

اثر یون ها برویژگی های فیزیکی شیمیایی و پایداری امولسیون های تثبیت شده پروتئین های محلول در آب شیر فاطمه شریفی*، اصغر خسرو شاهی اصل**

چکیده :

کاربرد پروتئین های محلول در آب شیر (وی پروتئین ها ۱) به سبب ویژگی های تغذیه ای مواد مغذی موجود در آن و ویژگی های بی همتا و عملکرد ویژه اش به عنوان تثبیت کننده سیستم های روغن در آب با تشکیل یک غشاء محافظتی اطراف قطرات روغن و ممانعت از تجمع آنها در طول هموژنیزاسیون، بعنوان یک افزودنی تغذیه ای و کاربردی در محصولات غذایی روبه افزایش است. باید توجه شود که در عمل همگن کردن، تعداد ذرات چربی و طبیعتا همراه با آن مجموع سطوح این ذرات بسیار افزایش پیدا می کند. چنانچه عوامل امولسیون کننده در سطوح ذرات جدید قرار نگیرند، بسیاری از این ذرات مجددا به یکدیگر متصل می شوند و عمل همگن کردن را بی ثمر می سازند. امادراین جریان پروتئین نیز شکسته شده و به این وسیله می توانند سطوح جدید ذرات چربی را بپوشانند و پیوند میان آنها و مولکولهای آب را برای تشکیل یک امولسیون پایدار بوجود آورند. بنابراین در این مطالعه ما به بررسی اثر دو یون دو ظرفیتی (Ca^{+2} ، Cu^{+2}) و یون تک ظرفیتی (K^{+1} ، Cl^{-1}) برویژگی های فیزیکی شیمیایی امولسیون روغن در آب، حاوی روغن در فاز آبی به همراه وی پروتئین تغلیظ شده، می پردازیم. نتایج این مطالعات نشان می دهند که یون های K^{+} و Cl^{-} در امولسیون های پروتئین های محلول در آب شیر، یون های بی تفاوتی هستند؛ در غیاب KCl محدوده مقادیر PH که امولسیون تمایل به تشکیل لایه خامه دارد، 4.5-5.5 است. در حالی که با افزایش غلظت kcl به 10mM- این محدوده به $PH < 6 < 4$ گسترش می یابد. هم چنین این مطالعات نشان می دهد که در صورت استفاده از $CuCl_2$ در امولسیون های وی پروتئینی استفاده از غلظت هایی کمتر از غلظت بحرانی-30 μM لازم است. نتایج حاصل از آزمون افزودن $CaCl_2$ نیز نشان می دهد که با افزودن کلرید کلسیم در طول امولسیفیکاسیون، میانگین اندازه ذرات و سطح پروتئین افزایش و پایداری در برابر خامه ای شدن کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: پروتئین های محلول در آب شیر، امولسیون پایدار روغن در آب، تشکیل تجمعات رسوبی "Aggregation"، تشکیل لایه خامه "Creaming"

مقدمه :

وی پروتئین ها یا همان پروتئین های محلول در آب شیر حدود ۳۰۰۰ سال پیش کشف شد. بخشی از آنچه که باعث ارزشمندی آن گردید کاربرد آن بعنوان محصولی دارویی در قرن های ۱۷ و ۱۸ میلادی بود.

آب پنیر در ابتدا از فاضلاب کارخانجات لبنی تشخیص داده شد، بنابراین ارزان ترین فاضلاب شناخته گردید. مقایسه ای بین آنالیز تقریبی شیر گاو و وی پروتئین ارائه شده است. این آنالیز نشان می دهد که حدود ۵۰٪ مواد جامد شیر در وی ظاهر شده به علاوه ۱۰۰٪ لاکتوز و حدود ۲۰٪ پروتئین در این گروه قرار می گیرند. هم چنین این محصول جانبی منبع عالی از پروتئین ها و پپتیدهای کاربردی، چربی ها، ویتامین ها، مواد معدنی و لاکتوز است. (جدول یک)

از سوی دیگر آب پنیر حاوی یک سری از پروتئین ها و پپتیدهای با عملکرد بیولوژیکی چندگانه است. این قابلیت ها را می توان شامل، سلامت قلب و عروق، مدیریت وزن و سیری، عملکرد فیزیکی برگشت به حالت اولیه ماهیچه ها بعد از ورزش و ممانعت از تحلیل آنها، تاثیرات ضد سرطانی، محافظت از جراحات و ترمیم آنها، مدیریت بهبود عفونت ها، کاربرد جهت تغذیه و تولید مواد غذایی ویژه کودکان، تامین سلامت و تندرستی کهنسالان دانست.

آب پنیر از جمله پروتئین های باکیفیت بالاست که همه ی آمینو اسیدهای لازم برای رشد ماهیچه ها و حفاظت از آن را در بر دارد. چراکه از نظر ترکیب آمینو اسیدها مشابه با آن می باشد. دارای قابلیت هضم بالا حدود ۹۵٪ و قابلیت جذب سریع است. هم چنین حاوی مقادیر بالایی از ۲ BCAA بویژه لوسین است. در حضور این آمینو اسیدها سنتز پروتئین افزایش می یابد و تنظیم کننده ژن های موثر در مرحله اول سنتز پروتئین است. شواهد نشان می دهد که پروتئین ها و پپتیدهای ویژه آب پنیر دارای یک پتانسیل بالقوه از نظر تاثیرات ضد سرطانی در مقابل برخی تومورهای خاص می باشد. (جدول دو)

برخی مطالعات در این زمینه نشان می دهد که لاکتوفیرین تاثیر زیادی بر افزایش رشد استخوان از طریق تحریک رشد استئوبلاست ها و بازسازی از عملکرد اوستئوکلاست ها دارد. این تحقیق می تواند بستری جهت اتخاذ رژیم هایی در جهت ممانعت از پوکی استخوان گردد.

مواد معدنی بسته به ظرفیت پیوندی، اندازه و غلظتشان در محیط، اثرات متفاوتی بر پایداری امولسیون ها دارند. مواد معدنی قدرت یونی فاز آبی را افزایش داده و دافعه الکتروستاتیک بین قطرات را کاهش می دهند و همین امر موجب بهبود تفکیک فاز می گردد.

برخی از مواد معدنی با اتصال به گروه های با بار مخالف در سطح قطرات امولسیون، مقدار پتانسیل زتای ۳ آنها و در نتیجه دافعه الکتروستاتیکی بین قطره ها را کاهش می دهند.

1- Whey Protein

2- Branched-Chain Amino Acid

3- Zetta potential

*- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

**- استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه

مطالعات انجام شده برتاثیر مواد معدنی بر مقاومت سیستم های کلونیدی، وابستگی آن را به ظرفیت یونی، حلالیت، نوع نمک، کاهش دافعه الکتروستاتیکی بوسیله دافعه لایه مضاعف یعنی کاهش ضخامت لایه مضاعف و جذب ویژه یون، اثبات می کند.

بر اساس این تئوری، آگاهی از پتانسیل اطراف ذرات بویژه پتانسیل زتا به منظور تعیین پتانسیل سوسپانسیون کلونیدی و تاثیر یون ها بر این ویژگی های الکتریکی لازم به نظر می رسد. ویژگی های امولسیون های تثبیت شده پروتئینی مثل ظاهر، رئولوژی و پایداری، تحت تاثیر چندین عامل قرار می گیرند. قدرت یونی و PH، طبیعت برهم کنش های بین قطره ای و چگونگی تاثیر این برهم کنش ها بر شرایط محیطی و تاثیر پذیری آنها از محیط، از مهم ترین عوامل موثر بر تعیین مقاومت اینگونه امولسیون هاست. بسیاری از امولسیون های غذایی مانند فرمولاسیون غذاهای فوری، غذای کودک، نوشیدنی های ورزشی و نوشابه ها بامواد معدنی غنی شده و تکمیل می شوند. بنابراین درک اثر این موادمعدنی بر پایداری امولسیون ها و تعیین شرایط بهینه برای فرآوری و تولید این محصولات، لازم به نظر می رسد.

بررسی اولیه امولسیون ها

عموما امولسیون را تحت عنوان یک دیسپرسیون کلونیدی ذرات مایع در یک فاز مایع دیگر بیان می کنند، اما حقیقت آن است که این سیستمها از پیچیدگی بیشتری برخوردار هستند. بر این اساس به دو روش می توان فرآیند شکسته شدن یک امولسیون را به تعویق انداخت. استفاده از عملیات مکانیکی برای کنترل ابعاد ذرات پراکنده شده و اضافه نمودن افزودنی های شیمیایی پایدارکننده مانند امولسیفایر ها و پلیمرهای دارای وزن مولکولی پائین جهت حفظ پراکندگی ذرات. در همین راستا یک مولکول پروتئین می تواند به طرق مختلف با دیگر مولکولها و سطوح واکنش دهد. علت این ویژگی پیچیدگی سطح مولکول پروتئین است که دارای بارهای مثبت و منفی، گروه هایی با قابلیت ایجاد پیوند هیدروژنی و بخش های بدون بار است. بنابراین ممکن است، نیروهای سطحی و بین مولکولی به واسطه واکنش های الکتروستاتیک، نیروهای هیدراسیون، واکنش های اسید- باز، پیوندهای هیدروژنی و نیروهای واندرالس، ایجاد شوند. غالبا واکنش های آگریز یونی به همراه افزایش آنتروپی حاصل از تغییرات ساختمان فضایی به عنوان نیروی جذبی و دفعی پروتئین ها در نظر گرفته می شود. هم چنین جهت گیری پروتئین ممکن است، ویژگی های بین سطحی آن را تحت تاثیر قرار دهد. اما به این نکته باید توجه شود که به سادگی نمی توان رفتار پروتئین ها را در سطوح مشترک توجیه کرد چراکه اندازه، شکل، انعطاف پذیری و حساسیت آنها با تغییر شرایط محلول ها و ویژگی های سطوح مشترک متفاوت خواهد بود.

۱- تاثیر بر تجمع قطرات

به منظور محاسبه توزیع اندازه ذرات از تکنیک پراکنش نور می توان استفاده نمود. در این روش امولسیون در سل مخصوص دستگاه بصورت مستقیم ریخته شده و در طول محاسبه به آرامی هم زده می شود. محاسبات با اعمال ضریب شکست نسبی هر یک از نمونه ها و بانسبت d_{32} اصولا گزارش می شود.

$$D_{32} = \frac{D_{30}^3}{D_{20}^2} = \frac{\sum N_i \delta_i^3}{\sum N_i \delta_i^2}$$

الف) تاثیر یون کلسیم بر تجمع

جهت تعیین تاثیر این یون ها بر امولسیون های تثبیت شده وی پروتئینی، نمونه ها با دو مقدار متفاوت 0.5% و 3% از WPC و افزودن 20mM قبل یا بعد از تشکیل امولسیون $CaCl_2$ ، با و بدون 200mM از NaCl آماده سازی شدند. نتایج نشان می دهد که میانگین اندازه ذرات در امولسیون های 0.5% WPC₂، با افزایش غلظت کلرید کلسیم از 0 تا 3 میلی مول قبل از امولسیفیکاسیون، به تدریج افزایش می یابد و در صورت افزایش غلظت کلسیم در مقادیر بالاتر از 3 میلی مول این افزایش اندازه کاملا مشهود است. در این نمونه مشاهده گردید که توزیع اندازه ذرات به مقدار اولیه امولسیون شاهد بازنگشت که نشان دهنده بروز هر دو پدیده فلوکولاسیون^۳ و کوآلسنس^۴، در امولسیون است.

افزایش کلرید کلسیم بعد از امولسیفیکاسیون نیز نموداری دویپکی ایجاد می نماید. در واقع می توان گفت که اندازه قطراتی که در محدوده اندازه قطرات در محدوده اندازه های اصلی بوده کاهش و مترادف با آن اندازه ذرات نسبتاً بزرگ افزایش یافته اند. هم چنین در امولسیون های 3% WPC، با افزایش غلظت کلرید کلسیم از 0 تا 10 میلی مول در حین تشکیل امولسیون، اندازه ذرات به تدریج افزایش یافت، اما در غلظت های بالاتر این افزایش کاملاً مشهود بود. افزودن 200mM از NaCl، به امولسیون های حاوی 18 تا 20 کلرید کلسیم اندازه ذرات را کاهش داد. این امر نشان می دهد که کلرید سدیم می تواند بخشی از قطرات تجمع یافته را تفکیک نماید.

بروز پدیده کوآلسنس مجدد قطرات کوچک بعد از هموژنیزاسیون می تواند به دلیل دافعه استری ذرات بزرگ پروتئینی که قبلاً جذب سطح شده اند و هم چنین پیوند یون کلسیم با α -لاکتالومین و β -لاکتوگلوبولین شامل گروه های کربوکسیل آزاد اسپاراتیک اسید و گلوتامیک اسید در نتیجه کاهش ظرفیت امولسیفایری آنها باشد.

عدم توانایی پروتئین در پوشاندن سطوح جدید قطرات روغن تشکیل شده در طی هموژنیزاسیون و رسیدن به پائین ترین سطح انرژی، به هم پیوستن قطرات کوچکتر که دارای سطح انرژی بالایی هستند درون قطرات بزرگتر و تشکیل پل های بین پروتئینی در فواصلی که هیچ مانعی برای ایجاد تماس از نظر نیروهای دافعه ای وجود ندارد، از سایر علل بروز این پدیده می تواند باشد. نتایج نشان می دهد، زمانی که کلرید کلسیم در طول امولسیفیکاسیون به نمونه اضافه می گردد به علت تحریک در اثر دما یا فشار ساختار چین خورده α -لاکتالومین و β -لاکتوگلوبولین از هم باز شده در نتیجه گروه های کربوکسیل آزاد در سطح قرار گرفته و این گونه با افزایش پیوند با کلسیم ژلاتینه شدن پروتئین های وی ۱ و تجمع قطرات ۲ تحریک می گردد. قرار گرفتن صفحات باز شده α -لاکتالومین و β -لاکتوگلوبولین در سطح و در نتیجه تغییر شکل پیوند Pr-Ca-Pr و تشکیل پیوند عرضی پروتئینی میان قطرات پوشش یافته و کاهش نیروهای واندروالس و برهم کنش های هیدروفوبیک موجود در سطح مولکول پروتئین و در نتیجه، باز شدن ساختار سوم جهت پوشش دادن حد فاصل دوفاز و کاهش کشش بینابینی جهت تثبیت امولسیون در غلظت های پائین وی پروتئین می گردد.

ب) تاثیر یون مس بر تجمع

در نمونه های دیگر مقادیر متفاوتی از $CuCl_2$ به امولسیون ها اضافه گردید. بسته به توزیع اندازه ذرات و میانگین قطر قطرات نوع تاثیر با افزایش غلظت $CuCl_2$ متفاوت بود. مشاهده می شود که در مقادیر کمتر از 20 میکرو مول کلرید مس تغییر کمی در توزیع اندازه ذرات وجود دارد، اما در غلظت های بالاتر ذرات بزرگتر مشاهده شدند که نشان دهنده گسترش تجمع قطرات است.

داده ها نشان می دهد که برای امولسیون های حاوی غلظت های پائین $CuCl_2 < 30 \mu M$ با گذشت زمان افزایش قطر ذرات بصورت تدریجی بوده اما برای امولسیون های حاوی غلظت های بالاتر افزایش قابل ملاحظه ای در قطر ذرات قابل مشاهده است. نتایج هم چنین نشان می دهد که با افزایش غلظت یون های مس، راندمان برخورد میان ذرات نیز افزایش یافته که به علت کاهش سد انرژی در اثر دافعه الکتروستاتیکی است. نسبت تجمع قطرات را می توان با استفاده از تئوری Smoluchowski تخمین زد.

$$n_0: \text{تعداد اولیه ذرات بر واحد حجم} \quad n: \text{تعداد ذرات بر واحد حجم} \quad (3\Phi/k\pi^3) \quad K: \text{ثابت سرعت مرتبه دوم} \quad (8kT/3\mu) \\ \mu: \text{ویسکوزیته فاز پیوسته} \quad t: \text{زمان}$$

$$n = \frac{n_0}{1 + 1/2 kn_0 t}$$

ج) تاثیر یون پتاسیم بر تجمع

برای بررسی اثر این یون ها تاثیر PH را نیز باید مدنظر قرار داد. برای این منظور سه امولسیون حاوی 0, 15, 100 mM از KCl تهیه شدند. نتایج آزمون هیچ گونه تغییری در اندازه ذرات نمونه شاهد در PH های مورد مطالعه به جز زمانی که PH امولسیون به نقطه ایزوالکتریک نزدیک می شود، را نشان نداد.

در حضور 15mM KCl تشکیل تجمع قطرات در PH=4.5-5-5.5 مشاهده گردید در حالی که در PH های دورتر از نقطه ایزوالکتریک (PH=3.5-7) هیچ گونه تغییری مشاهده نگردید. افزودن KCl به امولسیون های با PH=6 نمودار توزیع اندازه ذرات را اصلاح کرده و بصورت دویپکی مشاهده گردید. علاوه بر این افزایش غلظت نمک به بالای 100mM توزیع اندازه ذرات در همه محدوده های PH اصلاح شد مگر زمانی که PH=2.5-3 که ثابت باقی ماند. در این PH ها قطرات ماکسیمم بار مثبت سطحی را دارا بوده و دافعه الکتروستاتیکی بین قطرات جهت ممانعت از بروز تجمع به اندازه کافی قوی بود.

این نکته قابل ذکر است که در نقطه ایزوالکتریک تعداد گروه های بابر منفی به تعادل با بارهای مثبت رسیده و نهایتاً پتانسیل زتای وی پروتئین به صفر می رسد. در این شرایط دافعه الکتروستاتیک بین قطرات به اندازه کافی قوی بوده تا در مقابل برهم کنش های کششی غلبه نمایند. افزودن KCl تشکیل قابل توجهی از تجمع قطرات را تحریک کرده و منجر به تغییر مکان در اندازه پراکندگی ذرات می گردد.

باتوجه به نتایج چنین به نظر می رسد که در امولسیون شاهد، تجمع ذرات در PH= 5-5.5 در بالاترین حد خود بوده و با افزایش غلظت KCl، در محدوده وسیعی از PH های پایدار بوده و تنها در مقادیر بالای آن هریک از امولسیون ها ناپایدار می باشند. مهم ترین دلیل احتمالی برای این تاثیر آن است که هم زمان با افزایش قدرت یونی، دافعه الکتروستاتیک بین قطره ها تدریجاً بوسیله یون های مخالف (Cl^- و K^+) سد می شود. مطابق با حد متوسط اندازه قطرات در PH های مختلف بهترین PH برای افزودن KCl بدون تغییر زیاد در توزیع اندازه قطرات 6 می باشد.

۲- تاثیر این یون ها بر تشکیل خامه ۱

همان گونه که می دانیم قطرات روغن نسبت به فاز آبی اطرافشان دانسیته پائین تری داشته بنابراین تمایل دارند که در طول ذخیره سازی به سمت سطح حرکت کرده و تشکیل لایه خامه ای دهند. مشاهده و پیگیری خامه ای شدن به کمک یک اسپکتروفوتومتر و با اندازه گیری انتقال و بازگشت نور تک رنگ با طول موج $\lambda = 540 \text{ nm}$ از نمونه شاهد و نمونه های امولسیونی ذخیره شده در دمای اتاق صورت می گیرد.

در یک امولسیون رقیق حاوی ذرات کروی سرعت تشکیل خامه V از قانون استوک قابل محاسبه است.
 ρ : دانسیته (I فاز پیوسته و 2 فاز پراکنده) μ : ویسکوزیته

$$V = \frac{2gr^2(\rho_2 - \rho_1)}{9\mu}$$

این قانون نشان می دهد که با افزایش اندازه ذرات، سرعت تشکیل خامه افزایش می یابد.

الف) تاثیر یون کلسیم بر خامه ای شدن

پایداری در مقابل تشکیل لایه خامه ای در امولسیون های حاوی 0.5% WPC با افزودن 5mM کلرید کلسیم در طول امولسیفیکاسیون، به تدریج از 60% به 20% کاهش می یابد. در امولسیون های آماده شده با 3% WPC، پایداری در غلظت های کمتر از 15mM به تدریج کاهش یافت اما کاهش قابل توجهی از 70 به 7 در $CaCl_2$ 20mM مشاهده می شود. این نتایج نشان می دهد که تغییر در پایداری در مقابل تشکیل خامه در اینگونه امولسیون ها با افزودن کلرید کلسیم وابسته به اندازه ذرات آنها تحت شرایط بیان شده دارد.

افزایش اندازه ذرات ناشی از کوآلسنس و فلوکولاسیون القا شده توسط یون کلسیم، منجر به کاهش مقاومت در مقابل تشکیل خامه می شود. اما پایداری در مقابل تشکیل لایه خامه ای در امولسیون های حاوی 0.5% WPC با افزودن کلرید کلسیم 3mM بعد از تشکیل امولسیون، به تدریج از 60% به 40% کاهش یافت و در غلظت های بالاتر این روند رو به کاهش آرام شده تا جایی که مقاومت خامه ای ثابت باقی می ماند، با وجود اینکه اندازه ذرات هنوز رو به افزایش است.

این مورد نشان می دهد پایداری امولسیون در مقابل تشکیل خامه کاملاً وابسته به اندازه ذرات تجمع یافته نیست و دلالت بر وجود مکانیسم های مختلفی بین کلرید کلسیم افزوده شده به محلول و پروتئین در طول امولسیفیکاسیون و یابعد از آن دارد. در امولسیون های آماده شده با 3% WPC، افزودن کلرید کلسیم به امولسیون بعد از آماده سازی، تاثیر مهم و معنی داری بر پایداری امولسیون ها نداشت. افزودن NaCl نیز به هر دو نوع امولسیون حاوی WPC و $CaCl_2$ تاثیر قابل توجهی بر پایداری سیستم در مقابل تشکیل لایه خامه نداشت. فلوکولاسیون قطرات باعث افزایش مشخص در سرعت تشکیل خامه توسط قطرات در امولسیون می گردد.

فلوکولاسیون قطرات باعث افزایش مشخص در سرعت تشکیل خامه توسط قطرات در امولسیون می گردد. در غلظت های نسبتاً پائین $CuCl_2$ (کمتر از $30\mu M$) قطرات نسبتاً در مقابل تشکیل خامه در طی یک دوره 24 ساعته پایدار بودند. یعنی اینکه تغییر کمی در عبور نور نسبت به امولسیون استاندارد محاسبه شده در لحظه صفر داشت. اما در غلظت های بالاتر گسترش تشکیل لایه خامه کاملاً قابل مشاهده بود و میزان عبور نور در امولسیون بطور محسوس افزایش یافت. به علت حرکت اکثر قطرات به سطح امولسیون و کاهش موادمعلق درون امولسیون، پراکنش کمتری در نور عبوری وجود خواهد داشت. برصد کردن تشکیل خامه جزئیات بیشتری از اطلاعات مربوط به فرآیندهای رخ داده در امولسیونها به ما می دهد. نتایج مشاهدات نشان می دهد که کاهش مشخصی در عبور نور از عرض نمونه در ابتدای ذخیره سازی در مقایسه با استاندارد رانسان می دهد. بیشترین دلیل احتمالی برای این پدیده می تواند مربوط به افزایش فلوکوله شدن ذرات باشد. هم چنین کاهش پراکنش نور و افزایش عبور نور در قسمت پائینی نمونه ها که می تواند این افزایش عبور نور را با حرکت فلاک ها به سمت سطح امولسیون توجیه کرد.

ج) تاثیر یون پتاسیم بر خامه ای شدن

در غیاب KCl، امولسیون ها در PH های نزدیک نقطه ایزوالکتریک وی پروتئین ها به شدت در مقابل تشکیل خامه ناپایدار بودند. اثر افزودن KCl به محیط تابع PH محیط بود. چنان که در غلظت $KCl = 10mM$ و بالاتر، خامه ای شدن در PH 5.5 = مشاهده شد در حالی که امولسیون های حاوی همین مقدار کلرید پتاسیم در $PH = 6$ نسبت به خامه ای شدن پایدار بودند. این نتایج تاثیرات مهم و مشخص KCl را بر افزایش زمان مقاومت امولسیون های تثبیت شده پروتئینی در PH های مختلف را نشان می دهد، که می تواند اطلاعات مهمی را برای فرمولاسیون محصولات بر پایه امولسیون های غنی شده با پتاسیم با مدت ماندگاری بالاتر بر داشته باشد.

هم چنین نتایج این مطالعات نشان می دهند که یون های K^+ و Cl^- در امولسیون های پروتئین های محلول در آب شیر، یون های بی تفاوتی هستند؛ چرا که افزایش قدرت یونی نقطه ایزوالکتریک وی پروتئین ها را تغییر نمی دهد. بنابر این القای پتانسیل زتا با افزایش قدرت یونی تنها بوسیله برهم کنشهای الکتریکی لایه مضاعف اطراف قطرات باردار ایجاد می گردد. هم چنین مشاهده می شود که خامه ای شدن قطرات این امولسیون ها ارتباط قوی با PH و غلظت کلرید پتاسیم دارد. در غیاب KCl محدوده مقادیر PH که امولسیون تمایل به تشکیل لایه خامه دارد 4.5-5.5 است در حالی که با افزایش غلظت KCl به 10mM این محدوده به $4 < PH < 6$ گسترش می یابد.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج ارائه شده، پیشنهاد می گردد که جهت تهیه مواد غذایی غنی از پتاسیم که حاوی پروتئین های محلول در آب شیر نیز هستند، جهت تولید یک امولسیون پایدار در مقابل خامه ای شدن، PH محصول در کمتر از 4 و یا بیشتر از 6 تنظیم گردد. در این شرایط امولسیون ما حتی در مقادیر 100mM نیز پایدار خواهد بود.

هم چنین این مطالعات نشان می دهد که در صورت استفاده از کلرید مس در امولسیون های وی پروتئینی کاربردی در محصولات غذایی، جهت تولید یک امولسیون پایدار در برابر فلوکولاسیون، استفاده از غلظت هایی کمتر از غلظت بحرانی $30\mu M$ لازم است. استفاده از غلظت های بالاتر در صورتی امکان پذیر است که بتوان از سایر ترکیبات شلاته کننده یون مس در فاز آبی استفاده کرد و یا آنکه امکان استفاده از یک سورفکتانت کاتیونی یا غیر یونی دیگر جهت محافظت ساختار پروتئین فراهم باشد. این امکان وجود دارد که غلظت بحرانی فلوکولاسیون در غلظت های بالاتر قطرات، افزایش یابد؛ چرا که یون های مس روی تعداد بیشتری از قطرات پخش شده و در نتیجه کاهش پتانسیل زتا در نتیجه پیوندهای یونی برای هر قطره منفرد کاهش یابد.

نتایج حاصل از آزمون افزودن کلرید کلسیم نیز نشان می دهد که با افزودن آن در طول امولسیفیکاسیون، میانگین اندازه ذرات و سطح پروتئین افزایش و پایداری در برابر خامه ای شدن کاهش می یابد. از سوی دیگر امولسیون های تهیه شده با 3% WPC کمتر تحت تاثیر افزودن یون کلسیم قرار می گیرد. باند های کلسیمی تجمع قطرات را تحریک کرده و منجر به کاهش ظرفیت امولسیفایری پروتئین آب پنیر می گردد، که در نتیجه کوآلسنس قطرات کوچک رخ خواهد داد.

1-Transmittance

غلظت های بالای یون کلسیم منجر به تشکیل پل های بین پروتئینی بین قطرات فلوکوله شده در طول امولسیفیکاسیون می گردد. افزودن یون کلسیم بعد از تشکیل امولسیون و در حضور مقادیر بیشتر WPC اثر چندانی بر تشکیل تجمعات و در نتیجه ناپایداری امولسیون، ندارد. در صورت استفاده از کلرید کلسیم در این امولسیون ها لازم است که نمونه ها با مقادیر بالاتر وی پروتئین و مقادیر کمتر کلرید کلسیم تهیه شده و ضمناً افزودن الکترولیت بعد از تشکیل امولسیون صورت گیرد.

تشکر و قدردانی :

با سپاس فراوان از جناب پروفسور خسرو شاهی استاد محترم گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه ارومیه، که چگونگی حرکت در مسیر علم آموزی و پیشرفت را به من آموخت .

جدول یک

Component	Content (% w/v)	
	Milk	Whey
Casein protein	2.8	< 0.1
Whey protein ^b	0.7	0.7
Fat	3.7	0.1
Ash	0.7	0.5
Lactose	4.9	4.9
Total solids	12.8	6.3

آنالیز تقریبی شیر گاو و پروتئین های محلول در آب شیر

جدول دو

Protein	Content (mgL ⁻¹)
Lactoferrin	50- 70
Lactoperoxidase	8- 20
Immunoglobulins	300-600
Growth factors ^a	< 0.06
IGF-I	< 0.001
IGF-II	< 0.001
PDGF	< 0.0002
TGF- β	< 0.01
FGF	< 0.0001
Betacellulin	< 0.002

محتوای پروتئین های زیست فعال کم مقدار در آب پنیر

منابع :

- A.A.kulmyrzaev,H.Schubert (2003).Influence of KCl on the physicochemical prpperties of whey protein stabilized emulsions.Food Hydrocolloids.
- Das,K.P.,&Kinsella,J.E. (1990). Stability of food emulsions:Physicichemical role of protein and non-protein emulsifier.Advances in Food and Nutrition Research.

- Demetriades, K., Coupland, J. N., & McClements, D. J. (1997a). Physical properties of whey protein stabilized emulsion as affected by heating and ionic strength. *Journal of food science*.
- Demetriades, K., Coupland, J. N., & McClements, D. J. (1997a). Physical properties of whey protein stabilized emulsion as related to PH and NaCl. *Journal of food science*.
- Doxastakis, G. (1989). Milk Proteins. *Food Emulsifiers*
- Huffman, L. M. (1996). Processing whey protein for use as a food ingredient. *Food technology*
- Kulmyrzaev, A., Silvestre, M. P. C., & McClements, D. J. (2000) Rheology and stability of whey protein stabilized emulsions with high CaCl₂ concentrations. *Food Research International*.
- Silvestre, M. P. S., Decker, E. A., & McClements, D. J. (1999) Influence of copper on the stability of whey protein stabilized emulsions. *Food Hydrocolloids*.
- Ye, H. Singh. (2000). Influence of Calcium Chloride addition on the properties of emulsions stabilized by whey protein concentrate. *Food Hydrocolloids*