

# تأثیر ویژگی‌های امولسیون بر خصوصیات پودرهای حاصل از فرایند ریزپوشانی

امین قهرمانی فر<sup>۱\*</sup>، علی محمدی ثانی<sup>۲</sup>، مسعود نجف نجفی<sup>۳</sup>، مهدی قهرمانی فر<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

<sup>۳</sup> عضو هیأت علمی مرکز آموزش عالی جهاد کشاورزی خراسان رضوی

<sup>۴</sup> دانشجوی رشته پزشکی دانشگاه علوم پزشکی یاسوج

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹ / ۶ / ۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹ / ۸ / ۱۴

## چکیده

در این بررسی تأثیر ویژگی‌های امولسیون‌های تثبیت شده با پروتئین آب پنیر تغلیظ شده به عنوان ماده‌ی دیواره و د-لیمونن به عنوان ماده‌ی هسته بر خصوصیات پودرهای حاصل از فرایند ریزپوشانی مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور سوسپانسیون‌های کلوئیدی با غلظت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و دلیمونن در آب (امولسیون روغن در آب) تهیه گردید. سپس با کمک هموژنایزر و در زمان‌های همگن سازی ۳، ۶ و ۹ دقیقه سوسپانسیون‌های کلوئیدی تبدیل به امولسیون گردیدند و ویژگی‌های امولسیون‌ها نظیر اندازه‌ی ذرات و ویسکوزیته مورد بررسی قرار گرفت. این امولسیون‌ها با استفاده از فرایند خشک کردن پاششی ریزپوشانی گردیده و ویژگی‌های آن‌ها نظیر راندمان ریزپوشانی، مقدار روغن سطحی و کیفیت امولسیون‌های بازسازی شده با ریزکپسول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. افزایش غلظت ماده‌ی دیواره موجب افزایش راندمان ریزپوشانی گردید. در صورتی که با کوچک تر شدن اندازه‌ی ذرات امولسیون، بازده ریزپوشانی افزایش یافت. هم‌چنین با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و زمان هموژنیزاسیون امولسیون‌های تازه، اختلاف بین اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های تازه و بازسازی شده کاهش یافت

**واژه‌های کلیدی:** امولسیون، پروتئین آب پنیر تغلیظ شده، خشک کردن پاششی، د-لیمونن، ریزپوشانی.

۱- مقدمه

مهمی در ریزپوشانی مواد داشته، نقش کلیدی در بهینه‌سازی بازده ریزپوشانی طی فرایند ریزپوشانی دارد (۴، ۱۸، ۱۹، ۲۶). هدف از این تحقیق بررسی اثر غلظت و اندازه‌ی ذرات امولسیون بر بازده ریزپوشانی، مقدار روغن سطحی میکروکپسول‌ها و خصوصیات امولسیون‌های بازسازی شده از میکروکپسول‌ها می‌باشد.

ریزپوشانی، فرایندی است که در آن اجزای جامد، مایع یا گاز درون کپسول‌های کوچک پوشانده می‌شوند و می‌توان محتوایشان را با سرعت کنترل شده تحت شرایط خاص آزاد کرد (۹، ۸). در صنایع غذایی ریزپوشانی به دلایل مختلفی نظیر افزایش پایداری ترکیبات فرار، کنترل آزادسازی مواد و امکان جابه‌جایی آسان‌تر صورت می‌گیرد (۱، ۲۱، ۳۱).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد شیمیایی

پودر آب پنیر تغلیظ شده، د-لیمونن و توئین ۸۰<sup>۷</sup> (سوربیتال منو -۹- اکتادکنونات) از شرکت سیگما آلد ریچ و هگزان از شرکت مرک آلمان خریداری گردید. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده با درجه‌ی خلوص بالا (۹۹/۹ درصد) از شرکت مرک آلمان تامین شدند. برای تهیه‌ی کلیه‌ی محلول‌ها از آب دیونیزه استفاده گردید.

گروه زیادی از ترکیبات را می‌توان به عنوان ماده‌ی دیواره در فرایند ریزپوشانی مورد استفاده قرار داد اما در صنایع غذایی موادی را می‌توان استفاده نمود که از لحاظ کاربرد مجاز باشند. بیوپلیمرها مهم ترین گروه مواد مورد استفاده برای ریزپوشانی در صنایع غذایی می‌باشند. پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها یا پلی ساکاریدها (به عنوان فراوان ترین بیوپلیمرها) و لیپیدها مناسب ترین بیوپلیمرهای مورد استفاده برای فرایند ریزپوشانی می‌باشند (۴۰). خصوصیات مواد دیواره در ویژگی‌های عملکردی میکروکپسول‌ها و این که چگونه ممکن است باعث بهبود کارایی یک ترکیب خاص شود، بسیار تعیین کننده می‌باشد (۳۹). یک پوشش ایده آل باید دارای قابلیت امولسیون کنندگی بالا، ویسکوزیته‌ی پایین در غلظت بالا و قابلیت آزادسازی آسان مواد هسته هنگام انحلال در آب باشد (۳۵). به دلیل ویژگی مناسب فعالیت سطحی، از پروتئین‌های آب پنیر به طور گسترده جهت فرایند ریزپوشانی استفاده می‌شود (۳۹).

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه‌ی سوسپانسیون‌های کلئیدی

نسبت‌های وزنی مناسبی از پروتئین آب پنیر تغلیظ شده به آب دیونیزه اضافه شدند و سپس با استفاده از یک همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت مخلوط گردیدند تا محلول‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد (وزنی/وزنی) تهیه شود. پس از آن سوسپانسیون‌های کلئیدی مذکور به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگه داری شدند تا آبگیری به طور کامل انجام پذیرد (۶).

نوع فرایند مورد استفاده برای ریزپوشانی بستگی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی هسته و پوشش و نوع کاربرد آن در مواد غذایی دارد. در بین تکنیک‌های مختلف، خشک کردن پاششی<sup>۱</sup>، سرد کردن پاششی<sup>۲</sup>، اکستروژن<sup>۳</sup>، پوشش از طریق تعلیق در هوا<sup>۴</sup>، اکستروژن گریز از مرکز<sup>۵</sup>، خشک کردن انجمادی<sup>۶</sup> کاربرد بیش‌تری دارند (۳۹). خشک کردن پاششی، متداول‌ترین روش جهت ریزپوشانی مواد در صنایع غذایی می‌باشد (۳۷). تولید مواد ریزپوشانی شده به وسیله‌ی فرایند خشک کردن پاششی شامل تشکیل امولسیون پایدار از مواد هسته و دیواره می‌باشد (۱۱). بنابراین، تولید امولسیون نقش

۲-۲-۲- تهیه‌ی امولسیون

امولسیون روغن در آب حاوی ۵ درصد وزنی د-لیمونن در ۱۰۰ گرم ماده‌ی دیواره و ۰/۱ درصد توئین ۸۰ بدین صورت تهیه گردیدند که ابتدا تمامی اجزا با استفاده از یک همزن مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط شدند. سپس امولسیون اولیه با استفاده از همگن‌ساز اولتراتراکس مدل T25 (شرکت IKA، ساخت آلمان) با سرعت ۲۴۰۰۰ دور در دقیقه و در زمان‌های ۳، ۶ و ۹ دقیقه در دمای اتاق هموزن گردید (۱۵).

1 Spray drying  
2 Spray cooling / Chilling  
3 Extrusion  
4 Air suspension coating  
5 Centrifugal extrusion  
6 Freeze - drying

بلافاصله به قوطی‌های پلاستیکی درب‌دار منتقل و تا انجام آزمایش‌های بعدی در داخل دسیکاتور نگه‌داری شدند (۱۶).

### ۲-۳-۱- تعیین مقدار روغن سطحی ریزکپسول‌ها

مقدار د-لیمون موجود بر روی سطح پودرها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل T60 شرکت PG Instruments ساخت انگلستان) تعیین گردید. بدین منظور، روغن موجود بر سطح پودرها با حلال هگزان استخراج شد. به این ترتیب که یک گرم از پودر با ۲۰ میلی لیتر هگزان مناسب برای گازکروماتوگرافی در داخل لوله‌ی آزمایش درب‌پیچ دار مخلوط گردید و به مدت ۵ دقیقه با لرزاننده مخصوص لوله (مدل VORTEX 3 شرکت IKA ساخت آلمان) در دمای اتاق ورتکس شد. سپس ذرات پودر با کمک کاغذ صافی واتمن شماره ۱، از حلال جدا شدند. محلول باقی مانده، داخل یک بالن ژوژه ۱۰ میلی لیتری و با کمک هگزان به حجم رسانده شد. میزان جذب محلول در طول موج ۲۵۲ نانومتر، اندازه‌گیری گردید (۳۲). منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های با غلظت مختلف د-لیمون در هگزان رسم شد. از نمونه‌ی هگزان نیز به عنوان شاهد برای جلوگیری از خطای جذب در دستگاه استفاده شد (۳۴).

### ۲-۳-۲- تعیین مقدار روغن داخل میکروکپسول‌ها

برای تعیین مقدار روغن باقی مانده در داخل ریز کپسول‌ها، پودر حاصل از شست و شو با هگزان که از مرحله‌ی قبلی به جا مانده بود، مورد استفاده قرار گرفت. یک گرم از پودر به ۲۰ میلی لیتر آب دیونیزه در داخل لوله‌ی آزمایش درب‌پیچ‌دار منتقل و به مدت یک دقیقه با لرزاننده‌ی مخصوص لوله، همزده شد. سپس به این نمونه هگزان اضافه گردید و در داخل حمام بن ماری در دمای  $C^{\circ} 45$  و به مدت ۲۰ دقیقه باقی ماند. در طول این مدت، هم زدن به شکل متناوب انجام گرفت. بعد از این مرحله، لوله‌ی آزمایش در اتاق سرد گردید و در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد تا فاز آبی از فاز حلال جدا گردد. سپس میزان جذب آن مطابق روش گفته شده در بالا اندازه‌گیری شد (۳۴).

### ۲-۳- اندازه‌گیری اندازه‌ی ذرات امولسیون

متوسط قطر و توزیع اندازه‌ی امولسیون به کمک دستگاه انکسار نورلیزر (مدل Nano-Zeta sizer، شرکت Malver، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد. قطر متوسط ذرات که با نماد  $d_{3,4}$  (قطر حجم به طول) نمایش داده می‌شود با استفاده از معادله‌ی (۱-۲) محاسبه گردید (۱۷).

$$D_{43} = \frac{\sum z_i d_i^4}{\sum z_i d_i^3} \quad (1-2)$$

در معادله‌ی مذکور،  $z_i$  تعداد ذرات با قطر  $d_i$  می‌باشد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در دمای اتاق و ظرف مدت ۲ ساعت بعد از تهیه‌ی امولسیون با دو تکرار انجام شد. به منظور بررسی تغییرات اندازه‌ی ذرات امولسیون‌ها در طول فرایند ریزپوشانی، امولسیون‌های بازسازی شده از ریزکپسول‌های تولیدی نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. به این ترتیب که امولسیون‌های بازسازی شده دارای ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد وزنی، از حل کردن مقادیر مناسبی از پودر در آب دیونیزه تهیه شده و سپس در دمای اتاق با کمک یک همزن مغناطیسی به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط گردیدند. توزیع اندازه ذرات این امولسیون‌ها نیز مانند آنچه در مورد امولسیون‌های تازه شرح داده شد، بررسی گردید (۱۷).

### ۲-۳-۴- اندازه‌گیری و یسکوزیته‌ی ظاهری

اندازه‌گیری و یسکوزیته‌ی ظاهری امولسیون‌ها بلافاصله پس از تهیه‌ی آن‌ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (مدل ویسکو، ۸۸ ساخت بریتانیا) مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی (جولابو، مدل F12-MC ساخت آلمان) انجام گرفت. برای تمامی نمونه‌ها از هندسه‌ی نوع استوانه‌های هم مرکز<sup>۱</sup> و پروب  $C_{30}$ ، در دمای  $C^{\circ} 25$  و درجه‌ی برش  $s^{-1} 1210$  و با استفاده از مدل هرشل بالکی استفاده گردید (۱۰).

### ۲-۳- تهیه‌ی ریزکپسول‌ها

برای تهیه‌ی ریزکپسول‌ها از یک خشک کن پاششی (مدل Buchi، شرکت B-290 mini spray dryer، ساخت سوئیس) استفاده گردید. شرایط خشک کردن عبارت بودند از دمای ورودی  $C^{\circ} 10 \pm 180$  و دمای هوای خروجی  $C^{\circ} 10 \pm 90$ . برای جلوگیری از جذب رطوبت، پودرهای تهیه شده

<sup>1</sup> Bub & Cup

### ۲-۳-۳- راندمان ریزپوشانی

برای تعیین راندمان ریزپوشانی از خارج قسمت مقدار لیمونن در پودر به مقدار آن در امولسیون اولیه، مطابق رابطه‌ی ذیل محاسبه شد:

$$\text{گرم د- لیمونن در امولسیون اولیه} / \text{گرم د- لیمونن در پودر} = \text{راندمان ریزپوشانی}$$

### ۲-۳-۴- تجزیه‌ی آماری

برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. به منظور تجزیه واریانس نتایج، نرم‌افزار Minitab مورد استفاده قرار گرفت. میانگین تکرارها توسط نرم‌افزار MSTATC در قالب آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح آماری ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند. برای تعیین پارامترهای رئولوژیکی از نرم‌افزار Slidewrite استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- اثر غلظت و زمان همگن سازی امولسیون بر راندمان ریزپوشانی

ویژگی‌های امولسیون‌ها نظیر اندازه‌ی ذرات، ویسکوزیته‌ی ظاهری و ویژگی‌های پودرهای حاصل از فرایند ریزپوشانی نظیر اندازه ذرات و اندازه ذرات امولسیون‌های بازسازی شده از پودرها در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. بررسی‌های آماری نشان دهنده‌ی معنی‌دار بودن اثر افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده بر درصد ریزپوشانی بود، به طوری که باعث افزایش راندمان ریزپوشانی گردید. بالاترین مقدار راندمان ۹۲/۴۴٪ و مربوط به امولسیون با غلظت ۳۰٪ پروتئین آب پنیر تغلیظ شده بود. کم‌ترین میزان راندمان ریزپوشانی نیز ۶۹/۲۲٪ و مربوط به امولسیون با غلظت ۱۰٪ پروتئین آب پنیر تغلیظ شده بود. نتایج مشابهی توسط راینشوز و بنقز (۱۹۸۵)، روزنبرگ و کوپلمن (۱۹۸۳)، روزنبرگ و همکاران (۱۹۸۴)، بهن‌دیری و همکاران (۱۹۹۲)، ری و لیو (۱۹۹۶)، مکنام و همکاران (۲۰۰۱) گزارش گردید (۵، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۸، ۲۹). رزنبرگ و شئو (۱۹۹۶) اتیل کاپریلات را با استفاده از پروتئین آب پنیر (به عنوان دیواره) ریزپوشانی کرده، مشاهده کردند با افزایش غلظت مواد دیواره میزان بازده ریزپوشانی اتیل بوتیرات و اتیل

کاپریلات افزایش یافت (۳۰، ۳۳). سوتیتانتاوات و همکاران (۲۰۰۵) نیز ال متول را با استفاده از صمغ عربی و نشاسته‌ی اصلاح شده (های کپ<sup>۱</sup> ۱۰۰) بروش خشک کردن پاششی ریزپوشانی کرده، ویژگی‌های امولسیون و مواد دیواره را مورد بررسی قرار دادند. نتایج، نشان داد افزایش غلظت مواد جامد امولسیون باعث افزایش بازده و راندمان ریزپوشانی می‌شود (۳۶). روزنبرگ و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند افزایش غلظت مواد جامد باعث افزایش درصد ریزپوشانی می‌شود و دلیل آن را افزایش سرعت تشکیل پوسته اطراف قطرات امولسیون با افزایش غلظت مواد جامد بیان کردند (۲۷).

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود با افزایش پروتئین آب پنیر تغلیظ شده ویسکوزیته‌ی امولسیون‌ها افزایش می‌یابد. نتایج بررسی برخی از محققان (کیخبوش، ۱۹۷۸؛ زارکاریان، ۱۹۷۹؛ کیخبوش و کینگ، ۱۹۸۰؛ روزنبرگ و همکاران (۱۹۹۰) نشان داد ویسکوزیته‌ی امولسیون، یکی از عوامل موثر بر بازده ریزپوشانی می‌باشد. این محققان گزارش کردند افزایش ویسکوزیته از طرفی باعث کاهش حرکت مواد فرار به سطح کپسول‌های در حال خشک شدن می‌شود و از طرفی امولسیون قبل از تشکیل قطرات ریز در اتمایزر تحت فرایند همزدن با شدت بالا قرار می‌گیرد به طوری که این هم زدن شدید باعث از دست رفتن مواد فرار مورد استفاده به عنوان هسته می‌شود. افزایش ویسکوزیته‌ی امولسیون، موجب کاهش شدت هم زدن و در نتیجه کاهش از دست رفتن مواد فرار می‌شود (۱۳، ۱۴، ۲۷، ۲۹).

افزایش زمان هموزنی‌سازی تأثیر معناداری بر بازده ریزپوشانی داشت. همان‌گونه که در جدول ۳-۱ دیده می‌شود، افزایش زمان هموزنی‌سازی امولسیون‌های تازه موجب افزایش بازده ریزپوشانی گردید. به عنوان مثال با افزایش زمان هموزنی‌سازی از ۳ به ۹ دقیقه در نمونه با غلظت ۱۰ درصد ماده‌ی دیواره، بازده ریزپوشانی از ۶۹/۲۲ تا ۷۵/۷۵ درصد افزایش یافت.

نتایج مربوط به اندازه ذرات امولسیون‌های تازه در جدول ۳-۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش زمان همگن‌سازی امولسیون‌ها، اندازه ذرات امولسیون کاهش

<sup>1</sup> High cap

در این بررسی، افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده از ۱۰٪ به ۳۰٪ باعث کاهش مقدار روغن سطحی از ۳/۸۵٪ به ۱/۶۱ درصد گردید. به عنوان مثال، مقدار روغن سطحی نمونه با غلظت ۱۰٪ دیواره و زمان هموژنیزاسیون ۳ دقیقه ۳/۸۵٪ بود درحالی که مقدار روغن سطحی در نمونه ای با غلظت ۲۰٪ دیواره و با همان زمان هموژنیزاسیون ۲/۶۴٪ به دست آمد. دلیل کاهش مقدار روغن سطحی با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده احتمالاً این است که افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده، باعث افزایش پایداری امولسیون‌ها و جلوگیری از تخریب و شکستگی ذرات و آزاد شدن ترکیبات فرار هسته در طول اتمیزاسیون توسط خشک کن شده، مقدار روغن سطحی کاهش می‌یابد. افزایش زمان هموژنیزاسیون اثر معنی‌داری بر میزان روغن سطحی میکروکپسول‌ها داشت، به طوری که افزایش زمان هموژنیزاسیون از ۳ تا ۹ دقیقه باعث کاهش روغن سطحی میکروکپسول‌ها شد (شکل ۲). کم‌ترین مقدار روغن سطحی ۱/۶۱٪ و مربوط به نمونه‌ی با زمان هموژنیزاسیون ۹ دقیقه و بیش‌ترین مقدار آن ۳/۸۵٪ مربوط به نمونه‌ی با زمان هموژنیزاسیون ۳ دقیقه بود. میزان روغن سطحی میکروکپسول‌ها بستگی زیادی به اندازه‌ی ذرات امولسیون دارد (۳، ۲۵، ۳۲، ۳۴). با توجه به این که افزایش زمان هموژنیزاسیون باعث کوچک‌تر شدن اندازه ذرات امولسیون می‌شود. بنابراین، دلیل کاهش روغن سطحی با افزایش زمان هموژنیزاسیون احتمالاً کوچک‌تر شدن اندازه‌ی ذرات امولسیون می‌باشد. نتایج مشابهی توسط سوتیتانوات و همکاران (۲۰۰۳، ۲۰۰۵) و ریچ و راینشوز (۱۹۸۸) به دست آمد. این محققان، مشاهده کردند افزایش اندازه‌ی ذرات امولسیون، باعث افزایش روغن سطحی میکروکپسول‌های حاصل از ریزپوشانی می‌گردد. دلیل افزایش روغن سطحی میکروکپسول‌ها، خرد شدن آسان‌تر امولسیون‌های بزرگ‌تر در طول فرایند اتمیزاسیون عنوان گردید (۲۵، ۲۶، ۳۴، ۳۵).

می‌یابد. از طرفی بررسی‌های محققین نشان داده، بازده ریزپوشانی با کوچک‌تر شدن اندازه‌ی ذرات امولسیون، افزایش می‌یابد (۲۵، ۳۲). امولسیون‌هایی که اندازه‌ی ذرات بزرگ تری دارند زمانی که در فرایند خشک کردن پاششی اتمیزه می‌شوند، خرد شده و مقداری از مواد هسته آزاد می‌شود، در نتیجه، بازده ریزپوشانی کاهش می‌یابد اما امولسیون‌هایی که اندازه‌ی ذرات آن‌ها کوچک می‌باشد هنگام اتمیزاسیون توسط اتمایزر بدون این که خرد شوند، خشک شده و به این ترتیب بازده ریزپوشانی افزایش می‌یابد (۳۲). از طرف دیگر، هر چند ذرات بزرگ تر سطح مخصوص کوچک‌تری در مقایسه با ذرات کوچک‌تر امولسیون دارند و طی خشک کردن کم‌تر در معرض هوای گرم قرار دارند اما به دلیل طولانی‌تر بودن زمان تشکیل پوسته در ذرات بزرگ‌تر نسبت به ذرات کوچک‌تر، میزان رهاسازی و از دست رفتن ترکیبات فرار طی خشک کردن پاششی در ذرات بزرگ‌تر بیش‌تر است. بدین ترتیب، بازده ریزپوشانی آن‌ها کم‌تر می‌باشد (۲۳، ۷).

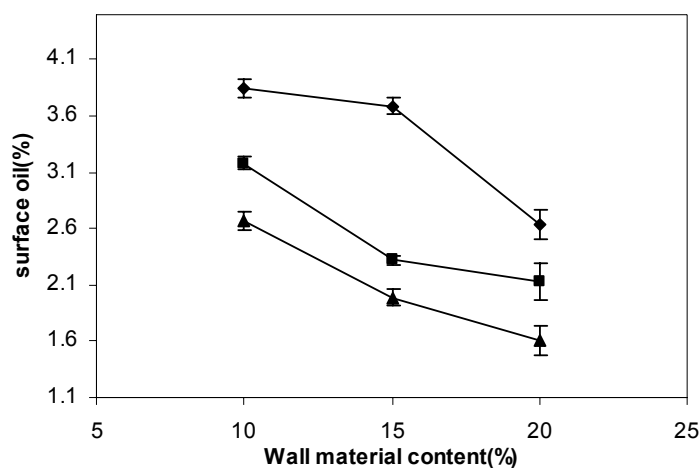
### ۳-۲- اثر غلظت و زمان همگن سازی امولسیون بر

#### میزان روغن سطحی میکروکپسول‌ها

روغن سطحی که پس از ریزپوشانی در سطح میکروکپسول‌ها باقی می‌ماند به راحتی اکسید شده و منجر به تولید ترکیبات نامطلوب می‌شود. بنابراین، مقدار روغن سطحی میکروکپسول‌ها در میزان ماندگاری آن‌ها در طول نگهداری اهمیت زیادی دارد (۲). نتایج مربوط به اندازه‌گیری روغن سطحی نمونه‌های مختلف پودر در جدول ۳-۱ آورده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده اثر معنی‌داری بر مقدار روغن سطحی نمونه‌های مختلف دارد ( $P < 0/05$ ). همان گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده باعث کاهش مقدار روغن سطحی نمونه‌های پودر شد.

جدول ۱- ویژگی‌های امولسیون‌ها و پودرهای حاصل از فرایند ریزپوشانی د-لیمون.

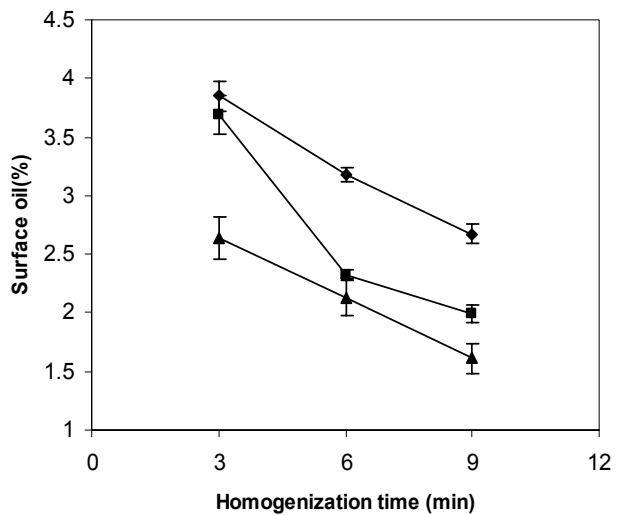
غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده (%)	زمان هموژنیزاسیون (دقیقه)	قطر ذرات امولسیون تازه (نانومتر)	قطر ذرات امولسیون بازسازی شده (نانومتر)	ویسکوزیته ظاهری (pa.s)	راندمان ریزپوشانی (%)	روغن سطحی (%)
۱۰	۳	۱۶۹/۲	۱۵۲/۷	۰/۰۰۹	۶۹/۲۲±۰/۵	۳/۸۵±۰/۰۹
	۶	۱۶۲/۳	۱۵۴/۳	۰/۰۱۰	۷۳/۷۵±۰/۱۲	۳/۱۸±۰/۰۴
	۹	۱۶۰	۱۵۵/۴	۰/۰۱۲	۷۵/۷۵±۰/۵	۲/۶۷±۰/۰۶
۱۵	۳	۱۷۸/۱	۱۵۹/۶	۰/۰۱۲	۷۸/۵۶±۰/۴۹	۳/۶۹±۰/۱۲
	۶	۱۶۸/۱	۱۶۱/۹	۰/۰۱۴	۸۰/۹۰±۰/۰۷	۲/۳۲±۰/۰۳
	۹	۱۶۵/۷	۱۶۳/۸	۰/۰۱۶	۸۳/۹۷±۰/۵	۱/۹۹±۰/۰۵
۲۰	۳	۱۸۶/۸	۱۷۰/۵	۰/۰۱۶	۸۸/۰۴±۰/۳۹	۲/۶۴±۰/۱۳
	۶	۱۷۹/۶	۱۷۲/۴	۰/۰۱۸	۸۹/۲۳±۰/۰۵	۲/۱۳±۰/۱۱
	۹	۱۷۶/۱	۱۷۵/۱	۰/۰۲۶	۹۲/۴۴±۰/۱۷	۱/۶۱±۰/۰۹



شکل ۱- تأثیر غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده بر مقدار روغن سطحی در زمان‌های هموژنیزاسیون ۳، ۶ و ۹ دقیقه.

امولسیون‌های تازه و بازسازی شده به همدیگر نزدیک می‌شوند. به عنوان مثال، اختلاف بین اندازه‌ی ذرات امولسیون اولیه و امولسیون بازسازی شده در نمونه‌ی با غلظت ۱۰٪ ماده‌ی دیواره با زمان هموژنیزاسیون ۹ دقیقه ۴/۶ نانومتر می‌باشد، در حالی که برای نمونه‌ی با غلظت ۲۰٪ ماده‌ی دیواره و زمان هموژنیزاسیون مشابه، این اختلاف ۱ نانومتر است. کاهش اختلاف اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های باز ساخته و امولسیون‌های اولیه با افزایش غلظت ماده‌ی دیواره، احتمالاً به دلیل افزایش پایداری امولسیون‌ها طی فرایند ریزپوشانی می‌باشد (۳۴).

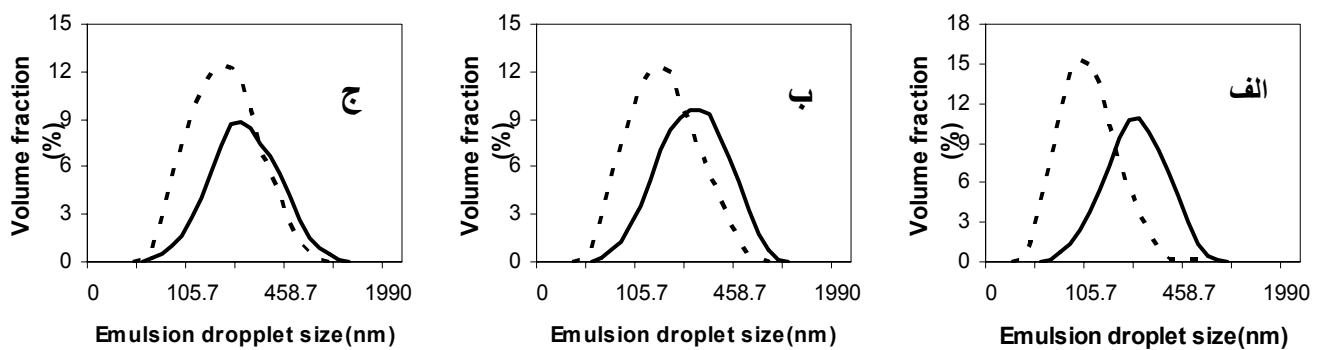
علاوه بر این، همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش زمان هموژنیزاسیون منحنی توزیع اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های تازه و بازسازی شده به همدیگر نزدیک می‌شوند. برای مثال، اندازه‌ی ذرات امولسیون برای نمونه‌ی ۱۰ درصد ماده‌ی دیواره که در زمان ۳ دقیقه هموژن گردیده بود، ۱۶۹/۲ نانومتر بود در حالی که پس از فرایند ریزپوشانی به ۱۵۲/۷ نانومتر کاهش یافت. هم‌چنین مشاهده شد با افزایش زمان هموژنیزاسیون امولسیون اولیه از ۳ به ۹ دقیقه اختلاف در اندازه ذرات امولسیون اولیه و امولسیون بازسازی شده کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، مقدار ماده‌ی هسته که طی فرایند ریزپوشانی آزاد می‌شود با افزایش زمان هموژنیزاسیون کاهش می‌یابد. بنابراین، تشکیل یک لایه از ماده‌ی امولسیون کننده با حداکثر توانایی محافظت از قطرات امولسیون در برابر تجمع و به هم چسبیدن ذرات طی فرایند ریزپوشانی در بازده ریزپوشانی موثر است (۱۲).



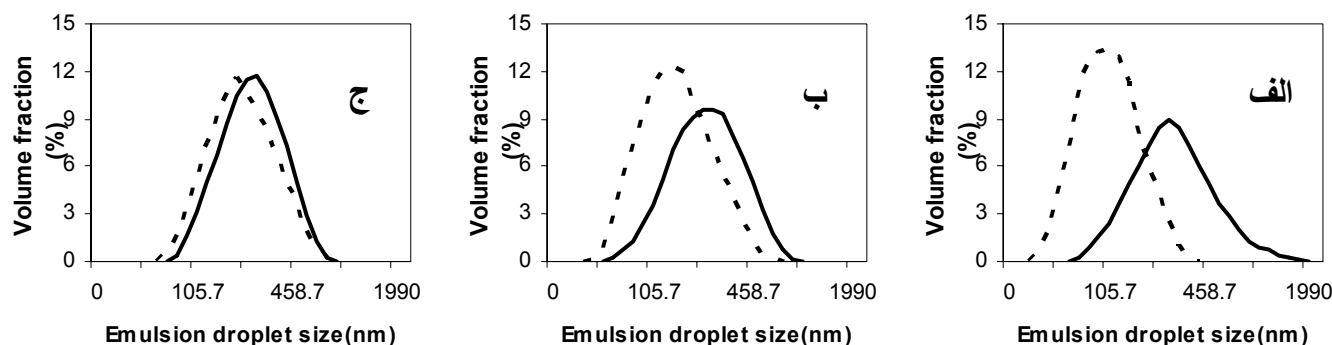
شکل ۲- تأثیر زمان هموژنیزاسیون بر مقدار روغن سطحی در غلظت‌های ۱۰٪، ۱۵.۵٪ و ۲۰٪ پروتئین آب پنیر تغلیظ شده.

### ۲-۳- اثر غلظت و زمان همگن سازی امولسیون بر کیفیت امولسیون‌های بازسازی شده با ریزکپسول‌ها

بررسی ویژگی‌های امولسیون باز ساخته می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد پایداری ذرات امولسیون طی فرایند خشک کردن پاششی در اختیار ما قرار دهد (۱۱). مقایسه‌ی اندازه‌ی ذرات امولسیون بازسازی شده و امولسیون‌های اولیه، نشان داد با افزایش غلظت ماده‌ی دیواره، تفاوت بین اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های باز ساخته و امولسیون‌های اولیه، کاهش می‌یابد. همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت ماده‌ی دیواره، منحنی توزیع اندازه‌ی ذرات



شکل ۳- مقایسه‌ی توزیع اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های تازه (—) و باز سازی شده (-----) در غلظت (الف) ۱۰٪، (ب) ۱۵٪ و (ج) ۲۰٪ دیواره در مدت زمان هموژنیزاسیون ۶ دقیقه.



شکل ۴- مقایسه‌ی توزیع اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های تازه (—) و باز سازی شده (-----) در مدت زمان هموژنیزاسیون (الف) ۳، (ب) ۶ و (ج) ۹ دقیقه در غلظت ۱۵٪ دیواره.

preparations. *Food Research International*, 38(8-9), 989-994.

5. Bhandari, B. R., Dumoulin, E. D., Richard, H. M. J., Noleau, I. and Lebert, A. M. 1992. Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57(1), 217-221.
6. Bouaouina, H., Desrumaux, A., Loisel, C. and Legrand, J. 2006. Functional properties of whey proteins as affected by dynamic high-pressure treatment. *International Dairy Journal*, Volume 16, Issue 4, Pages 275-284.
7. Chang, Y. I., Scire, J. and Jacobs, B. 1988. Effect of particle and microstructure properties on encapsulated orange oil. In S. J. Risch, & G. A. Reineccius (Eds.), *Flavor encapsulation. ACS Symp. Ser. No.*, vol. 370 (87-102).
8. Chen, X.G.; Lee, C.M. and Park, H.J. 2003. O/W emulsification for the self-aggregation and nanoparticle formation of linolenic acid modified chitosan in the aqueous system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 3135-3139.
9. Cho, Y.H.; Shin, D.S. and Park, J. 2000. Optimization of emulsification and spray drying processes for the microencapsulation of flavor compounds. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 32: 132-139.
10. Herceg, Z. and Lelas, V. 2005. The influence of temperature and solid matter content on the viscosity of whey protein concentrates and skim milk powder before and after tribomechanical treatment. *Food Engineering*, 66:433-438.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق، نشان داد افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و زمان همگن‌سازی امولسیون‌های تازه موجب افزایش بازده ریزپوشانی و کاهش میزان روغن سطحی نمونه‌های مختلف می‌گردد. از طرفی بررسی ویژگی‌های امولسیون‌های بازسازی شده، نشان داد با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و زمان همگن‌سازی امولسیون‌های تازه، توزیع اندازه‌ی ذرات امولسیون‌های تازه و بازسازی شده از ریزکپسول‌ها به هم نزدیک می‌شود که این به علت افزایش پایداری امولسیون‌های تازه بود.

#### ۵- منابع

1. Anandaraman, S. and Reineccius, G. A. 1987. Analysis of encapsulated orange peel oil. *Perfumer & Flavorist*, 12, 33-39.
2. Anandaraman, S. and Reineccius, G. A. 1986. Stability of encapsulated orange peel oil. *Food Technol.* 40, 88-93.
3. Baranauskiene, R., Bylaite, E., Zukauskait e, J. and Venskutonis, R.P. 2007. Flavor Retention of Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oil Spray-Dried in Modified Starches during Encapsulation and Storage. *Food Chem.*, 55, 3027-3036.
4. Barbosa, M. I. M. J., Borsarelli, C. D., and Mercadante, A. Z. 2005. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide



- of the volatiles compounds. *Proceedings of the 10th International Drying Symposium*, Krakow, Poland, July 30–August 2 1996 (541–549).
23. Re, M.I. 1998. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*, 16: 1195–1236.
  24. Reineccius, G. A.; Bangs, W. E. 1985. Spray drying of food flavors. in feed concentrations for the retention of artificial flavors. *Perfum. Flavor*. 9, 27-29.
  25. Risch, S. J. and Reineccius, G. A. 1988. Spray-dried orange oil – effect of emulsion size on flavor retention and shelf stability. *ACS Symposium Series*, 370: 67–77.
  26. Risch, S. J. and Reineccius, G. A. 1988. In Flavor Encapsulation; ACS Symposium Series 370; American Chemical Society, Washington, DC.
  27. Rosenberg, M.; Kopelman, I. J. and Talmon, Y. 1990. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Food Chem*. 38: 1288-1294.
  28. Rosenberg, M. and Kopelman, I. J. 1983. Microencapsulation of food ingredients-processes applications and potential. Research in Food Science and Nutrition, *Proceedings of the 6th International Congress of Food Science and Technology*, Dublin; McLaughlin, J. V., McKenna, B. M., Eds.; Boole Press: Dun Laoghaire, Ireland, Vol. 2:142-143.
  29. Rosenberg, M.; Talmon, Y. and Kopelman, I. J. 1984. A new preparation technique for the study of microcapsules by SEM. In *Proceedings of the 8th European Congress of Electron Microscopy*, Budapest, Hungary; Csandy, A., Rohlich, P., Szabó, D., Eds.; Program Committee of the Congress: Budapest, VO~1. , pp 653-654.
  30. Rosenberg, M. and Sheu, T.Y. 1996. Microencapsulation of Volatiles by Spray-Drying in Whey Protein-Based Wall Systems. *Dairy Journal*, 6 : 273-284.
  31. Shahide, F. and Han, X. Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Crit. Rev. in Food Sci. Nutr.* 1993, 33 (6), 501-546.
  32. Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1995. Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. *J Food Sci.* 60(1):98-103.
  33. Sheu, T. Y. and Rosenberg, M. J. 1993. Microencapsulation of volatiles by whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 76(Suppl. 1), 28.
  11. HOGAN, S.A., MCNAMEE, B.F., O'RIORDAN, E.D. and O'SULLIVAN, M. 2001. Microencapsulating Properties of Whey Protein Concentrate. *Food Engineering and Physical Properties*, 66:675-680.
  12. Jafari, S.M., He, T., Bhandari, B. 2007. Encapsulation of nanoparticles of D-limonene by spray drying: Role of emulsifiers and emulsifying techniques. *Drying Technology*, 25: 1079–1089.
  13. Kieckbusch, T. G. 1978. Volatile loss in the nozzle zone in spray drying of liquid foods. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
  14. Kieckbusch, T. G. and King, C. J. 1980. Volatile loss during atomization in spray drying. *AICHE J.*, 26, 718-725.
  15. Kresic, G., Lelas, V., Jambrak, A.R., Herceg, Z. and Brncić, S.R. 2008. Influence of novel food processing technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *J. Food Engineering*, 87 : 64–73.
  16. Krishnan, S., Bhosale, R. and Singhal, R.S. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61: 95–102.
  17. Linares, E., Laree, C. and Popineau, Y. 2001. Freeze- or spray-dried gluten hydrolysates .2. Effect of emulsification process on droplet size and emulsion stability. *Food engineering*, 48:137-146.
  18. Liu, X. D., Atarashi, T., Furuta, T., Yoshii, H., Aishima, S., Ohkawara, M., et al. 2001. Microencapsulation of emulsified hydrophobic flavors by spray drying. *Drying Technology*, 19(7), 1361–1374.
  19. Liu, X. D., Furuta, T., Yoshii, H., and Linko, P. 2000. Retention of emulsified flavor in a single droplet during drying. *Food Science and Technology Research*, 6(4), 335–339.
  20. McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., O'Sullivan, M. 2001. Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Food Chem.* 49, 3385-3388.
  21. Moreau, D.L. and Rosenberg, M. 1996. Oxidative stability of anhydrous milkfat microencapsulated in whey proteins. *J. Food Sci.* 61:39-43.
  22. Re, M. I. and Liu, Y. J. 1996. Microencapsulation by spray drying: Influence of wall systems on the retention

34. Soottitantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., and Linko, P. 2003. Microencapsulation by spray drying: Influence of emulsion size on the retention of volatile compounds. *Journal of Food Science*, 68(7), 2256– 2262.
35. Soottitantawat, 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 and Emerging Technologies*, 6, 107– 114.
36. Soottitantawat, A., Takayam, K., Okamura, K., Muranak, D., Yoshii, H., Furut, T., et al. 2005. Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 163– 170.
37. Trubiano PE. and Lacourse NL. 1988. Emulsion stabilizing starches. Use in flavor encapsulation. In: Risch SJ, Reineccius GA, editors. Flavor Encapsulation. ACS Symposium Series 370. Washington, D.C.: *American Chemical Society*:45-54.
38. Young, S.L., Sarda, X. and Rosenberg, M. 1993. Microencapsulating properties of whey proteins. combination of whey proteins with carbohydrates. *Dairy Science*, 78:2878-2885.
39. Zarkarian, J. A. 1979. Volatile loss in the nozzle zone during spray drying of emulsions. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
40. Zuidam, N. J. and Nedovic, V. A. 2010. Material for encapsulation. In: Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing. Springer, New York.