

## بررسی نانو ریزپوشانی اسیدچرب امگا-۳ به وسیله ژلاتین ماهی و صمغ عربی با استفاده از روش کواسرواسیون

سیدعلی جعفرپور<sup>۱\*</sup>، رحیمه اصفهانی<sup>۱</sup>، سید مهدی جعفری<sup>۲</sup>

\*a.jafarpour@sanru.ac.ir

۱- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۴

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۵

### چکیده

هدف این پژوهش بهینه سازی نانو ریزپوشانی اسیدهای چرب امگا-۳ با استفاده از روش کوآسرواسیون مرکب با روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) بود، لذا نانو ذرات حاوی امگا-۳ توسط دیواره ژلاتین پوست ماهی قزل آلابی رنگین کمان و صمغ عربی با استفاده از روش کواسرواسیون مرکب تولید شدند. این روش قابلیت منحصر بفرد جداسازی الکترواستاتیکی فازهای مایع-مایع بر اساس تجمع ماکروویون های با بار مخالف را دارد. تأثیر سه متغیر مستقل غلظت ژلاتین ماهی (۳۳ تا ۶۶ درصد)، غلظت اسید چرب امگا-۳ (۱۰ تا ۳۰ درصد) و سرعت هموژنایزر (در سه سطح ۱۰۰۰ rpm، ۱۰۰۰ rpm و ۱۵۰۰ rpm) بر متغیرهای وابسته از قبیل اندازه ذرات، میزان روغن سطحی، روغن کپسوله شده و کارایی ریزپوشانی، بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده سرعت هموژنایزر بیشترین تأثیر را بر اندازه ذرات داشت ( $p < 0/01$ ). همچنین تیمارهایی که در آن ها اسیدهای چرب امگا-۳ بیشتری استفاده شده، در مقایسه با تیمارهای با امگا-۳ کمتر، از روغن سطحی نانو ذرات بیشتری برخوردارند. پودرهای تولیدشده کارایی ریزپوشانی در حدود ۶۹/۷۴ الی ۹۸/۴۱ درصد دارند. بنابراین پیشنهاد می گردد به منظور نانوریزپوشانی اسیدچرب امگا-۳ از مقادیر ۳۳٪ ژلاتین ماهی، ۳۰٪ اسید چرب امگا-۳ و سرعت هموژنایزر با ۲۰۰۰ rpm استفاده گردد.

**کلمات کلیدی:** اسید چرب امگا-۳، ریزپوشانی، ژلاتین ماهی، کواسرواسیون، نانوکپسول

\*نویسنده مسئول

## مقدمه

اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ زمانی که به‌طور منظم و در غلظت مناسب مصرف شوند، اثرات مثبتی بر ارتقا سلامت انسان خواهند داشت (McClements, 2010). اسیدهای چرب امگا-۳ از قبیل آلفا-لینولئیک اسید (ALA)<sup>۱</sup>، ایکوزاپناتوئیک اسید (EPA)<sup>۲</sup> و دکوزاهگزانوئیک اسید (DHA)<sup>۳</sup> جزء اسیدهای چرب ضروری هستند و باید از طریق رژیم غذایی به دست آیند با این وجود، سطح مصرف این اسیدهای چرب توسط انسان، بسیار پایین بوده که اثرات نامطلوبی بر سلامتی جامعه انسانی گذاشته است. بنابراین افزایش مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ توصیه می‌شود (Kolanowski et al., 2004). علیرغم تأثیر مثبت مصرف اسیدهای چرب امگا-۳ بر سلامت انسان، متوسط جذب این اسیدهای چرب از طریق رژیم غذایی در اغلب مصرف‌کنندگان به حد کافی نیست. منابع اصلی خوراکی اسیدهای چرب امگا-۳ روغن ماهی و سایر روغن‌های دریایی می‌باشند. شایان ذکر است که جلبک دریایی *Cryptecondium conchii* تنها از نظر DHA غنی می‌باشد در حالیکه ماهیان منبع غنی از EPA و DHA می‌باشند (Trautwein, 2001). همانند سایر روغن‌ها، ترکیب روغن ماهی در محصولات غذایی با دو چالش عمده مواجه است: اول اینکه، روغن ماهی یک ترکیب غیرقطبی است که در آب غیر قابل حل بوده، اما تهیه آن به‌صورت امولسیون می‌تواند یک مکانیسم فیزیکی برای متفرق کردن قطرات روغن در سامانه‌های آبی فراهم کند. امولسیون را می‌توان به‌طور مستقیم در نوشیدنی‌ها استفاده کرد و یا به‌صورت پودر برای مخلوط کردن در غذاها بکار برد. چالش دوم ناشی از بی‌ثباتی ساختار مولکولی اسیدهای چرب غیر اشباع (PUFAs)<sup>۴</sup> است که به اکسیداسیون حساس می‌باشند (Zhong et al., 2009). علاوه بر اکسیداسیون، طعم و بوی نامطبوع روغن ماهی نیز سبب کاهش و از بین رفتن

کیفیت محصولات خوراکی می‌گردد (Cho et al., 2003). روش‌های معمول برای حفاظت از روغن ماهی و به حداقل رساندن اکسیداسیون، اضافه کردن آنتی‌اکسیدان و یا ریزپوشانی<sup>۵</sup> آن است (Baik et al., 2004; Driezak, 1988; Gan et al., 2008). ریزپوشانی به معنی به دام انداختن ترکیبات فعال در کپسول‌های با اندازه نانومتر است که روشی عملی و مؤثر، برای افزایش پایداری فیزیکی مواد فعال و حفاظت از آنها در برابر واکنش با سایر اجزاء مواد غذایی است که بدلیل اندازه بسیار ریز شان، باعث افزایش فعالیت زیستی آنها می‌شوند (Donsi et al., 2011).

بر اساس مطالعه صورت گرفته، Duan و همکاران (۲۰۱۱) از فیلم‌های کامپوزیتی کیتوزان (۱/۵٪ وزنی/حجمی)- پروتئین ایزوله آب‌پنیر (WPI<sup>۶</sup>، ۵٪ وزنی/حجمی) برای ریزپوشانی و ثبات روغن ماهی حاوی EPA ۹۳/۷٪ استفاده کردند. Liu و همکاران (۲۰۱۰) بهینه‌سازی ریزپوشانی روغن دانه کتان<sup>۷</sup> را در ماتریسی از ژلاتین- صمغ عربی از طریق کواکسیراسیون مرکب مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه Choi و همکاران (۲۰۱۰) بتا-سیکلودکسترین<sup>۸</sup> (یک پلیمر محلول در آب) و پلی‌کاپرولاکتون<sup>۹</sup> (یک پلیمر نامحلول در آب) به‌عنوان مواد دیواره به‌منظور ریزپوشانی روغن ماهی مورد استفاده قرار گرفت. Habib و همکاران در سال (۲۰۱۲)، نانو کپسول‌هایی از آلفا لینولئیک اسید توسط روش امولسیون-دیفوژن اصلاح‌شده با بازده ریزپوشانی ۹۳٪ تهیه کردند. هم چنین ریزپوشانی اسید چرب امگا-۳ روغن ماهی کپور نقره‌ای به روش کواکسیراسیون ترکیبی با ژلاتین و صمغ عربی، انجام گرفت (علوی طلب، ۱۳۹۱) و در این پژوهش اثر سرعت های متفاوت هم زن، اثر قدرت یونی با استفاده از غلظت‌های متفاوت نمک و اثر دستگاه هم‌وزنایزر در سرعت‌های بالا (۷۵۰۰۰ rpm-)

<sup>5</sup> Encapsulation<sup>6</sup> Whey Protein Isolate<sup>7</sup> Flaxseed Oil<sup>8</sup>  $\beta$ -Cyclodextrin<sup>9</sup> Polycaprolactone<sup>1</sup>  $\alpha$  Linolenic Acid<sup>2</sup> Eicosapentaenoic Acid<sup>3</sup> Docosahexaenoic Acid<sup>4</sup> Polyunsaturated Fatty Acids

چرب امگا-۳ با استفاده از روش کواسرواسیون مرکب و استفاده از ژلاتین ماهی و صمغ عربی به عنوان ماده دیواره نانوکپسول صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق بهینه سازی روش تولید نانو کپسول‌های امگا-۳ با استفاده از روش کواسرواسیون مرکب مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روشها

### مواد مصرفی

امگا-۳ غنی شده (حاوی ۵۰٪ اسیدهای چرب ایکوزاپنتانوئیک اسید و دکوزاهگزانوئیک اسید) از شرکت سیناسون (ساری)، اتانول ۹۹/۷٪ از شرکت هامون طب مرکزی، صمغ عربی از شرکت دای جونگ (کره جنوبی) و پودر ژلاتین پوست ماهیان سردآبی از شرکت زیگما (امریکا) تهیه شدند. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده با درجه آزمایشگاهی از فروشگاه های مواد شیمیایی و آزمایشگاهی معتبر تهیه شدند.

### تهیه امولسیون‌ها

محلول هایی از مواد دیواره شامل ژلاتین ماهی (۱۹/۸، ۱۴/۸۵، ۹/۹ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) و صمغ عربی (۲۰/۱، ۱۵/۱۵، ۱۰/۲ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) در آب مقطر تهیه شدند. به منظور آبیگری کامل مواد و حل شدن کامل آن‌ها، به مدت ۲۴ ساعت در بن ماری در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. نسبت مواد دیواره (ژلاتین ماهی به صمغ عربی) در سه سطح ۲:۱، ۱:۱ و ۱:۲ درصد کل مواد جامد محلول ۳۰٪ وزنی/حجمی انتخاب شد. به منظور تهیه امولسیون، در ابتدا برای هر تیمار، طبق میزان بیان شده در جدول ۱، روغن اسید چرب امگا-۳ به ۱۰ mL اتانول اضافه شده و با هموژنایزر التراتوراکس (Ultra-Turrax, Wise-15D, South Korea) با سرعت ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه یکنواخت شدند. در مرحله بعد محلول‌های حاوی مواد دیواره به مخلوط اسید چرب امگا-۳ و اتانول اضافه شده و هر تیمار با سرعت مشخصی از هموژنایزر (طبق جدول ۱) به مدت ۱۰ دقیقه هموزن شدند. تمامی مواد در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و ۵-۶ pH باهم مخلوط گردیدند.

(۱۵۰۰۰) بر روی شکل ظاهری و میانگین اندازه میکرو کپسول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیق عزیز انباری و همکاران (۱۳۹۲)، کمپلکس‌های ژلان-کازئینات حاوی امگا-۳، با افزودن محلول‌های ژلان به کازئینات حاوی امگا-۳ و تنظیم pH به زیر نقطه ایزوالکتریک کازئینات تولید شد. بحرانی و همکاران (۱۳۹۲) تولید نانو کمپلکس‌های بیوپلیمری پکتین-کازئین به عنوان یک نانو حامل بالقوه برای ریزپوشانی امگا-۳ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج اندازه ذرات و پتانسیل زتا تشکیل دیسپرسیون پایدار با حداقل اندازه ۸۶ نانومتر را در pH=۴/۱، کازئین ۱٪ و پکتین ۰/۴۵٪ نشان دادند. نتایج کروماتوگرافی گازی، ریزپوشانی امگا-۳ در کمپلکس کازئین-پکتین و راندمان ریزپوشانی ۹۱٪ را برای این سیستم نشان داد. کارآیی ریزپوشانی تعیین کننده مقدار روغنی است که با موفقیت ریزپوشانی شده و نشان‌دهنده حضور روغن سطحی در سطح ذرات پودر و میزان روغن داخلی که ماتریس دیواره می‌تواند از استخراج آن توسط یک فرایند شستشو با حلال جلوگیری کند، می‌باشد (Klinkesorn et al., 2006). در مطالعات مختلف مقدار کارآیی ریزپوشانی را از ۰٪ تا ۹۵٪ بسته به نوع و ترکیب مواد دیواره، نسبت مواد هسته به مواد دیواره، فرایند خشک کردن مورد استفاده و ثبات و خواص فیزیکی امولسیون‌ها گزارش کرده‌اند (Baik et al., 2004; Hardas et al., 2000; Heinzelmann & Franke, 1999; Huang et al., 2010).

کشور ما از نظر دارا بودن ذخایر شیلاتی، غنی بوده و دارای پتانسیل بالای تولید محصولات جانبی (مانند روغن ماهی، ژلاتین ماهی و...) از ضایعات بهره‌برداری نشده آبیان می‌باشد. در نتیجه می‌توان از این ضایعات در قالب فرآورده‌های بیولوژیک و دارای ارزش افزوده و به عنوان منبعی برای تولید نانو کپسول‌های روغن ماهی و اسید چرب ماهی استفاده نمود که این امر سبب افزایش ارزش افزوده ماده غذایی با استفاده از این نانو کپسول‌ها می‌گردد. بر اساس مجموع مطالعات صورت گرفته، تاکنون مطالعه‌ای در ایران در زمینه تولید نانو کپسول‌های اسید

جدول ۱- سطوح متغیرهای آزمایشی جهت نانوریزپوشانی اسید چرب امگا-۳ به روش کوآسرواسیون مرکب

نوع متغیر	نماد	سطوح کدبندی شده		
		+۱	۰	-۱
ژلاتین ماهی (%)	A	۶۶	۴۹/۵	۳۳
اسید چرب امگا-۳ (%)	B	۳۰	۲۰	۱۰
سرعت دستگاه هموژنایزر (rpm)	C	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۰۰۰۰

رویی از کاغذ صافی عبور داده شده و سپس کاغذ صافی دو بار با هگزان شسته شد. محلول فیلتر شده حاوی روغن سطحی به منظور تبخیر کامل حلال، در آون در دمای  $105^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲ ساعت قرار داده شد و میزان روغن سطحی پودرها محاسبه گردید (Hardas *et al.*, 2000).

#### اندازه‌گیری روغن کپسوله‌شده (Encapsulated Oil)

به منظور اندازه‌گیری روغن کپسوله‌شده، پودر عاری از چربی سطحی با ۲ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و به مدت ۱ دقیقه ورتکس شد. محلول حاصل با ۲۵ میلی‌لیتر از هگزان/ ایزوپروپانول (۱:۳) استخراج شده و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در  $4000\text{ rpm}$  سانتریفیوژ گردید. فاز آلی شفاف جمع‌آوری شده و فاز آبی مجدداً با مخلوط حلال استخراج شد. درنهایت این محلول حاوی روغن کپسوله‌شده در آون با دمای  $105^{\circ}\text{C}$  تبخیر شده و روغن باقی‌مانده پس از وزن‌کشی محاسبه گردید (Hardas *et al.*, 2000).

#### اندازه‌گیری روغن کل (Total Oil)

در این روش، ۲ میلی‌لیتر آب مقطر به ۰/۵ گرم پودر نانوکپسول‌های اسید چرب امگا-۳ اضافه شده و به مدت ۱ دقیقه ورتکس شد سپس روغن کل با استفاده از روش ذکر شده برای روغن کپسوله‌شده استخراج شد (Klinkesorn *et al.*, 2006).

محلول بدست‌آمده در محدوده درجه حرارت حدود  $25^{\circ}\text{C}$ -۲۲ (در دمای اتاق) نگهداری شد. ۱٪ نمک کلرید کلسیم ( $\text{CaCl}_2$ ) به‌عنوان چسباننده به‌تمامی امولسیون‌ها اضافه شد (Gheith, *et al.*, 2014). سپس آزمایش‌های بررسی اندازه ذرات امولسیون انجام‌شده و پس‌از آن امولسیون‌ها جهت خشک شدن به خشک‌کن انجمادی (Freeze Dryer, Operon, FDU-8624, South Korea) منتقل گردیدند.

#### اندازه ذرات امولسیون

اندازه ذرات امولسیون با استفاده از دستگاه تفرق نور پویا (Malvern Particle Size Analyzer, United Kingdom) ( $\text{DLS}^{10}$ ) تعیین گردید. مقدار کمی از امولسیون در کووت (cuvette) ریخته شده و با آب مقطر رقیق شد. کووت در دستگاه قرار داده شد و سایز ذرات با کمک نرم افزار BIC Particle Sizing Software اندازه‌گیری گردید.

#### اندازه‌گیری روغن سطحی نانوکپسول‌ها (Surface Oil)

به منظور انجام این آزمایش ۱۵ mL هگزان به ۲/۵ گرم پودر اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه ورتکس گردید. سپس به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت  $4000\text{ rpm}$  سانتریفیوژ (Universal Centrifuge, BH:1200, Iran) شد. مایع

<sup>10</sup> Dynamic Light Scattering

Y عبارت است از متغیر وابسته،  $\beta_0$  و  $\beta_i$  و  $\beta_{ii}$  و  $\beta_{ij}$  ثابت های برآورد شده توسط مدل،  $X_i$  و  $X_j$  سطح متغیرهای مستقل بوده و آن‌ها به ترتیب نمایانگر اثرات خطی، درجه دوم و اثرات متقابل متغیرهای  $X_1$ ،  $X_2$  و  $X_3$  روی پاسخ می‌باشند.

## نتایج و بحث

### اندازه ذرات امولسیون‌ها

نتایج بررسی اندازه ذرات امولسیون برای تیمارهای مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، سرعت هموژنایزر بیشترین تأثیر را در تغییرات اندازه ذرات داشته است. در تیمارهایی که غلظت‌های ژلاتین ماهی ثابت بود با افزایش غلظت اسید چرب امگا-۳ و همزمان افزایش سرعت هموژنایزر، سایز ذرات افزایش یافت. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود، در تیمار ۱۴، ۸، ۴ علاوه بر ثابت بودن غلظت ماده دیواره، غلظت ماده هسته نیز ثابت است که در این حالت نیز با افزایش سرعت هموژنایزر، اندازه ذرات افزایش یافته است.

پژوهش حاضر نشان داد که سرعت هموژنایزر، بیشترین تأثیر را بر اندازه ذرات داشته است (جدول ۲)، چرا که طبق داده‌ها، در تیمارهایی که غلظت ماده دیواره ثابت بود، افزایش غلظت اسید چرب امگا-۳ و افزایش سرعت هموژنایزر، منجر به افزایش اندازه ذرات شد. بنا به نظر Jafari و همکاران (۲۰۰۷) بزرگتر شدن اندازه ذرات در سرعت بالای هموژنایزر به دلیل بوجود آمدن پدیده الحاق مجدد قطرات امولسیون (Re-coalescence) است. هنگامی که قطرات درون امولسیون تحت تلاطم با شدت بالا قرار می‌گیرند، در اثر برخورد بین قطرات، تمایل به الحاق مجدد بین آنها بوجود می‌آید (Jafari et al., 2007). یافته‌های ما در این پژوهش نشان داد که در تیمارهای مختلف، در سرعت ۱۰۰۰۰ rpm هموژنایزر، ذرات با ۱۱۴ و ۴۲، ۲۶ کمترین اندازه را داشتند.

### اندازه‌گیری کارایی ریزپوشانی (Encapsulation Efficiency)

راندمان ریزپوشانی از رابطه زیر محاسبه شد (Klinkesorn et al., 2006):

معادله ۱

$$EE = \frac{\text{روغن کپسوله شده (گرم/۱۰۰ گرم پودر)} \times 100}{\text{روغن کل (گرم/۱۰۰ گرم)}} =$$

### تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور بهینه‌سازی تیمارهای آزمایشی از طرح آماری سطح پاسخ ( $RSM^{11}$ ) استفاده شد. اثر متغیرهای مستقل شامل غلظت اسید چرب امگا-۳ (به درصد، A)، ژلاتین ماهی (به درصد، B) و سرعت دستگاه هموژنایزر (C, rpm) در ۳ سطح مورد ارزیابی قرار گرفت که در جدول ۱ نشان داده شده است.

به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید نانو کپسول‌ها از طرح مرکب مرکزی ( $CCRD^{12}$ ) با ۱۸ آزمایش که شامل ۸ نقطه فاکتوریل، ۶ نقطه محوری و ۴ تکرار حول نقطه مرکزی (برای تخمین خطای آزمایش) استفاده شد. از آنجایی که نقاط مرکزی ۴ مرتبه در شرایط مشابه تکرار می‌شوند، تخمین مستقل خطای آزمایش‌ها بدست می‌آید، بنابراین تکرار تمامی نقاط آزمایش‌ها غیرضروری است. خطای خالص نیز به منظور بررسی میزان انطباق برازش (Goodness of fit) استفاده شد. جهت طراحی آزمایش، آنالیز نتایج، رسم نمودارها و بهینه‌سازی از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت (نسخه ۷) (Design Expert 7.00) استفاده گردید. آزمون آماری مدل به‌دست‌آمده برای هر پاسخ بر اساس آزمون آنالیز واریانس ANOVA صورت گرفته و تفاوت بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ توسط آزمون دانکن صورت گرفت. شاخص‌های اندازه‌گیری شده بر طبق معادله ۲ مدل‌سازی شدند.

معادله ۲

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j} \beta_{ij} X_i X_j$$

<sup>11</sup> Response Surface Methodology

<sup>12</sup> Central composite rotatable design

جدول ۲- مقایسه میانگین اندازه ذرات امولسیون‌های تولیدی در تیمارهای مختلف

اندازه ذرات*(nm)	هسته × دیواره			ژلاتین	تیمار
	سرعت هموژنایزر (rpm)	اسید چرب امگا-۳	صمغ عربی		
<sup>b</sup> ۳۷ ± ۲۶/۹	۱۰۰۰۰	%۱۰	%۳۴	%۶۶	۱
<sup>a</sup> ۲۶/۵ ± ۲۹۸	۱۵۰۰۰	%۲۰	%۳۴	%۶۶	۷
<sup>a</sup> ۲۲/۴ ± ۲۷۸/۳	۲۰۰۰۰	%۳۰	%۳۴	%۶۶	۹
<sup>c</sup> ۱۶/۹ ± ۱۱۴/۵	۱۰۰۰۰	%۱۰	%۶۷	%۳۳	۶
<sup>a</sup> ۲۵۳/۴ ± ۱۵۱۹/۸	۱۵۰۰۰	%۲۰	%۶۷	%۳۳	۱۰
<sup>b</sup> ۱۶۸/۱ ± ۱۶۱۷/۴	۲۰۰۰۰	%۳۰	%۶۷	%۳۳	۱۵
<sup>c</sup> ۵/۵ ± ۴۲/۵	۱۰۰۰۰	%۲۰	%۵۰/۵	%۴۹/۵	۴
<sup>b</sup> ۳۱/۲ ± ۱۱۴/۱	۱۵۰۰۰	%۲۰	%۵۰/۵	%۴۹/۵	۸
<sup>a</sup> ۳۴/۹ ± ۴۲۰/۵	۲۰۰۰۰	%۲۰	%۵۰/۵	%۴۹/۵	۱۴

\*میانگین ± انحراف معیار

حروف بالانویس متفاوت بین میانگین‌ها در ستون‌های مختلف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در اندازه ذرات نانوکپسول در سطح (P&lt;۰/۰۱) می‌باشد.

برای کاربردهای غذایی است (Tadros *et al.*, 2004). اندازه ذرات و توزیع آن‌ها، نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی سامانه‌های کلوئیدی مانند پایداری، کسرعت و ویژگی‌های رئولوژیکی دارد (عزیزانباری و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه Sottitantawat و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده که اندازه ذرات امولسیون تأثیر بسیار قابل توجهی بر حفظ مواد طعم‌دهنده می‌گذارد. عوامل مختلفی بر اندازه ذرات کمپلکس‌های پروتئین-پلی ساکارید تأثیرگذار هستند (Duan *et al.*, 2011). در مطالعه Choi و همکاران (۲۰۱۰) بتا-سیکلودکسترین (پلیمر محلول در آب) و پلیکاپرولاکتون (پلیمر نامحلول در آب) به‌عنوان مواد دیواره به‌منظور ریزپوشانی روغن ماهی مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس مطالعه انجام شده، غلظت روغن ماهی تأثیر قابل توجهی در اندازه ذرات داشته است. میانگین اندازه ذرات در این پژوهش در ماده

بر اساس مطالعات انجام شده، گزارش شده که نوع ماده دیواره بر اندازه ذرات تأثیرگذار است (Soottitantawat *et al.*, 2005; Jafari *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2008)، اما در پژوهش حاضر غلظت مواد دیواره تأثیری در اندازه ذرات نداشتند و بیشترین تأثیر مربوط به افزایش غلظت اسید چرب امگا-۳ و افزایش سرعت هموژنایزر بود چرا که در تیمارهایی که غلظت مواد دیواره و ماده هسته یکسان بود نیز تنها با افزایش سرعت هموژنایزر از rpm ۱۰۰۰۰ به ۱۵۰۰۰ rpm و ۲۰۰۰۰ rpm، اندازه ذرات افزایش یافت. اندازه بسیار کوچک ذرات، ثبات نانو امولسیون‌ها را در برابر ته‌نشینی و کرمی شدن<sup>۱۳</sup> همراه با ظاهری شفاف یا کمی کدر فراهم کرده و مناسب

<sup>13</sup> Creaming

شکل ۱ (الف) نمودار سه بعدی اثر تغییرات غلظت ژلاتین ماهی و اسید چرب امگا-۳ بر مقدار روغن سطحی را نشان می‌دهد. مطابق نمودار با افزایش غلظت ژلاتین ماهی در غلظت‌های زیاد اسید چرب امگا-۳، مقدار روغن سطحی نانوکپسول‌ها نیز افزایش یافته است. نمودار (ب) اثر تک فاکتور سرعت هموژنایزر را بر مقدار روغن سطحی نانوکپسول‌های تولیدی نشان می‌دهد. مطابق نمودار با افزایش سرعت هموژنایزر، روغن سطحی نانوکپسول‌ها کاهش یافته است.

### روغن کپسوله شده

در جدول ۳ داده‌های بدست آمده حاصل از اندازه گیری روغن کپسوله شده آورده شده است. طبق نتایج حاصل از آنالیز واریانس این داده‌ها و با توجه به مقدار P-value، متغیرهای اسید چرب امگا-۳ (B) و سرعت هموژنایزر (C) در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشند. بر اساس نتایج بدست آمده، روغن کپسوله‌شده، با توجه به مقدار F-value، تغییرات غلظت امگا-۳ و سرعت هموژنایزر بیشترین تأثیر را در مقدار روغن کپسوله‌شده داشتند (شکل ۲). مطابق نمودار با افزایش مقدار اسید چرب امگا-۳ و سرعت هموژنایزر، مقدار روغن بیشتری کپسوله شده است.

پس از آنالیز واریانس داده‌های مربوط به روغن کپسوله‌شده، رابطه‌ی ریاضی زیر بر اساس مقادیر کد شده بدست آمده است:

معادله ۴

$$C1/5Y + B2/78 + 7/13 Y =$$

### کارایی ریزپوشانی

مقادیر کارایی ریزپوشانی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که کارایی ریزپوشانی مدل در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار است. با توجه به جدول آنالیز واریانس، سرعت هموژنایزر بیشترین تأثیر را در کارایی ریزپوشانی دارد.

دیواره بتاسیکلودکسترین حاوی روغن ماهی، ۷۰۰-۲۵۰ نانومتر بوده است. روغن ماهی کپسوله‌شده با پلیکاپرولاکتین دارای کوچکترین اندازه (۲۰۰ نانومتر) بودند و با افزایش غلظت روغن ماهی اندازه ذرات افزایش یافته است. نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر همسو با این نتایج می‌باشند.

عزیزانباری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود به بررسی تولید کمپلکس‌های ژلان-کازئینات حاوی امگا-۳ پرداختند. آنها اظهار داشتند که کوچکترین اندازه ذرات ۳۸۵ نانومتر بوده و قطر بیش از ۵۰٪ ذرات، زیر ۳۷۲ نانومتر و بیش از ۹۰٪ ذرات زیر ۱۱۷۰ نانومتر بوده است. در پژوهش مذکور با افزایش غلظت مواد دیواره، اندازه ذرات نیز افزایش یافته است. بحرانی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که کمپلکس حاوی کازئینات سدیم ۱٪، پکتین ۰/۴۵٪ در pH=۴/۱، با کپسوله سازی اسید چرب امگا-۳، اندازه ذرات تا ۱۱۸ نانومتر افزایش یافت. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که غلظت مواد دیواره نقش مهمی در اندازه ذرات کمپلکس دارند. Sedef Nehir و Ilyasoglu (۲۰۱۴) ریزپوشانی روغن ماهی با غشای سطحی چندلایه با استفاده از جاذبه الکترواستاتیک بین سدیم کازئینات و صمغ عربی و استفاده از آن در غنی‌سازی آب‌میوه را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس گزارش آنها این کمپلکس برای نانو ریزپوشانی روغن ماهی استفاده شد که اندازه موثر و بهینه ذرات ۲۳۲/۳ نانومتر به‌دست‌آمده بود.

### اندازه‌گیری روغن سطحی

نتایج مربوط به اندازه‌گیری روغن سطحی نانوکپسول‌ها در **جدول ۳** آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که تغییرات غلظت اسید چرب امگا-۳، بیشترین تأثیر را بر مقدار روغن سطحی گذاشته است.

پس از بررسی خصوصیات آماری مدل انتخاب شده، مدل ریاضی زیر برای روغن سطحی با مقادیر کد شده به صورت زیر بدست آمد:

معادله ۳

$$C0/83 - B1/76 + A3/34 + 1/58 Y =$$

جدول ۳- مقایسه اندازه‌گیری روغن سطحی و روغن کپسوله شده نانو کپسول‌های تولیدی به روش کوآسرواسیون مرکب

تیمار	ژلاتین ماهی (%)	اسید چرب امگا-۳ (%)	سرعت هموژنایزر (rpm)	روغن سطحی (%)	روغن کپسوله شده (%)	کارایی ریزپوشانی (%)
۱	۶۶	۱۰	۱۰۰۰۰	۳/۹۵	۳/۸	۸۲/۷۸
۲	۶۶	۱۰	۲۰۰۰۰	۱/۰۳	۵/۴۹	۹۶/۸۳
۳	۳۳	۳۰	۱۰۰۰۰	۲/۸۳	۸/۷۸	۹۳/۹۴
۴	۴۹/۵	۲۰	۱۵۰۰۰	۳/۵۱	۴/۹۴	۸۷/۵۵
۵	۴۹/۵	۱۰	۱۵۰۰۰	۰/۲۹	۳/۶۱	۹۸/۴۱
۶	۳۳	۱۰	۱۰۰۰۰	۰/۷۱	۳/۳۳	۶۹/۷۴
۷	۶۶	۲۰	۱۵۰۰۰	۴/۶۶	۸/۲۳	۸۹/۸۴
۸	۴۹/۵	۲۰	۲۰۰۰۰	۴/۴۲	۹/۰۲	۹۱/۱۱
۹	۶۶	۳۰	۲۰۰۰۰	۴/۹۵	۱۴/۱۳	۹۳/۴۵
۱۰	۳۳	۲۰	۱۵۰۰۰	۱/۹۹	۵/۳۵	۹۳/۱۲
۱۱	۴۹/۵	۲۰	۱۵۰۰۰	۲/۷۲	۸/۲۶	۹۳/۸۶
۱۲	۶۶	۳۰	۱۰۰۰۰	۸/۲۲	۷/۸۲	۸۲/۶۶
۱۳	۴۹/۵	۲۰	۱۵۰۰۰	۳/۵۶	۸/۴۸	۹۲/۲۷
۱۴	۴۹/۵	۲۰	۱۰۰۰۰	۴/۴۸	۶/۰۹	۸۷/۱۸
۱۵	۳۳	۳۰	۲۰۰۰۰	۰/۹۳	۱۱/۲۶	۹۸/۳۸
۱۶	۴۹/۵	۲۰	۱۵۰۰۰	۴/۱۹	۶/۴۹	۸۸/۶
۱۷	۳۳	۱۰	۲۰۰۰۰	۰/۵۲	۵/۶۳	۹۸/۲۵
۱۸	۴۹/۵	۳۰	۱۵۰۰۰	۷/۱۳	۷/۶۳	۸۴/۲۶

استفاده از سدیم کازئینات و لاکتوز توسط خشک‌کن‌های انجمادی با سرعت انجماد متفاوت، منجر به ۲۷٪ تا ۳۳٪ روغن کل، ۶٪ تا ۱۹٪ روغن سطحی و ۲۹٪ تا ۷۹٪ کارایی ریزپوشانی گردید. Jimenez و همکاران (۲۰۰۴) با کپسوله‌سازی اسید لینولئیک با استفاده از روش خشک‌کردن پاششی با پروتئین آب‌پنیر، حدود ۸۹/۶٪ بازدهی کپسوله‌سازی و ۱/۷۷ گرم در هر ۱۰۰ گرم پودر روغن سطحی را مشاهده نمودند. در مطالعه Klinkesorn و همکاران (۲۰۰۶)، میزان کارایی ریزپوشانی ۸۷٪-۸۵٪ در اثر دماهای مختلف هوای ورودی گزارش شده است.

طبق شکل ۲ با افزایش سرعت هموژنایزر کارایی ریزپوشانی افزایش یافته است. درصد کارایی ریزپوشانی اسیدهای چرب امگا-۳، براساس مقادیر کد شده با معادلات زیر مطابقت می‌کند:

معادله ۵

$$Y = 90.10 + C6/13$$

کارایی ریزپوشانی در مطالعه حاضر، از ۶۹٪ تا ۹۸٪ در تیمارهای مختلف متفاوت بوده است و طبق آنالیزهای آماری صورت گرفته مشاهده می‌شود که سرعت هموژنایزر بیشترین تأثیر را در میزان کارایی ریزپوشانی داشته است. Heinzelmann و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که ریزپوشانی روغن ماهی با



Surface Oil



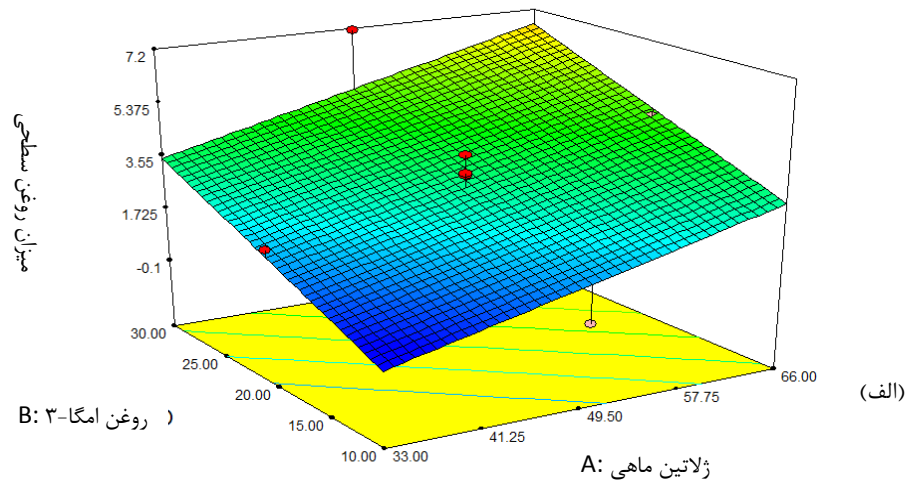
X1=A: ژلاتین

X2=B:۳-امگا

فاکتور اصلی

C: دور هموژنایزر ۱۵۰۰۰

rpm



Design-Expert® Software

Surface Oil

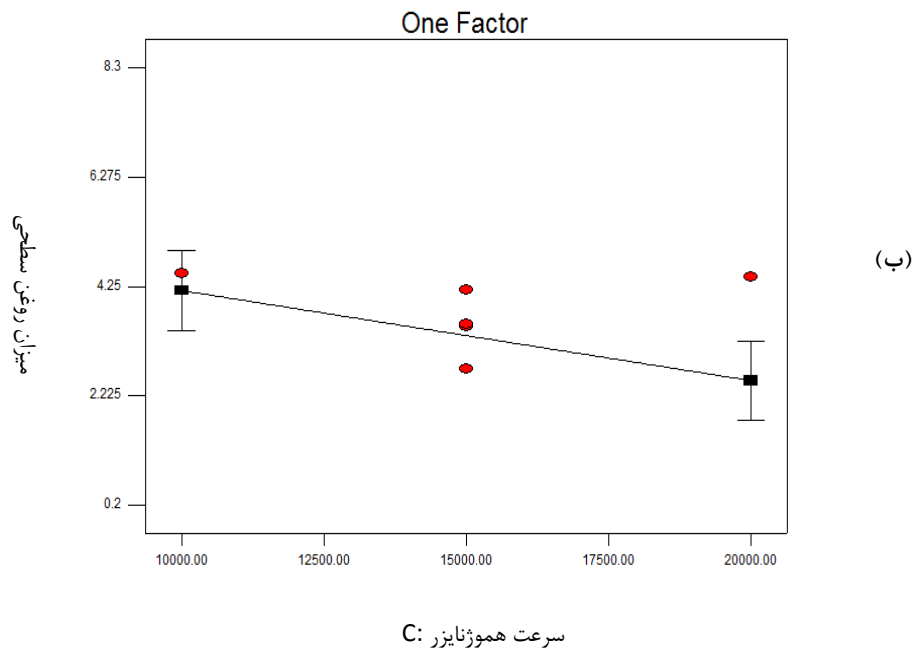
◆ Design Points

X1= دور هموژنایزر

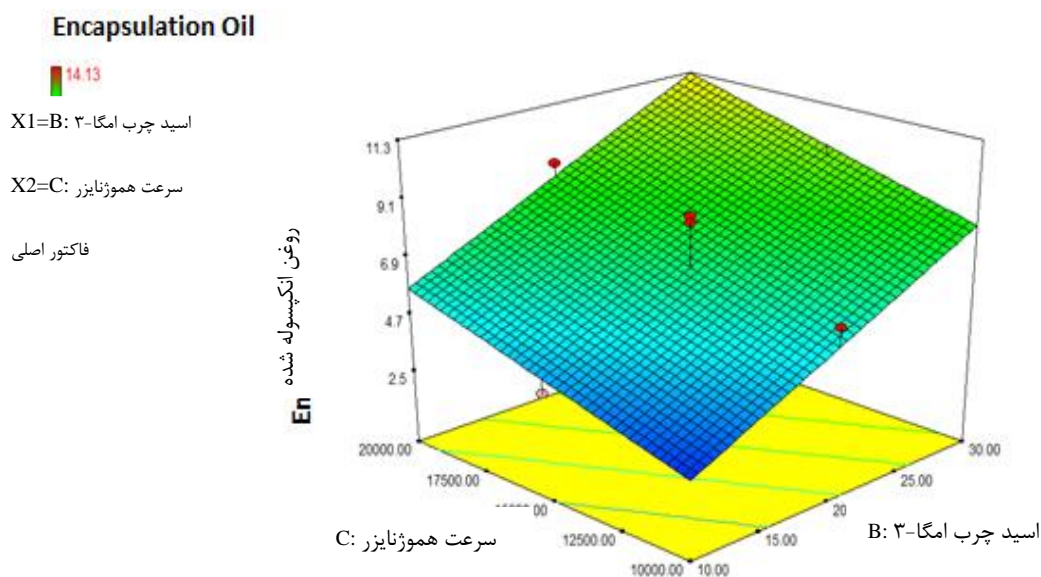
فاکتورهای اصلی

A: ۴۹/۵ = ژلاتین

B: ۲۰ = ۳-امگا



شکل ۱- نمودار سه بعدی و تک فاکتور اثر متغیرهایی همچون غلظت ژلاتین ماهی (مواد دیواره)، غلظت اسید چرب امگا ۳- (ماده هسته) و سرعت هموژنایزر بر مقدار روغن سطحی نانوکپسول‌های تولیدی



شکل ۴: نمودار سه بعدی اثر سرعت هموژنایزر و امگا-۳ بر مقدار روغن کپسوله شده نانوکپسول‌های تولیدی با روش کوآسرواسیون مرکب

جدول ۴: مقادیر بهینه پیش بینی شده و واقعی برای متغیرهای مستقل و پاسخ‌ها به منظور دستیابی به

بهترین فرمولاسیون برای تولید نانوکپسول‌ها			
کارایی ریزپوشانی	روغن کپسوله شده	روغن سطحی	
۹۷/۷	۱۰/۹	۲/۶	مقادیر پیش‌بینی شده
۹۸/۳۸	۱۱/۲۶	۰/۹۳	مقادیر واقعی

و نگهداری مواد هسته به اثبات رسانند. این پژوهشگران نگهداری مواد هسته را به غلظت بالای مواد جامد نسبت دادند. میزان روغن سطحی در امولسیون‌های پودر شده معمولاً به قسمتی از روغن گفته می‌شود که قابل استخراج با حلال‌های آلی است و نشان‌دهنده چربی موجود در سطح پودرها می‌باشد. حضور روغن در سطح ذرات پودر، نامطلوب‌ترین ویژگی پودرهای ریزپوشانی شده است (Jafari et al., 2008a). (b, c).

### روغن سطحی

در تحقیق حاضر، با افزایش سرعت چرخش هموژنایزر میزان روغن سطحی نمونه‌ها کاهش یافته است و این به دلیل بزرگتر بودن سایز ذرات در دوره‌های بالای هموژنایزر است (Jafari et al., 2007). گزارش شده است که اندازه ذرات بزرگتر منجر به بهبود نگهداری مواد هسته نانوکپسول‌ها و نیز پایین‌تر بودن مقدار روغن سطحی در طول فرآیند خشک‌کردن می‌شود (Jafari et al., 2007) اما از سوی دیگر Finney و همکاران، (۲۰۰۲) نتوانستند اثر اندازه ذرات را بر حفظ

می‌تواند به عنوان تیمار بهینه در نظر گرفته شود. در نتیجه استفاده از ۳۳٪ ژلاتین ماهی، ۳۰٪ اسید چرب امگا-۳ و سرعت ۲۰۰۰۰ rpm هموژنایزر می‌تواند مطلوب‌ترین مقادیر برای دستیابی به نانوکپسول‌های اسید چرب امگا-۳ با کمترین میزان روغن سطحی و همچنین بیشترین میزان روغن کپسوله شده و کارایی ریزپوشانی باشد. نانوکپسول‌های اسید چرب امگا-۳ را می‌توان جهت غنی سازی مواد غذایی و به منظور ارتقای سلامتی انسان استفاده کرد.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر با کد ۶۳۸۲۹ جزء طرح های مورد حمایت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری بوده که نویسندگان بر خود لازم می دانند که از حمایت های مالی و معنوی این ستاد کمال سپاسگزاری و قدردانی را بجا بیاورند.

### منابع

- بحرانی، س.، محمد حسنی، ز.، قنبر زاده، ب. و همیشه کار، ح.، ۱۳۹۲. بررسی اثر pH بر اندازه ذرات، پایداری و کارایی کپسولاسیون نانو کمپلکس بیوپلیمری کازئین-پکتین حاوی امگا-۳. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، شیراز، دانشگاه شیراز، ۵-۱.
- عزیزانباری، چ.، قنبرزاده، ب.، همیشه کار، ح. و حسینی، م.ی.، ۱۳۹۲. نانو کمپلکس‌های ژلان-کازئینات به‌عنوان حامل اسیدهای چرب امگا-۳: بررسی اندازه ذرات، رئولوژی و کارایی انکپسولاسیون. نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی، (۲) ۵: ۴۲-۱۹.
- علوی طلب، ه.، ۱۳۹۱. تولید میکرو کپسول‌های امگا-۳ با روش کواسرواسیون. مجله علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی، ۲۲ (۳): ۲۰۵-۲۱۰.
- Baik, M.Y., Suhendro, E.L., Nawar, W.W., McClements, D.J., Decker, E.A. and Chinachoti, P., 2004. Effects of

روغن سطحی معمولاً مستعد اکسیداسیون است و سبب بروز بوی نامطبوع گشته و بر قابلیت پذیرش محصول اثرگذار است (Drusch & Berg, 2008). در پژوهش حاضر، طبق نتایج بدست آمده پس از بررسی مقدار روغن سطحی پودرها، مشاهده شد که میزان روغن سطحی با افزایش مقدار ماده هسته، افزایش یافته است. طبق نظر Drusch و Berg (۲۰۰۷) مقدار ماده هسته بر مقدار روغن سطحی تاثیر خواهد گذاشت. آن‌ها نیز در پژوهش خود مشاهده نمودند که تیمارهایی که دارای ۲۰٪ روغن به عنوان ماده هسته هستند در مقایسه با تیمارهایی که دارای ۵۰٪ روغن می‌باشند، مقدار روغن سطحی کمتری داشتند.

### انتخاب تیمار بهینه

در جدول ۴ پارامترهای بهینه برای متغیرهای مستقل و پاسخ های وابسته نشان داده شده است. نرم افزار بهترین مقدار استفاده از ژلاتین ماهی را ۳۳٪، امگا-۳ معادل ۳۰٪ و دور هموژنایزر را ۲۰۰۰۰ rpm در نظر گرفته است. مقادیر مذکور در جدول ۴، نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده برای پاسخ‌ها نزدیک به نتایج پیش بینی شده توسط نرم افزار بوده است.

### نتیجه گیری کلی

هدف از این پژوهش استفاده از ژلاتین ماهی به همراه صمغ عربی به منظور نانو ریزپوشانی اسیدهای چرب امگا-۳ با استفاده از روش کواسرواسیون بوده است. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد استفاده از سرعت پایین هموژنایزر، ذرات با اندازه کوچکتری در محدوده نانو تولید خواهد کرد. همچنین روش مورد استفاده، بطور موثری باعث ایجاد اندازه مطلوب نانوذرات شده است و استفاده از روش کواسرواسیون همراه با استفاده از ژلاتین ماهی و صمغ عربی به عنوان ماده دیواره کپسوله‌کننده، می‌تواند ذرات با اندازه نانو را تولید کند. تجزیه و تحلیل آماری نتایج نشان داد تیمار ۱۵

- Antioxidants and Humidity on the Oxidative Stability of Microencapsulated Fish Oil. *JAACS*. 81.
- Cho, Y.H., Shim, H.K. and Park, J., 2003.** Encapsulation of fish oil by an enzymatic gelation process using transglutaminase cross-linked proteins. *Journal of food science*. 68, 23-2717.
- Choi, M.J., Ruktanonchai, U., Min, S.-G., Chun, J.-Y. and Soottitantawat, A., 2010.** Physical characteristics of fish oil encapsulated by  $\beta$ -cyclodextrin using an aggregation method or polycaprolactone using an emulsion-diffusion method. *Food chemistry*. 119, 1694-1703.
- Donsì, F., Annunziata, M., Sessa, M. and Ferrari, G., 2011.** Nano encapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *Food Science and Technology*. 44, 1908-1914.
- Driezak, J.D., 1988.** Microencapsulation and Encapsulated Ingredients. *Food Technol*. 42, 136-151.
- Drusch, S. and Berg, S., 2008.** Extractable oil in microcapsules prepared by spray-drying: localisation, determination and impact on oxidative stability. *Food Chemistry*. 109, 17-24.
- Duan, J., Jiang, Y. and Zhao, Y., 2011.** Chitosan-Whey Protein Isolate Composite Films for Encapsulation and Stabilization of Fish Oil Containing Ultra Pure Omega-3 Fatty Acids. *Journal of food science*. 76, C133-C141.
- Finney, J., Buffo, R. and Reineccius, G., 2002.** Effects of Type of Atomization and Processing Temperatures on the Physical Properties and Stability of Spray-Dried Flavors. *Journal of Food Science*. 67, 1108-1114.
- Gan, C.Y., Cheng, L.H. and Easa, A.M., 2008.** Evaluation of microbial transglutaminase and ribose crosslinked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil. *Innov. Food Sci. Emerg technol*. 9, 9-563.
- Habib, S.M., Amr, A.S. and Hamadneh, I.M., 2012.** Nanoencapsulation of Alpha-linolenic Acid with Modified Emulsion Diffusion Method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89, 695-703.
- Hardas, N., Danviriyakul, S., Foley, J., Nawar, W. and Chinachoti, P., 2000.** Accelerated stability studies of microencapsulated anhydrous milk fat. *LWT-Food Science and Technology*. 33, 506-513.
- Heinzelmann, K. and Franke, K., 1999.** Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 12, 223-229.
- Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B. and Haahr, A.-M., 2000.** Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 102, 114-121.
- Huang, Q., Yu, H. and Ru, Q., 2010.** Bioavailability and delivery of

- nutraceuticals using nanotechnology. *Journal of food science*. 75, R50-R57.
- Ilyasoglu, H. and Sedef Nehir, E., 2014.** Nanoencapsulation of EPA/DHA with sodium caseinate–gum arabic complex and its usage in the enrichment of fruit juice. . *LWT-Food Science and Technology*. 56, 461-468.
- Jafari, S.M., Assadpoor, E., Bhandari, B. and He, Y., 2008a.** Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*. 41, 172-183.
- Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y. and Bhandari, B., 2008b.** Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying. *Drying Technology*. 26, 816-835.
- Jafari, S.M., He, Y. and Bhandari, B., 2007.** Role of powder particle size on the encapsulation efficiency of oils during spray drying. *Drying Technology*. 25, 1081-1089.
- Jimenez, M., Garcia, H. and Beristain, C., 2004.** Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. *European Food Research and Technology* 219, 588-592.
- King, A.H., 1995.** Encapsulation of Food Ingredients. In: *Encapsulation and controlled release of food ingredients*, pp. 26-39, American Chemical Society, Washington, DC (USA).
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E.A. and McClements, D.J., 2006.** Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *Food Research International*. 39, 449–457.
- Kolanowski, W., Laufenberg, G. and Kunz, B., 2004.** Fish oil stabilization by microencapsulation with modified cellulose. *Journal of food sciences and nutrition*. 55, 333-343 .
- Liu, S., Low, N. and Nickerson., M.T., 2010.** Entrapment of flaxseed oil within gelatin-gum Arabic capsules. . *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 87, 809-815. .
- McClements, D.J., 2010.** Design of Nano-laminated coatings to control bioavailability of lipophilic food components. *Journal of Food Science*. 75, R30-R42.
- Shaw, L.A., McClements, J.D. and Decker, E.A., 2007.** Spray-dried multilayered emulsions as a delivery method for  $\omega$ -3 fatty acids into food systems. *J. Agric. Food chem*. 55, 3119-3112.
- Sootitawantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. and Linko, P., 2005.** Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. . *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 6, 107-114.
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J. and Solans, C., 2004.** Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in colloid and interface science*. 108, 303-318.

**Trautwein, E.A., 2001.**  $\omega$ -3 Fatty acids: physiological and technical aspects for their use in food. *Eur J Lipid Sci Technol* 103:45-55.

**Zhong, Q., Tian, H. and Zivanovic, S., 2009.** Encapsulation of fish oil in solid zein particles by liquid-liquid dispersion. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33, 255-270.

## Efficiency evaluation of nanoencapsulation of omega-3 fatty acids with gelatin-Arabic gum complex using coaservation technique

Jafarpour S. A.<sup>1\*</sup>; Esfahani R.<sup>1</sup>; Jafari S. M.<sup>1</sup>

\*  
a.jafarpour@sanru.ac.ir

1- Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University

### Abstract

The aim of this study was to optimize the nanoencapsulation of fish Omega 3 fatty acids with use of complex coasevation technique which was performed by using response surface methodology (RSM) in the central composite design (CCD). Nanoparticles containing omega-3 fatty acid were produced by Rainbow trout skin gelatin and Arabic gum as walls using complex coacervation technique. The effects of three independent variables as fish gelatin concentration (33-66%), the concentration of omega-3 fatty acids (10-30%) and the homogenizer speed at three levels (10000, 15000 and 20000 rpm) on the dependent variables such as particle size, oil level, encapsulated oil and nanoencapsulation efficiency were evaluated. The results showed that the homogenizer speed significantly had the greatest impact on the particle size ( $P < 0.01$ ). Determination of the nanoparticle surface oil indicated that surface oil was higher in the treatments with higher levels of omega-3 fatty acid than the treatments with lower concentration of omega-3 fatty acid. Nanoencapsulation efficiency of produced powder was recorded at about 41.98-74.69 %. Therefore, it is recommended to use 33% fish gelatin with 30% omega-3 fatty acids at 20000 rpm for production of omega-3 fatty acids nanocapsules with desired properties.

**Keywords:** Complex coacervation, Fish gelatin, Microencapsulation, Nano-capsules, Omega-3 fatty acid

\* Corresponding author