyama, *Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges*. Advanced Powder Technology, 2011. **22**(1): p. 1-19.
٦٢. Arpagaus, C., et al., *10 - Nanocapsules formation by nano spray drying*, in *Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries*, S.M. Jafari, Editor. 2017 ,Academic Press. p. 346-401.
٦٣. Mao, L., et al., *Food emulsions as delivery systems for flavor compounds: A review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017. **57**(15): p. 3173-3187.
٦٤. Asensio, C.M., et al., *Antioxidant stability study of oregano essential oil microcapsules prepared by spray-drying*. Journal of food science, 2017. **82**(12): p. 2864-2872.
٦٥. Basha, M., A.H. Salama, and S. El Awdan, *Reconstitutable spray dried ultra-fine dispersion as a robust platform for effective oral delivery of an antihyperlipidemic drug*. International journal of pharmaceutics, 2017. **532**(1): p. 478-490.
٦٦. Carneiro, H.C., et al., *Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials*. Journal of food engineering, 2013. **115**(4): p. 443-451.
٦٧. Jang, D.-J., et al., *Improvement of bioavailability and photostability of amlodipine using redispersible dry emulsion*. European journal of pharmaceutical sciences, 2006. **28**(5): p.405-411.
٦٨. Encina, C., et al., *Hydroxypropyl-inulin as a novel encapsulating agent of fish oil by conventional and water-free spray drying*. Food Hydrocolloids, 2021. **113**: p. 106518.
٦٩. Jia, C., et al., *Storage stability and in-vitro release behavior of microcapsules incorporating fish oil by spray drying*. Colloids and

Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2021. **628**: p. 127234.

- ٧٠. de Melo Ramos, F., V.S. Júnior, and A.S. Prata, *Impact of vacuum spray drying on encapsulation of fish oil :Oxidative stability and encapsulation efficiency*. Food Research International, 2021. **143**: p. 110283.
- ٧١. Pourashouri, P., et al., *Encapsulation of fish oil by carrageenan and gum tragacanth as wall materials and its application to the enrichment of chicken nuggets*. LWT, 2021. **137**: p. 110334.
- ٧٢. Vaucher, A.C.d.S., et al., *Microencapsulation of fish oil by casein-pectin complexes and gum arabic microparticles: Oxidative stabilisation*. Journal of microencapsulation, 2019. **36**(5): p. 459-473.
- ٧٣. Di Giorgio ,L., P.R. Salgado, and A.N. Mauri, *Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying*. Food Hydrocolloids, 2019. **87**: p. 891-901.
- ٧٤. Ogrodowska, D., et al., *Pumpkin oil addition and encapsulation process as methods to improve oxidative stability of fish oil*. LWT, 2020. **124**: p. 109142.
- ٧٥. Selmer, I., et al., *Encapsulation of fish oil in protein aerogel micro-particles*. Journal of Food Engineering, 2019.
- ٧٦. Hosseini, H., et al., *Encapsulation of EPA and DHA concentrate from Kilka fish oil by milk proteins and evaluation of its oxidative stability*. Journal of food science and technology, 2019. **56**(1): p. 59-70.
- ٧٧. Ghorbanzade, T., et al., *Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt*. Food chemistry, 2017. **216**: p. 146-152.
- ٧٨. Binsi, P., et al., *Structural and oxidative stabilization of spray dried fish oil microencapsulates with gum arabic and sage polyphenols: Characterization and release kinetics*. Food chemistry, 2017. **219**(3): p. 158-168.
- ٧٩. Morales-Medina, R., et al., *Functional and antioxidant properties of hydrolysates of sardine (*S. pilchardus*) and horse mackerel (*T. mediterraneus*) for the microencapsulation of fish oil by spray-drying*. Food chemistry, 2016. **194** :p. 1208-1216.

٨٠. Eratte, D., et al., *Co-encapsulation and characterisation of omega-3 fatty acids and probiotic bacteria in whey protein isolate–gum Arabic complex coacervates*. Journal of Functional Foods, 2015. **19**: p. 882-892.
٨١. Chatterjee, S. and Z.M.A. Judeh, *Encapsulation of fish oil with N-stearoyl O-butylglyceryl chitosan using membrane and ultrasonic emulsification processes*. Carbohydrate Polymers, 2015. **123**: p. 432-442.
٨٢. Augustin, M.A. and C.M. Oliver, *Chapter 19 - Use of Milk Proteins for Encapsulation of Food Ingredients*, in *Microencapsulation in the Food Industry*, A.G. Gaonkar, et al., Editors. 2014, Academic Press: San Diego. p. 211-226.
٨٣. Wang, B., B. Adhikari, and C.J. Barrow, *Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin–sodium hexametaphosphate using complex coacervation*. Food chemistry, 2014. **158**: p. 358-365.
٨٤. Ilyasoglu, H. and S.N. El, *Nanoencapsulation of EPA/DHA with sodium caseinate–gum arabic complex and its usage in the enrichment of fruit juice*. LWT-Food Science and Technology, 2014. **56**(2): p. 461-468.
٨٥. Aghbashlo, M., et al., *Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying*. Food and Bioprocess Technology, 2013. **6**(6): p. 1561-1569.
٨٦. Jafari, S.M., Y. He, and B. Bhandari, *Optimization of nano-emulsions production by microfluidization*. European Food Research and Technology, 2007. **225**(5): p. 733-741.
٨٧. Baik, M.Y., et al., *Effects of antioxidants and humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2004. **81**(4): p. 355-360.
٨٨. Shaygannia, S., et al., *The Effect of Microencapsulation of Phenolic Compounds from Lemon Waste by Persian and Basil Seed Gums on the Chemical and Microbiological Properties of Mayonnaise*. Preventive Nutrition and Food Science, 2021. **26**(1): p. 82.
٨٩. Shaygannia, S., et al., *Phenolic compounds and antioxidant activities of lemon wastes affected by microencapsulation using coatings of Arabic, Persian, and basil seed gums*. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021. **15**(2): p. 1452-1462.

۹۰. Ghasempour, Z., et al., *Development of probiotic yogurt containing red beet extract and basil seed gum; techno-functional, microbial and sensorial characterization*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2020. **29**: p. 101785.
۹۱. Zeynali, M., S. Naji-Tabasi, and R. Farahmandfar, *Investigation of basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum properties as Cryoprotectant for Frozen Foods*. Food Hydrocolloids, 2019. **90**(5) :p. 305-312.
۹۲. Delfanian, M., et al., *Influence of main emulsion components on the physicochemical and functional properties of W/O/W nano-emulsion: Effect of polyphenols, Hi-Cap, basil seed gum, soy and whey protein isolates*. Food Research International, 2018. **108**: p. 136-143.
۹۳. Karimi, N. and R.E. Kenari, *Functionality of coatings with salep and basil seed gum for deep fried potato strips*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2016. **93**(2): p. 243-250.
۹۴. Carrasco-Sandoval, J., et al ,*.Bioaccessibility of different types of phenolic compounds co-encapsulated in alginate/chitosan-coated zein nanoparticles*. LWT, 2021. **149**: p. 112024.
۹۵. de Souza Tavares, W., et al., *Design and characterization of ellagic acid-loaded zein nanoparticles and their effect on the antioxidant and antibacterial activities*. Journal of Molecular Liquids, 2021. **341**: p. 116915.
۹۶. Veneranda, M., et al., *Formation and characterization of zein-caseinate-pectin complex nanoparticles for encapsulation of eugenol*. LWT, 2018. **89**: p. 596-603.
۹۷. Do Carmo, C.S., et al., *Microencapsulation of α -tocopherol with zein and β -cyclodextrin using spray drying for colour stability and shelf-life improvement of fruit beverages*. RSC advances, 2017. **7**(51): p. 32065-32075.
۹۸. Chen ,H. and Q. Zhong, *Processes improving the dispersibility of spray-dried zein nanoparticles using sodium caseinate*. Food Hydrocolloids, 2014. **35**: p. 358-366.
۹۹. Luo, Y., Z. Teng, and Q. Wang, *Development of zein nanoparticles coated with carboxymethyl chitosan for encapsulation and controlled release of vitamin D3*. Journal of agricultural and food chemistry, 2012. **60**(3): p. 836-843.

۱۰۰. Karazhiyan, H., S.M. Razavi, and G.O. Phillips, *Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (Lepidium sativum) using response surface methodology*. Food Hydrocolloids, 2011. **25**(5): p. 915-920.
۱۰۱. Anderson, T.J. and B.P. Lamsal, *Development of new method for extraction of α -Zein from corn gluten meal using different solvents*. Cereal chemistry, 2011. **88**(4) :p. 356-362.
۱۰۲. Giusti, M.M. and R.E. Wrolstad, *Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy*. Current protocols in food analytical chemistry, 2001(1): p. F1. 2.1-F1. 2.13.
۱۰۳. Ma, Y., et al., *Novel nanocrystal-based solid dispersion with high drug loading, enhanced dissolution, and bioavailability of andrographolide*. International journal of nanomedicine, 2018. **13**: p. 3763.
۱۰۴. Xie, J., et al., *Redispersible Pickering emulsion powder stabilized by nanocrystalline cellulose combining with cellulosic derivatives*. Carbohydrate polymers, 2019. **213**: p. 128-137.
۱۰۵. Paravina, R.D., et al., *Optimization of tooth color and shade guide design*. Journal of prosthodontics, 2007. **16**(4): p. 269-276.
۱۰۶. Westland, S., *Review of the CIE system of colorimetry and its use in dentistry*. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 2003. **15**: p. S5-S12.
۱۰۷. Hoshyar, R., Z. Mahboob, and A. Zarban, *The antioxidant and chemical properties of Berberis vulgaris and its cytotoxic effect on human breast carcinoma cells*. Cytotechnology, 2016. **68**(4): p. 1207-1213.
۱۰۸. Özgen, M., O. Saraçoğlu, and E.N. Gecer, *Antioxidant capacity and chemical properties of selected barberry (Berberis vulgaris L.) fruits*. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2012. **53**(6): p. 447-451.
۱۰۹. Guerra-Rosas, M.I., et al., *Long-term stability of food-grade nanoemulsions from high methoxyl pectin containing essential oils*. Food Hydrocolloids, 2016. **52**: p. 438-446.
۱۱۰. Sayari, et al., *The effect of essential oil of black seed (Bunium persicum) encapsulated with basil seed gum (Ocimum basilicum L.) on chemical, microbial and sensory changes of rainbow salmon fillet stored in*

- refrigerator. *Journal of Food Science and Technology*, 2021. **18** (118): p. 129-140.
۱۱۱. Najafi, N., Massoud, and Fazeli, *Investigation of the effect of watercress gum on physical stability and characterization of oil emulsion flow behavior in water prepared by high speed homogenizer*. *Food Science and Technology*, 2016. **14**(64): p. 126-116.
 ۱۱۲. Katzbauer, B., *Properties and applications of xanthan gum*. *Polymer degradation and Stability*, 1998. **59**(1-3): p. 81-84.
 ۱۱۳. Dai, L., et al., *Characterization of Pickering emulsion gels stabilized by zein/gum arabic complex colloidal nanoparticles*. *Food Hydrocolloids*, 2018. **74**: p. 239-248.
 ۱۱۴. Ye, F., et al., *Elucidation of stabilizing oil-in-water Pickering emulsion with different modified maize starch-based nanoparticles*. *Food chemistry*, 2017. **229**: p. 152-158.
 ۱۱۵. Caparino, O., et al., *Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder*. *Journal of food engineering*, 2012. **111**(1): p. 135-148.
 ۱۱۶. Ravi, M., et al., *Preparation and characterization of biodegradable poly (ϵ -caprolactone)-based gel polymer electrolyte films*. *Ionics*, 2016. **22**(5): p. 661-670.
 ۱۱۷. Cano-Chauca ,M., et al., *Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2005. **6**(4): p. 420-428.
 ۱۱۸. Zhang, X., et al., *Preparation and solidification of redispersible nanosuspensions*. *Journal of pharmaceutical sciences*, 2014. **103**(7): p. 2166-2176.
 ۱۱۹. Zhong, Q., et al., *Sustained release of lysozyme from zein microcapsules produced by a supercritical anti-solvent process*. *Food Chemistry*, 2009. **115**(2) :p. 697-700.
 ۱۲۰. Parris, N., P.H. Cooke, and K.B. Hicks, *Encapsulation of essential oils in zein nanospherical particles*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2005. **53**(12): p. 4788-4792.

١٢١. Lintingre, E., et al., *Control of particle morphology in the spray drying of colloidal suspensions*. Soft Matter, 2016. 12(36): p. 7435-7444.
١٢٢. Souza, M.P., et al., *Quercetin-loaded lecithin/chitosan nanoparticles for functional food applications*. Food and bioprocess technology, 2014. 7(4): p. 1149-1159.

Abstract

In this study, the production of fish oil nanocapsules using basil gum seed coat with barberry extract and alpha-tocopherol by spray drying method was investigated. Initially, 4 types of fish oil picking emulsions in water with different stabilizers are as follows: 1- Basil-Zein gum, 2- Basil-Zein gum containing alpha-tocopherol, 3- Basil gum containing Barberry-Zein extract and 4- Basil gum-containing Barberry-Zein extract containing alpha-tocopherol was prepared. Basil gum and zein with a ratio of 1: 1 as wall and also the ratio of wall to core (fish oil) was 2: 1. Particle size analysis of different emulsions showed that the particle size was reduced below 100 nm by ultrasound. Also, D_{50} values were highest for emulsion stabilized with basil gum containing barberry-zein extract containing alpha-tocopherol and lowest for emulsion stabilized with basil gum containing barberry-zein extract. Viscosity results for all samples showed pseudoplastic behavior. It was also observed in the frequency test all emulsions had elastic behavior at low frequency and viscous behavior at high frequency. Light microscope images showed spherical particles of different sizes. The color analysis of the emulsions did not show a significant difference. Following the research, the prepared emulsions were dried by nano-spray dryer and turned into powder. Then, redistribution index, morphology of powders, X-ray diffraction analysis, differential scanning calorimetry and color of powders were investigated. The redistribution index for the powder related to basil gam-zein coating was the ability to recover to the primary emulsion and for the other powders it indicated the inability to recover to the primary emulsion. The results of spherical particle

morphology with dense structures showed a smooth surface without cracks and in different sizes. X-ray diffraction analysis showed the crystalline nature of all powders and also the highest peak intensity was related to basil gum-zein gum powder containing alpha-tocopherol and basil gum containing barberry-saddle extract containing alpha-tocopherol. Evaluation of oxidative stability of powders showed that the combined addition of alpha-tocopherol and barberry extract to the coating provided the most stability. Regarding the evaluation of the color of the powders, the highest redness was observed for the powder related to basil gum coating containing barberry-zein extract due to the effect of adding barberry extract, and in general, with drying of emulsions, the brightness decreased and the redness and yellowness increased.

Keywords: Fish oil, Coating, Basil gum, Zein, Nano Spray dryer, Pickling emulsion, Alpha-tocopherol



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Food industry

Coating fish oil with zein / basil gum by spray drying method

By: Zahra Tahvilian Paein Darvazeh

Supervisor:

Dr. Ahmad rajaei Najaf Abadi

Advisor:

Dr. Mohammad Hadi Movahhed Nejhad

March 2022

