



تأثیر پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر ویژگی‌های ساختاری گویچه‌های چربی خامه سنگین: مطالعه فاز پراکنده مبتنی بر اندازه و مورفولوژی ذرات

هوشنگ کاملان<sup>۱</sup>، مصطفی مظاهری تهرانی<sup>۲\*</sup>، محمدرضا عدالتیان دوم<sup>۳</sup>، سید محمد علی رضوی<sup>۴</sup>، محمدحسین حداد خداپرست<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- استاد بازنشسته، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش تأثیر افزودن پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین در چهار سطح صفر، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد بر ویژگی‌های ساختاری گویچه‌های چربی خامه سنگین (۴۵ درصد چربی) بررسی شد. مطالعه ساختاری فاز پراکنده با استفاده از روش اندازه‌گیری توزیع پراکنش ذرات و بررسی مورفولوژی گویچه‌ها با کمک تصاویر میکروسکوپ نوری صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده تأثیرگذاری حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر اندازه و الگوی توزیع گویچه‌های چربی خامه بود. به طوری که متوسط اندازه حجم-سطح گویچه‌های چربی از ۲/۲۸ (خامه سنگین فاقد پکتین) به ۴/۶۵ میکرومتر (نمونه حاوی ۰/۶ درصد پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین) رسید. تصاویر میکروسکوپ نوری نیز بیانگر تغییر مورفولوژی گویچه‌ها از فرم کروی و منفرد در محیط به سمت ذرات توده‌ای تجمع یافته بود. از سوی دیگر تصاویر پردازش شده نشان‌دهنده افزایش ناهمگونی اندازه ذرات با افزایش سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل بود. همچنین بعد برخال به عنوان شاخصی برای کمی کردن بی‌نظمی بر مبنای تصاویر میکروسکوپی محاسبه شد. نتایج نشان داد بعد برخال با افزایش سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین در خامه افزایش یافت. در نهایت رابطه‌ای با ضریب تبیین بالا میان تغییرات در اندازه ذرات اندازه‌گیری شده با بعد برخال محاسبه شده از روی تصاویر میکروسکوپی حاصل شد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:

خامه، پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین، توزیع اندازه ذرات، تصاویر میکروسکوپی، بعد برخال.

DOI: 10.52547/fsct.18.116.91

\* مسئول مکاتبات:

mmtehrani@um.ac.ir

## ۱- مقدمه

محصولات لبنی بر پایه چربی شیر با طعم منحصر به فرد خود به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین‌کننده ویتامین‌ها و انرژی مورد نیاز بدن مورد توجه هستند. از بعد ساختاری، شیر به عنوان یک ترکیب امولسیون شناخته می‌شود که در آن گویچه‌های چربی به عنوان فاز پراکنده در بستر کلوئیدی متشکل از ترکیبات پروتئینی پراکنده شده است. این محصول به صورت سنتی (سرشیر) بر مبنای تخریب حرارتی ساختار امولسیون شیر و جداسازی ذرات بر مبنای نیروی ثقل صورت می‌گیرد. از بعد صنعتی، سرشیر حاصل فرآیند جداسازی دینامیک بر مبنای اعمال نیروی گریز از مرکز توسط دستگاه سپراتور است. در نتیجه محصول حاصله متشکل از ساختار متراکم شده از گویچه‌های منفرد تغلیظ شده می‌باشد [۱ و ۲]. وانینگ و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی به ارزیابی ساختار گویچه‌های چربی ایزوله شده از خامه با استفاده از روش میکروسکوپ الکترونی عبوری-انجمادی<sup>۱</sup> پرداختند. نتایج مشاهدات این محققان نشان داد گویچه‌های چربی با غشایی نانومتریک پوشانیده شده و دارای مورفولوژی کروی شکل است [۱]. در مطالعه‌ای دیگر، گالیر و همکاران (۲۰۱۰) خصوصیات سطحی غشای گویچه‌های چربی شیر را با استفاده از تکنیک تصویر برداری کونفوکال<sup>۲</sup> بررسی نمودند. بر مبنای مشاهدات این پژوهشگران، توزیع چربی و پروتئین در سطح غشا گویچه‌های چربی شیر تحت تأثیر فرآیند اعمالی بر روی آن‌ها و اندازه ذرات گویچه‌ها بود [۲].

به نظر می‌رسد طراحی ریز ساختار مبتنی بر کاربرد بیوپلیمرهای غذایی به عنوان مسیری کم‌هزینه با قابلیت گسترش در مقیاس صنعتی برای تولید سرشیر از خامه سنگین می‌تواند، مطرح گردد. پکتین بیوپلیمری با ساختار خطی و حاصل از منابع گیاهی است. خصوصیات عملگرایی این بیوپلیمر تحت تأثیر درجه متیلاسیون<sup>۳</sup> قرار می‌گیرد [۳]. پکتین با درجه متیلاسیون پایین قابلیت ایجاد برهم‌کنش بیشتری را با پروتئین‌های شیر به دلیل داشتن قطعات<sup>۴</sup> با بار مثبت را از بعد تئوریک دارد [۴ و ۵]. از این رو با هدف تأثیرگذاری بر میکرو ساختار، استفاده از این هیدروکلئید قابلیت بالایی با توجه به حضور ترکیبات پروتئینی در خامه سنگین در اختیار ما قرار

خواهد داد [۶، ۷ و ۸]. زو و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر هیدروکلئید زانتان بر خصوصیات فیزیکی و بافتی خامه هوادهی شده پرداختند. نتایج این محققان نشان داد افزایش سطح زانتان در محیط با رشد متوسط اندازه حجم-سطح ذرات ( $d_{2,3}$ ) همراه بود. افزایش در اندازه ذرات در حضور زانتان به افزایش انعقاد میان گویچه‌های چربی در فرآیند مکانیکی مربوط دانسته شد [۹]. این پژوهشگران همچنین در مطالعه‌ای دیگر کارایی هیدروکلئید هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز را بر بهبود خصوصیات فیزیکی-بافتی خامه بررسی نمودند. نتایج نشان‌دهنده کاهش در اندازه ذرات ( $d_{2,3}$ ) پس از فرآیند هموژنیزاسیون و افزایش در اندازه ذرات پس از اعمال تنش مکانیکی بر سامانه در حضور هیدروکلئید بود [۱۰]. ضیائی فر و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر کازئین و اینولین بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خامه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، حضور هیدروکلئیدها با ایجاد تجمع میان گویچه‌های چربی موجب تغییر در سایز ذرات شد [۱۱].

بنابراین با توجه به گرایش مصرف‌کننده به محصولات سنتی و افزایش تقاضا برای این دسته از مواد غذایی و از طرفی در نظر گرفتن فرآیندهای زمان بر تولید و عدم امکان کنترل فرآیند جهت تولید محصولات سنتی در مقیاس صنعتی، در پژوهش پیش رو تلاش بر آن بود که فرمولاسیونی جهت تولید یک سرشیر سنتی در حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پائین در خامه سنگین، بدون در برگیری فرآیند طولانی مدت ارائه گردد که بدین منظور ساختار گویچه‌های چربی در خامه به عنوان فاز اصلی تشکیل‌دهنده این محصول و تأثیرپذیری آن از حضور پکتین مورد مطالعه قرار گرفت. البته باید این نکته لحاظ شود در بررسی‌های صورت گرفته تاکنون پژوهشی در خصوص تأثیر افزودن پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر خصوصیات ساختاری خامه و ارزیابی بعد مورفولوژی ذرات و در نهایت تولید یک محصول سنتی به روش صنعتی منتشر نگردیده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲ انجام شد. بدین صورت که نمونه‌های تولیدی در شرکت سپیدان شیر (ایران-فریمان) تهیه گردید و آزمایشات مربوط به هر یک از نمونه‌ها در دانشگاه

1. Cryogenic- transmittance electron microscopy
2. confocal laser scanning microscopy
3. degree of methylation
4. patches

فردوسی مشهد، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی انجام شد.

## ۲-۱-مواد

خامه مورد استفاده در این پژوهش از شرکت سپیدان شیر (ایران-فریمان) تهیه گردید. پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین از شرکت سیگما (آلمان) خریداری شد.

## ۲-۲-روش‌ها

### ۲-۲-۱-آماده‌سازی خامه

نمونه‌های خامه خروجی از سپراتور (مدل Clara 200 ساخت شرکت آلفالاول-کشور سوئد) با استفاده از شیر پس چرخ در سطح ۴۵ درصد چربی تنظیم گردید. پس از تنظیم سطح چربی خامه، نمونه‌ها به ظروف درب‌دار منتقل و تا زمان انجام آزمایش در دمای یخچال نگهداری شد.

### ۲-۲-۲-تهیه نمونه حاوی پکتین با گروه‌های متوکسیل

#### پایین

خامه دارای ۴۵ درصد چربی با استفاده از چهار سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین (صفر، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد) فرموله گردید. بر این اساس، محلول‌های استوک پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین در آب دیونیزه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد با احتساب درصد وزنی- وزنی (w/w) تهیه شد. محلول جهت طی کردن زمان آب‌پوشی به مدت ۳ ساعت بر روی هم‌زن مغناطیسی (مدل MS-11C ساخت کمپانی Ezdo- تایوان) با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس به مدت یک شبانه روز به دمای یخچال جهت تکمیل فرآیند آبیگری منتقل شد. خامه حاصل از سپراتور (مدل Clara 200 ساخت شرکت آلفالاول- سوئد) با محلول هیدروکلئیدها در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط و با استفاده از شیر پس چرخ در سطح چربی مورد نظر تنظیم گردید. جهت اطمینان از اختلاط کامل، مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از همزن مکانیکی (مدل C3 ساخت شرکت تجهیزات آزمایشگاهی بهسان-ایران) مخلوط شد. پس از اختلاط کامل، نمونه به آرامی تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد سرد گردید و سپس به ظروف نگهداری منتقل شد. ظروف حاوی نمونه تا زمان هم دما شدن با محیط در فضای آزمایشگاه نگهداری و پس از آن تا زمان انجام آزمایشات در دمای یخچال نگهداری شد [۱۱ و ۱۲].

## ۲-۲-۳-آزمون‌های فیزیکو شیمیایی

### ۲-۲-۳-۱-تعیین pH

pH نمونه‌های سرشیر توسط دستگاه pH متر (Sartorius, Göttingen, Germany) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد [۱۳].

### ۲-۲-۳-۲-تعیین میزان پروتئین

پروتئین نمونه‌ها با استفاده از روش کج‌دال (AOAC, 2005) استفاده اندازه‌گیری شد. بدین منظور نمونه‌ها پس از طی کردن فرآیند هضم به دستگاه کج‌دال (کمپانی Hanoon, چین) منتقل شدند و میزان ازت تا به عنوان شاخصی از میزان پروتئین نمونه گزارش شد [۱۴].

### ۲-۲-۳-۳-تعیین توزیع اندازه ذرات

اندازه‌گیری توزیع پراکنش ذرات و متوسط قطر ذرات نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از دستگاه سنجش اندازه ذرات (Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd, Worcestershire, UK) صورت گرفت. نمونه‌ها قبل از تزریق به دستگاه کاملاً همگن شدند و اندازه‌گیری در دمای محیط صورت گرفت. قطر ذرات بر مبنای تئوری پراکنش نور لیزر محاسبه و متوسط قطر ذرات بر مبنای عدد ساتر یا متوسط قطر حجم - سطح (d<sub>2,3</sub>) و با استفاده از معادله ۱ گزارش گردید [۱۵].

$$D_{3,2} = \frac{\sum_i^n d_i^3}{\sum_i^n d_i^2} \quad \text{معادله (۱)}$$

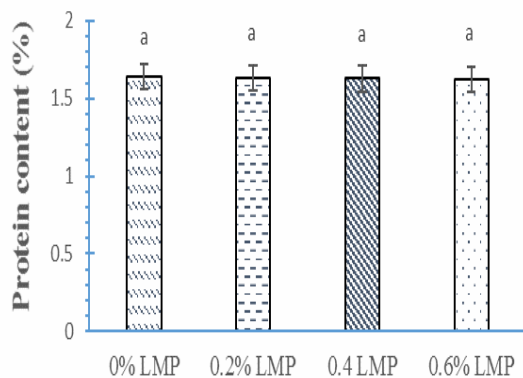
در این رابطه: n نشان دهنده تعداد ذرات با مشابهت در اندازه و d نشان دهنده قطر ذره است.

### ۲-۲-۳-۴-مطالعه خصوصیات تصویری نمونه‌ها

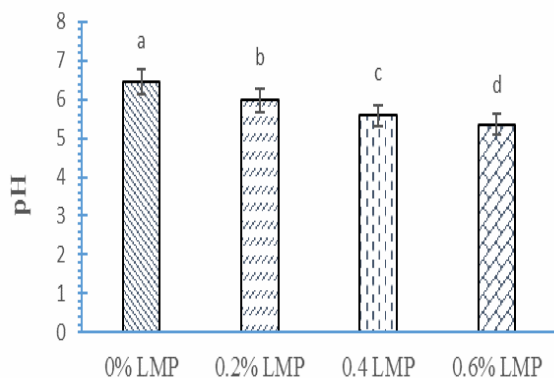
تهیه تصاویر از ساختار نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری مجهز به دوربین دیجیتال (Nikon microscope Eclipse E400, Nikon corporation, Japan) صورت گرفت. بدین منظور یک قطره از نمونه رقیق شده همگن بر روی لام قرار گرفت و پس از لامل‌گذاری تصاویر نمونه‌ها با بزرگنمایی ۴۰x تهیه گردید [۱۶].

### ۲-۲-۳-۵-پردازش تصاویر

برای افزایش کنتراست تصاویر در جهت مطالعه ریز ساختار تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال با استفاده از الگوریتم برابری



**Fig 1** Effect of low methoxyl pectin (LMP) addition on protein content of heavy cream. Different letters show the statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).



**Fig 2** Effect of low methoxyl pectin (LMP) addition on pH content of heavy cream. Different letters show the statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

### ۳-۲- توزیع اندازه ذرات

شکل ۳ نشان‌دهنده الگوی توزیع ذرات در خامه سنگین و تأثیر افزودن پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر آن است. با در نظر الگوی ظاهر شده در منحنی توزیع اندازه ذرات، نوع پراکنش بی‌مودال<sup>۹</sup> یا دوکوهانه (قله) در نمونه مربوط به خامه سنگین مشاهده شد. در این منحنی، قله اول با درصد حجمی بالاتر از ذرات را می‌توان به حضور گویچه‌های منفرد در محیط نسبت داد. همچنین قله دوم که با الگویی پهن در شانه سمت راست منحنی نمایان شده است مربوط به گویچه‌های چربی منعقد شده<sup>۱۰</sup> است که سیستم را به سمت تشکیل ساختاری ناهمگون سوق داده است [۲۰ و ۲۱]. نتایج این پژوهش با یافته‌های لامبرت و همکاران (۲۰۱۶) مشابهت داشت. این محققان گزارش کردند که با افزایش میزان جداسازی چربی از شیر

هیستوگرام محلی<sup>۵</sup> با استفاده از نرم افزار MATLAB 2017a صورت پذیرفت [۱۷].

### ۳-۲-۲- محاسبه بعد برخال<sup>۶</sup>

بدین منظور جهت حذف بخش پیش زمینه از تصاویر، آستانه‌گیری و سپس تصاویر دوتایی<sup>۷</sup> تهیه شد. بعد فرکتال بر مبنای روش شمارش جعبه<sup>۸</sup> با استفاده از جعبه افزار FracLac در نرم افزا ImagJ 1.52a محاسبه شد [۱۸].

### ۳-۲-۲- آنالیز آماری

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. اختلاف میانگین نمونه‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. برای آنالیز داده‌ها و رسم شکل‌ها به ترتیب از نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۱۶ و اکسل نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد.

## ۳- بحث و نتایج

### ۳-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی

شکل ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده سطح پروتئین و pH نمونه خامه‌های تولیدی است. همانطور که نتایج نشان داد، پروتئین خامه سنگین ۱/۶۵ گرم در صد گرم نمونه و pH آن ۶/۴۵ بود. همچنین نتایج نشان داد، بین میزان پروتئین خامه سنگین و نمونه‌های حاوی پکتین با گروه‌های متوکسیل پائین اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد وجود نداشت. از سوی دیگر نتایج نشان داد، با افزایش سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین از ۰/۲ درصد به ۰/۶ درصد، میزان pH نمونه‌ها حاوی هیدروکلئید از عدد ۵/۹۸ به ۵/۳۵ رسید و تمام نمونه‌های حاوی پکتین از pH کمتری در مقایسه با نمونه شاهد (خامه سنگین فاقد پکتین) برخوردار بودند. کاهش در مقدار pH محیط تحت تأثیر حضور گروه‌های کربوکسیل غیر استریفیه در ساختار پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین است و از این رو افزایش سطح این پلی‌ساکارید در محیط موجب افزایش اسیدیته محیط و متعاقب آن کاهش در مقدار pH می‌شود [۱۹].

5. Local Histogram Equalization

6. Fractal dimension

7. Binary image

8. Box Counting Method (BCM)

9. Bimodal

10. Coalescence

پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین موجب ایجاد دامنه‌ای در سمت چپ قله منحنی شده است.

تأثیر افزودن پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر الگوی منحنی توزیع اندازه ذرات خامه سنگین از چندین جهت بر مبنای ترکیبات حاضر در محیط قابل بررسی است. اجزاء تأثیرگذار بر پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین در محیط را می‌توان به صورت عمده تحت تأثیر پروتئین‌ها، غشای سطح گویچه‌های چربی و قدرت یونی تقسیم‌بندی نمود. علاوه بر تأثیر ترکیبات حاضر، شرایط فیزیکی شیمیایی محیط نیز به عنوان عاملی تأثیر گذار باید مورد توجه قرار گیرد [۲۹]. در میان ترکیبات حاضر در محیط، پروتئین‌ها تأثیرگذارترین عامل بر حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین هستند. از بعد ترمودینامیکی و بر مبنای ناسازگاری میان پروتئین- پلی ساکارید، برهم‌کنش میان پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین و پروتئین‌های حاضر در محیط را می‌توان در دو دسته فاز تجمعی<sup>۱۵</sup> و افتراقی<sup>۱۶</sup> تقسیم‌بندی کرد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن محدوده pH نمونه‌های حاوی پکتین بخصوص در سطوح بالای افزودن، احتمال تشکیل کمپلکس میان پروتئین و پکتین و ایجاد فاز تجمعی نسبت به فاز افتراقی محتمل‌تر به نظر می‌رسد. ذکر این نکته نیز لازم است که پروتئین حتی در محدوده pH طبیعی (pH معادل با ۷) دارای قطعات با بار مثبت است و با کاهش pH محیط به سمت محدوده pH ایزوالکتریک پروتئین‌ها، میزان قطعات با بار مثبت در پروتئین افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه در صورت حضور کلونیدی با بار مخالف در محیط، سطح برهم‌کنش میان آن‌ها افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، تشکیل کمپلکس تحت تأثیر در دسترس بودن بار مخالف در سطح کلونید است [۳۰]. از این رو، با کاهش pH از محدوده طبیعی به سمت نقطه ایزوالکتریک شاهد تغییر الگوی سیستم از حالت حلالیت توام<sup>۱۷</sup> هر دو بیوپلیمر (pH طبیعی) به سمت تشکیل کمپلکس محلول<sup>۱۸</sup> میان پروتئین و پلی‌ساکارید (در محدوده pH میانی)، تشکیل توده<sup>۱۹</sup> کمپلکس نامحلول با جدایش فازی تجمعی (pH ایزوالکتریک) و نهایتاً با کاهش pH به سمت مقادیر پایین‌تر، بار سطحی پلی‌ساکارید به مقادیر مثبت تغییر می‌یابد و دافعه‌های الکترواستاتیکی و حلالیت توام هر دو بیوپلیمر ایجاد می‌شود [۳۱ و ۳۲].

منحنی توزیع اندازه ذرات به صورت دوکوهانه تغییر الگو داده است [۲۲]. توزیع اندازه ناهمگون در منحنی مربوط به خامه سنگین را می‌توان به پدیده فلوکولاسیون<sup>۱۱</sup> همراه با انعقاد نسبی میان گویچه‌ای در نتیجه فشردگی<sup>۱۲</sup> میان آن‌ها نسبت داد. سیالیت گویچه‌ها با توانایی تحرک بین سطحی تأثیر بالایی در پایداری سامانه‌های امولسیون و جلوگیری از فلوکولاسیون میان گویچه‌ای دارد [۲۳ و ۲۴]. افزایش چربی منجر به کاهش سیالیت و عدم لغزش بین ذرات در نتیجه تراکم ساختاری می‌شود. در نتیجه بهم فشردگی میان آن‌ها و برای به حداقل رساندن انرژی برهم‌کنش<sup>۱۳</sup> (انرژی بین سطحی)، توده تراکمی<sup>۱۴</sup> میان ذرات شکل می‌گیرد که منجر به افزایش قطر گویچه‌ها می‌شود [۲۵ و ۲۶]. به بیان دیگر اگر فاصله میان گویچه‌ها در محیط کمتر از دو برابر شعاع قطرات گویچه‌ها باشد، نیروی جاذب میان آن‌ها به حداکثر مقدار می‌رسد که به دنبال آن پیوستگی میان ذرات اتفاق می‌افتد [۲۷]. در حالت افزایش تراکم گویچه‌ها در محیط، افزایش تصادم‌های اتفاقی منجر به نزدیکی بیشتر میان گویچه‌ها و ایجاد پیوستگی آن‌ها می‌گردد [۲۸].

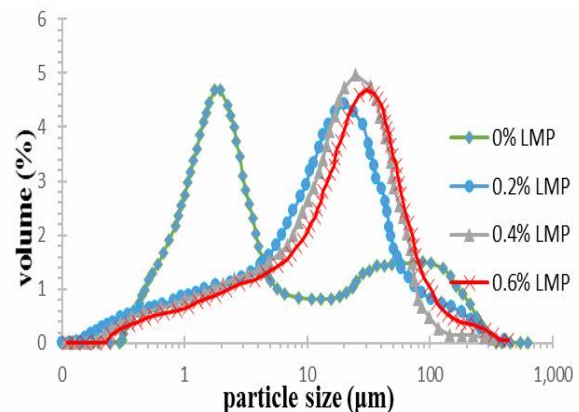


Fig 3 Effect of low methoxyl pectin (LMP) addition on particle size distribution of heavy cream.

همچنین لازم به ذکر است حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین در خامه سنگین منجر به تغییر در الگوی توزیع اندازه ذرات شد. حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین موجب تغییر قله منحنی به سمت راست گردیده است که همراه با کاهش درصد حجمی قله دوم نیز بود. علاوه بر این، حضور

15. Associative  
16. Segregative  
17. Cosoluble polymers  
18. Soluble complexes  
19. Coacervates

11. Flocculation  
12. Packing  
13. Interaction energy  
14. Aggregates

افزایش نسبت میان بیوپلیمرهای حاضر در محیط منجر به افزایش در پارامتر کدورت به عنوان شاخصی از ایجاد کمپلکس در محیط گردید. این افزایش در اندازه ذرات تحت تأثیر تجمع میان ذرات انفرادی در محیط بود [۳۶]. این نتایج نیز با یافته‌های کاباری و همکاران (۲۰۰۹) و مولایی و صدی (۲۰۱۵) در خصوص تشکیل کمپلکس میان کازئینات سدیم و صمغ زانتان مشابهت داشت [۳۷ و ۳۸]. علاوه بر ایجاد تجمعات میان ذرات کمپلکس پروتئین- پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین، عوامل دیگر نظیر اتصال یونی در نتیجه حضور یون کلسیم در محیط، اتصالات آبگریزی میان ذرات پروتئین به واسطه ایجاد حجم رانده<sup>۲۰</sup> شده در پیامد حضور پکتین به واسطه ناسازگاری ترمودینامیکی ایجاد شده نیز به عنوان عوامل تغییر در اندازه ذرات در محیط شناخته می‌شود. از سوی دیگر، قرارگیری پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر سطح غشای پروتئینی گویچه‌های چربی و ایجاد تجمع میان آنها موجب رشد ذرات در محیط می‌گردد.

شانه ایجاد شده در سمت راست قله در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافته است. این کاهش درصد حجمی در اندازه ذرات را می‌توان به تأثیر قرارگیری پکتین بر سطح غشای گویچه‌های چربی و پایداری فضایی ایجاد شده مبتنی بر دافعه‌های الکترواستاتیکی میان ذرات جهت ممانعت از وقوع پدیده فلوکولاسیون نسبت داد. سطح غشای گویچه‌های چربی حاوی ترکیبات پروتئینی است. علاوه بر آن، بتالاکتوگلوبولین تحت فرآیند حرارتی با ایجاد اتصالات دی سولفیدی با پروتئین‌های غشای گویچه‌های چربی و بخش کاپا کازئین با ایجاد پل‌های کلسیمی بر روی سطح غشای گویچه‌های چربی قرار می‌گیرند. با در نظر گرفتن pH محیط و نزدیکی آن با نقطه ایزوالکتریک بتا لاکتوگلوبولین، ایجاد کمپلکس با پکتین دارای گروه‌های متوکسیل پایین بسیار محتمل است. تشکیل کمپلکس میان پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین و پروتئین‌های غشای گویچه‌های چربی به همراه پروتئین‌های قرارگیری شده در آن با اثر حفاظتی ایجاد شده مانع ایجاد پدیده فلوکولاسیون میان گویچه‌ها و ظهور ذرات با اندازه درشت در سیستم می‌گردد [۳۹].

شکل ۴ نشان‌دهنده اندازه متوسط قطر حجم-سطح ذرات ( $d_{3,2}$ ) خامه سنگین و تأثیر افزودن سطوح مختلف پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین به نمونه‌های خامه سنگین است.

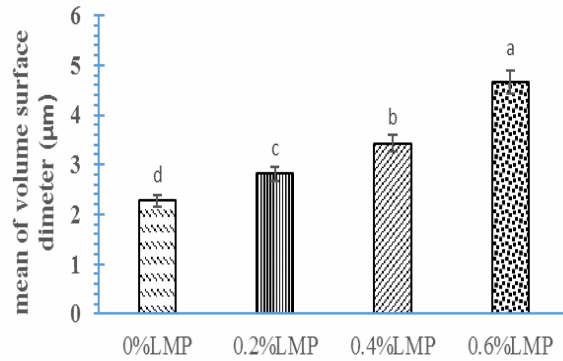
برهم‌کنش میان پکتین و پروتئین‌های خامه سنگین، حضور کلسیم در محیط را نیز می‌توان به عنوان عاملی تأثیرگذار بررسی نمود. پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین برای ایجاد اتصال میان زنجیره‌ای و تشکیل شبکه سه بعدی زل نیاز به حضور یون کلسیم دارد. از این رو احتمال تشکیل اتصالات عرضی میان زنجیره‌های پکتین چه به صورت حالت آزاد و تشکیل شبکه‌های منطقه‌ای و یا به عنوان عامل ایجاد اتصالات عرضی میان گویچه‌های چربی به واسطه قرار داشتن گروه‌های کربوکسیل آزاد در شاخه‌های جانبی پکتین جذبی بر روی پروتئین را باید مد نظر قرار داد. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، و تقسیم اندازه ذرات منحنی‌ها به سه ناحیه دامنه سمت چپ، قله و شانه سمت راست، منحنی الگوی توزیع ذرات قابل تقسیم و بررسی است. بر مبنای pH محیط، برهم‌کنش میان پروتئین و پکتین غیر جذبی بر سطح غشای گویچه‌های چربی با شدت بیشتری به سمت تشکیل کمپلکس‌ها محلول با اندازه‌های کوچک‌تر سوق پیدا می‌کند. کرمینزسکی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به ارزیابی کمپلکس شکل گرفته میان پروتئین‌های آب پنیر (۰/۵ درصد) و پکتین (۰/۱ درصد) با گروه‌های متوکسیل پایین در pH معادل ۶ و ۴ پرداختند. نتایج این محققان نشان داد، برهم‌کنش میان دو بیوپلمر در pH های مورد بررسی به سمت شکل‌گیری کمپلکس‌های محلول با اندازه ۴۰۰ و ۵۰۰ نانومتر به ترتیب در pH ۴ و ۶ سوق پیدا کرد [۳۳]. جانز و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی برهم‌کنش میان بتا لاکتوگلوبولین (۰/۵ درصد) و پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین (۰/۲۵ درصد) را در pH برابر با ۴/۷۵ ارزیابی نمودند. نتایج این پژوهشگران نشان‌دهنده شکل‌گیری ذراتی با اندازه ۲۲۵ نانومتر بود [۳۴]. از این رو و با استناد به آنچه که در منابع ذکر گردیده است و نتایج حاصله در این پژوهش شکل‌گیری ذرات با اندازه‌های کمتر از ۱ میکرون در محیط محتمل به نظر می‌رسد.

قله منحنی نسبت به نمونه شاهد آن (نمونه خامه سنگین) به صورت تیزتری به سمت تشکیل منحنی تک قله‌ای سوق پیدا کرده است. گسترش قله منحنی همراه با افزایش تیزی آن را می‌توان مرتبط به ایجاد برهم‌کنش‌های میان ذرات کمپلکس محلول با افزایش تعداد ذرات در محیط مرتبط دانست [۳۵]. تغییر در توزیع اندازه ذرات در پژوهش صورت گرفته توسط اقبال و همکاران (۲۰۱۷) در رابطه با بررسی برهم‌کنش میان کازئینات سدیم و پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین نیز گزارش شده است. بر مبنای نتایج حاصله توسط این محققان،

### ۳-۳- خصوصیات مورفولوژیکی گویچه‌ها

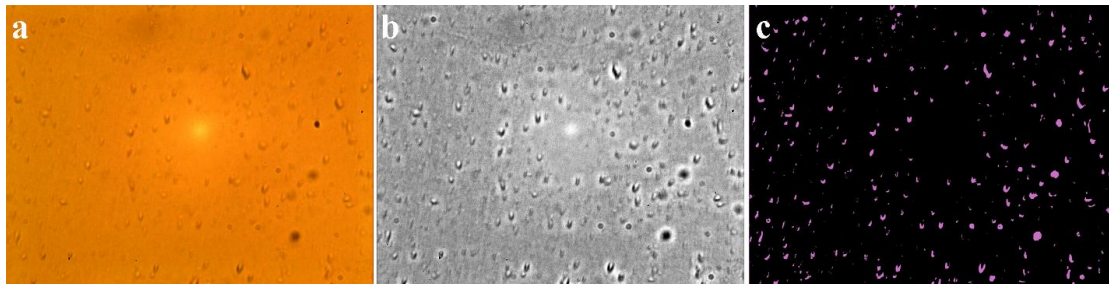
شکل ۵ و ۶ به ترتیب نشان‌دهنده مورفولوژی گویچه‌های چربی خامه سنگین (دارای ۴۵ درصد چربی بدون حضور پکتین) و گویچه‌های چربی خامه حاوی پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین است.

همانطور که در تصاویر (شکل ۵) مشاهده می‌گردد، ساختار گویچه‌های چربی به صورت منفرد با مورفولوژی کروی شکل است. مورفولوژی مشاهده شده از نمونه خامه سنگین فاقد پکتین با آنچه که توسط وانینگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است، مطابقت داشت [۱]. از سوی دیگر، توزیع ذرات در تصاویر به صورت ناهمگون بود. این ناهمگونی در ذرات (در تصاویر میکروسکوپی نوری) به خوبی توضیح دهنده منحنی توزیع اندازه ذرات در بخش پیشین است.



**Fig 4** Effect of low methoxyl pectin (LMP) addition on particle size of heavy cream. Different letters show the statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

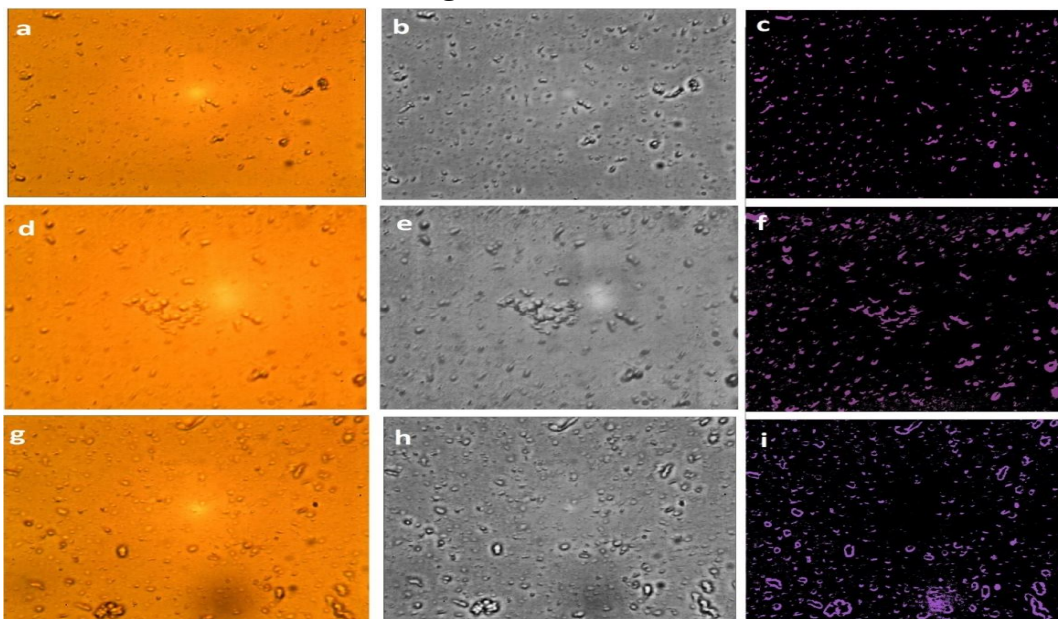
همانطور که نتایج نشان داد، افزایش سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین به صورت معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در اندازه متوسط قطر سطحی ذرات تأثیر گذار بود.



**Fig 5** Fat globules morphology of heavy cream. a: original picture b: high contrast picture c: binary picture.

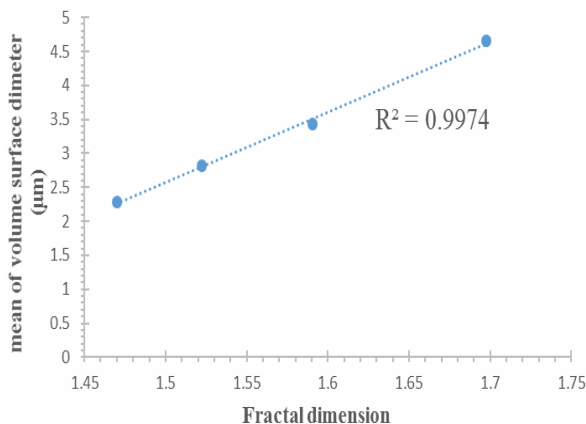
تصاویر بدست آمده بیانگر آن است که افزایش سطح پکتین موجب افزایش بی‌نظمی ذرات در محیط با غالب شدن ذرات درشت‌تر شده است. این افزایش در بی‌نظمی را می‌توان به تجمع‌های صورت گرفته میان گویچه‌ها نسبت داد.

شکل ۶ که نشان‌دهنده مورفولوژی چربی خامه حاوی پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین نیز به وضوح نشان داد، افزایش سطح پکتین در خامه موجب رشد اندازه ذرات در نتیجه تجمع‌های صورت گرفته در میان گویچه‌های چربی شده است. همچنین



**Fig 6** Effect of low methoxyl pectin (LMP) addition on the fat globules morphology in the heavy cream. a-c: 0.2% LMP, d-e: 0.4% LMP, g-i: 0.6% LMP.

عدد برخال محاسبه شده مشاهده گردید. با توجه به موارد بیان شده می‌توان گفت بعد برخال تحت تأثیر توزیع اندازه ذرات در محیط بود. بنابراین در این قسمت نیز به بررسی رابطه بعد برخال با متوسط حجم-سطح ذرات به عنوان معیاری کمی از توزیع ذرات در محیط پرداخته شد. شکل ۸ نشان دهنده رابطه میان این دو پارامتر (بعد برخال و توزیع اندازه ذرات) است. همانطور که مشاهده می‌شود، میان تغییرات اندازه ذره و بعد برخال همبستگی بالایی با ضریب تبیین ۰/۹۹ وجود داشت.



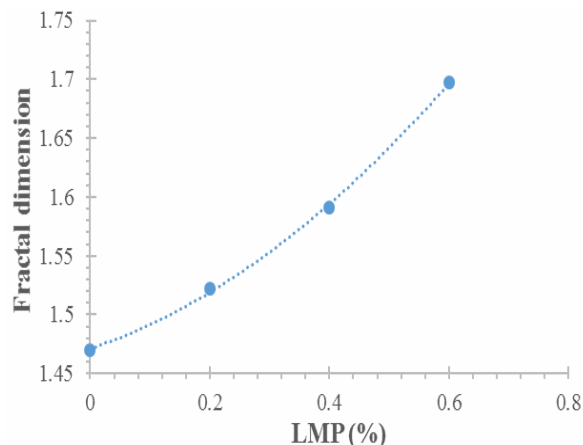
**Fig 8** Relationship between particle size and fractal dimension of heavy cream in the effect of low methoxyl pectin addition.

تغییرات در بعد برخال تحت تأثیر تغییرات ساختاری مواد غذایی در تحقیقات متعددی گزارش گردیده است. کاودو و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهشی گزارش نمودند که با افزایش کریستالیزاسیون چربی در شکلات و متعاقب آن ظاهر شدن سفیدک در سطح محصول بعد برخال محاسبه شده، افزایش یافت [۴۱]. کردپیان و دواهاستان (۲۰۰۷) نیز رابطه‌ای میان تغییرات ریزساختار هویچ در دوره خشک کردن با هوای داغ و بعد برخال گزارش نمودند [۴۲]. بر این اساس می‌توان از عدد برخال ساختار به عنوان معیاری برای کمی‌سازی تغییرات ساختاری استفاده نمود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

گرایش به مصرف محصولات سنتی در بازار موجب افزایش تقاضا برای این دسته از مواد غذایی شده است. از سوی دیگر، فرآیندهای زمان‌بر تولید در عمل امکان کنترل فرآیند جهت تولید در مقیاس صنعتی را از این دسته از محصولات سلب کرده است. از این رو در پژوهش پیش رو تلاش بر آن بود که فرمولاسیونی جهت تولید یک سرشیر سنتی با استفاده از خامه

در هندسه اقلیدسی<sup>۲۱</sup> بعد اشکال به صورت یک عدد صحیح بیان می‌شود. بر این مبنا به ترتیب خط، صفحه و فضا برابر با ۱، ۲ و ۳ محاسبه می‌شود. در هندسه برخالی بعد یک عدد غیر صحیح است که برای کمی کردن میزان بی‌نظمی استفاده می‌شود [۴۰]. از این رو، بعد برخال تصاویر به منظور بررسی تأثیر پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر مورفولوژی ذرات مورد مطالعه قرار گرفت. همانطور که در تصاویر مربوط به پراکنش ذرات گویچه‌های چربی به عنوان فاز پراکنده خامه مشاهده شد، افزایش سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین موجب تغییر اندازه و الگوی توزیع ذرات در تصاویر شده است. شکل ۷ نشان‌دهنده تغییرات در بعد برخال نمونه‌های خامه حاوی پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد افزایش سطح پکتین در خامه موجب افزایش بعد برخال محاسبه شده، شد.



**Fig 7** Effect of low methoxyl pectin (LMP) addition on the fractal dimension of heavy cream.

افزایش در بعد برخال تحت تأثیر حضور پکتین بر ساختار گویچه‌های چربی و فاز پیوسته ساختاری خامه است. همانطور که قبلاً اشاره شد، پکتین از یک سو با جذب بر سطح ساختار گویچه‌های چربی و از سوی دیگر با ایجاد برهم‌کنش با پروتئین حاضر در فاز پیوسته موجب تأثیر بر ساختار خامه می‌شود. از این رو افزایش حضور پکتین به معنای تشدید برهم‌کنش‌های صورت گرفته در محیط است. افزایش در سطح برهم‌کنش‌ها در تصاویر تهیه شده از نمونه‌ها نیز به خوبی نمایانگر این امر است. بر این اساس، افزایش سطح پکتین موجب ظهور ذرات درشت‌تر همراه با افزایش ناهمگونی در اندازه می‌شود. از این رو با افزایش بی‌نظمی در محیط، افزایش

21. Euclidean geometry



- ultrafiltration. *Food Hydrocolloids*, 16(6): 585-591.
- [6] Marozienne, A., & De Kruif, C. G. (2000). Interaction of pectin and casein micelles. *Food Hydrocolloids*, 14(4): 391-394.
- [7] Ganzevles, R. A., van Vliet, T., Stuart, M. A. C., & de Jongh, H. H. (2007). Manipulation of adsorption behaviour at liquid interfaces by changing protein-polysaccharide electrostatic interactions. *In Food Colloids* (pp. 195-208).
- [8] Goh, K. K., Teo, A., Sarkar, A., & Singh, H. (2020). Milk protein-polysaccharide interactions. *In Milk proteins* (pp. 499-535). *Academic Press*.
- [9] Zhao, Q., Zhao, M., Yang, B. and Cui, C., (2009). Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream. *Food Chemistry*, 116(3): 624-628.
- [10] Zhao, Q., Zhao, M., Li, J., Yang, B., Su, G., Cui, C., & Jiang, Y. (2009). Effect of hydroxypropyl methylcellulose on the textural and whipping properties of whipped cream. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2168-2173.
- [11] Ziaieifar, L., Shahi, M.L.M., Salami, M. and Askari, G.R., (2018). Effect of casein and inulin addition on physico-chemical characteristics of low fat camel dairy cream. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 858-862.
- [12] Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Taheri, A. and Rad, T.K., (2019). Flow behavior, viscoelastic, textural and foaming characterization of whipped cream: Influence of *Lallemantia royleana* seed, *Salvia macrosiphon* seed and carrageenan gums. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121: 609-615.
- [13] Ma, Y., & Barbano, D. M. (2003). Effect of temperature of CO<sub>2</sub> injection on the pH and freezing point of milks and creams. *Journal of Dairy Science*, 86(5), 1578-1589.
- [14] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2005). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International.
- [15] Adriana, B. and Andrzej, B., (2019). Comparison of Physical and Functional Properties of Whipping Cream and Whipping Cream Analogue. *Food Science and Nutrition Research*, 2(3): 1-7.
- سنگین بدون در برگیری فرآیند طولانی مدت ارائه گردد. از این رو در این پژوهش فاز پراکنده خامه با ۴۵ درصد چربی (به عنوان جزء غالب تشکیل دهنده ساختار) تحت تأثیر حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین قرار گرفت. جهت بررسی اثر پکتین بر ساختار خامه از روش اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات و بعد تصویری استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده تأثیرگذاری حضور پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین بر اندازه و الگوی توزیع گویچه‌های چربی خامه بود. به طوری که متوسط اندازه حجم- سطح گویچه‌های چربی از ۲/۲۸ به ۴/۶۵ میکرومتر رسید. تصاویر میکروسکوپ نوری نیز بیانگر تغییر مورفولوژی گویچه‌ها از فرم کروی و منفرد در محیط به سمت ذرات توده‌ای تجمع یافته بود. از سوی دیگر تصاویر پردازش شده نشان‌دهنده افزایش ناهمگونی اندازه ذرات با افزایش سطح پکتین با گروه‌های متوکسیل بود. در نهایت می‌توان گفت، نتایج این پژوهش بیانگر قابلیت کاربرد پکتین با گروه‌های متوکسیل پایین در طراحی ساختاری مشابه با سرشیرهای سنتی از خامه سنگین است.

## ۵- منابع

- [1] Waninge, R., Kalda, E., Paulsson, M., Nylander, T., & Bergenstahl, B. (2004). Cryo-TEM of isolated milk fat globule membrane structures in cream. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 6(7): 1518-1523.
- [2] Gallier, S., Gragson, D., Jiménez-Flores, R. and Everett, D., (2010). Using confocal laser scanning microscopy to probe the milk fat globule membrane and associated proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7): 4250-4257.
- [3] BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. (Eds.). (2012). *Industrial gums: Polysaccharides and Their Derivatives*. *Academic Press*.
- [4] De Jong, S., & van de Velde, F. (2007). Charge density of polysaccharide controls microstructure and large deformation properties of mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 21(7): 1172-1187.
- [5] Girard, M., Turgeon, S. L., & Gauthier, S. F. (2002). Interbiopolymer complexing between  $\beta$ -lactoglobulin and low-and high-methylated pectin measured by potentiometric titration and

- [28] Sun, C. and Gunasekaran, S., (2009). Effects of protein concentration and oil-phase volume fraction on the stability and rheology of menhaden oil-in-water emulsions stabilized by whey protein isolate with xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 23(1): 165-174.
- [29] Dickinson, E., (1998). Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 9(10): 347-354.
- [30] Hirt, S. and Jones, O.G., (2014). Effects of chloride, thiocyanate and sulphate salts on  $\beta$ -lactoglobulin-pectin associative complexes. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(11): 2391-2398.
- [31] Weinbreck, F., De Vries, R., Schrooyen, P. and De Kruijff, C.G., (2003). Complex coacervation of whey proteins and gum arabic. *Biomacromolecules*, 4(2): 293-303.
- [32] Mekhloufi, G., Sanchez, C., Renard, D., Guillemin, S. and Hardy, J., (2005). pH-induced structural transitions during complexation and coacervation of  $\beta$ -lactoglobulin and acacia gum. *Langmuir*, 21(1): 386-394.
- [33] Krzeminski, A., Prell, K.A., Weiss, J. and Hinrichs, J., (2014). Environmental response of pectin-stabilized whey protein aggregates. *Food Hydrocolloids*, 35: 332-340.
- [34] Jones, O., Decker, E.A. and McClements, D.J., (2010). Thermal analysis of  $\beta$ -lactoglobulin complexes with pectins or carrageenan for production of stable biopolymer particles. *Food Hydrocolloids*, 24(2-3):239-248.
- [35] Bayarri, M., Oulahal, N., Degraeve, P. and Gharsallaoui, A., (2014). Properties of lysozyme/low methoxyl (LM) pectin complexes for antimicrobial edible food packaging. *Journal of Food Engineering*, 131: 18-25.
- [36] Eghbal, N., Degraeve, P., Oulahal, N., Yarmand, M.S., Mousavi, M.E. and Gharsallaoui, A., (2017). Low methoxyl pectin/sodium caseinate interactions and composite film formation at neutral pH. *Food Hydrocolloids*, 69,132-140.
- [37] Kobori, T., Matsumoto, A. and Sugiyama, S., (2009). pH-Dependent interaction between sodium caseinate and xanthan gum. *Carbohydrate Polymers*, 75(4): 719-723.
- [16] Koocheki, A., Kadkhodae, R., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., & Taherian, A. R. (2009). Influence of Alyssum homolocarpum seed gum on the stability and flow properties of O/W emulsion prepared by high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2416-2424.
- [17] Gonzales, R.C. and Woods, R.E., (2002). Digital image processing.
- [18] Ikeda, S., Foegeding, E. A., & Hagiwara, T. (1999). Rheological study on the fractal nature of the protein gel structure. *Langmuir*, 15(25), 8584-8589.
- [19] De Jong, S., & van de Velde, F. (2007). Charge density of polysaccharide controls microstructure and large deformation properties of mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 21(7): 1172-1187.
- [20] Helgason, T., Awad, T. S., Kristbergsson, K., McClements, D. J., & Weiss, J. (2009). Effect of surfactant surface coverage on formation of solid lipid nanoparticles (SLN). *Journal of Colloid and Interface Science*, 334(1): 75-81
- [21] Westesen, K., & Siekmann, B. (1997). Investigation of the gel formation of phospholipid-stabilized solid lipid nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 151(1): 35-45.
- [22] Lambert, S., Leconte, N., Blot, M., Rousseau, F., Robert, B., Camier, B., ... & Gésan-Guiziou, G.(2016). The lipid content and microstructure of industrial whole buttermilk and butter serum affect the efficiency of skimming. *Food Research International*, 83: 121-130.7
- [23] Danov, K. D., Petsev, D. N., Denkov, N. D., Borwankar, R. (1993). Pair interaction energy between deformable drops and bubbles. *The Journal of Chemical Physics*, 99(9): 7179-7189.
- [24] Petsev, D. N. (2000). Theoretical analysis of film thickness transition dynamics and coalescence of charged miniemulsion droplets. *Langmuir*, 16(5): 2093-2100.
- [25] Petsev, D. N. (2004). Theory of emulsion flocculation. *Emulsions: Structure, Stability and Interactions*, 313-350.
- [26] Kilpatrick, P. K. (2012). Water-in-crude oil emulsion stabilization: review and unanswered questions. *Energy & Fuels*, 26(7): 4017-4026.
- [27] McClements, D. J. (2015). Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC press

- [40] Johnson, R. A. (2013). Advanced euclidean geometry. Courier Corporation.
- [41] Quevedo, R., Carlos, L.G., Aguilera, J.M. and Cadoche, L., (2002). Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 53(4).361-371.
- [42] Kerdpiboon, S. and Devahastin, S., (2007). Fractal characterization of some physical properties of a food product under various drying conditions. *Drying Technology*, 25(1),135-146.
- [38] Seddari, S. and Moulai-Mostefa, N., (2015). Formulation and characterization of double emulsions stabilized by sodium caseinate-xanthan mixtures. effect of ph and biopolymer concentration. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 36(1): 51-60.
- [39] Gromer, A., Penfold, R., Gunning, A.P., Kirby, A.R. and Morris, V.J., (2010). Molecular basis for the emulsifying properties of sugar beet pectin studied by atomic force microscopy and force spectroscopy. *Soft Matter*, 6(16): 3957-3969.



## Effect of low methoxyl pectin on the structural properties of the fat globules of cream: study of dispersed phase by size and morphology of particles

Kamelan, H. <sup>1</sup>, Mazaheri Tehrani, M. <sup>2\*</sup>, Edalatian Dovom, M. R. <sup>3</sup>, Razavi, S. M. A. <sup>2</sup>, Haddad Khodaparast, M. H. <sup>4</sup>

1. PhD student of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
2. Professor, Department of food science and technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
3. Associate Professor, Department of food science and technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
4. Retired Professor, Department of food science and technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

**Article History:**

Received 2020/ 08/ 26

Accepted 2020/ 09/ 21

**Keywords:**

Cream,  
Low methoxyl pectin,  
Particle size distribution,  
Microscopic images,  
Fractal dimension.

**DOI: 10.52547/fsct.18.116.91**

\*Corresponding Author E-Mail:  
mmtehrani@um.ac.ir

In this study, the effect of low methoxyl pectin addition on the three levels including 0.2, 0.4 and 0.6% on the structural properties of cream with 45% fat globules was investigated. Structural study of the dispersed phase was performed using particle size distribution method and the morphological properties evaluated by optical microscopic images. The results show the effectiveness of low methoxyl pectin on the size distribution of fat globules in the cream. The mean volume-surface of fat globules in pectin-free cream increased from 2.28 to 4.65  $\mu\text{m}$  in the sample with 0.6% low methoxyl pectin. Optical microscopic images demonstrated the morphological of fat globules change from spherical and solitary to the agglomerated form. On the other hand, increasing of low methoxyl pectin levels caused to increase the irregularity of particles size distribution in the images obtained from microscopic observation. Fractal dimension was calculated as an indicator for complexity quantification based on microscopic images. An increase in fractal parameter observed with increasing levels of low methoxyl pectin in the cream. On the other hand, a relationship with high coefficient of determination was observed between the changes in particle size and fractal dimension.