تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۱۸/ شماره ٦٦/ بهار و تابستان ۱۳۹۸/ ص ۱۱٤-۱۰۱

اثر افزودن برخی ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایری و املاح بر خصوصیات حل پذیری و ریزساختار شیر خشک بدون چربی

محمدحسین رجایی[۱]، محمد دانشی[۲]* و حسین واعظی[۳]

۱ و ۲- به‌ترتیب: دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه صنایع غذایی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

۳- استادیار گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، میبد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۳۱

چکیده

خواص فیزیکی و عملکردی شیر خشک در بازسازی یا استفاده از آن در فرمولاسیون فراورده‌های غذایی مختلف اهمیت خاصی دارد. فرآیند بازآبدار شدن ضعیف شیر خشک بدون چربی مشکلاتی در اختلاط یکنواخت به وجود می‌آورد و تأثیر نامطلوبی بر خواص عملکردی آن می‌گذارد. در این پژوهش، به منظور بهبود خواص بازآبدار شدن، از چند ترکیب امولسیفایری، کلاته کننده و املاح به‌طور همزمان استفاده شد: لسیتین و توئین ۸۰ به ترتیب به مقدار ۱ و ۰/۱ درصد به عنوان امولسیفایر، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید و سدیم سیترات دو آبه به عنوان ترکیبات کلاته کننده هر یک به میزان ۵ میلی مولار و کلرید سدیم و کلرید کلسیم به ترتیب به میزان ۰/۰۸ و ۰/۰۱ درصد به عنوان املاح. این ترکیبات به شیر تغلیظ شدهٔ بدون چربی اضافه و محصول با خشک کن پاششی خشک گردید. نتایج حاصل نشان داد که توئین ۸۰، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید و کلرید کلسیم نسبت به سایر ترکیبات استفاده شده اثر بیشتری در بهبود خصوصیات بازآبدار شدن شیر خشک دارند که از بین آنها توئین ۸۰ و کلرید کلسیم یکنواختی بیشتری در ریزساختار شیر خشک موجب شده‌اند. به طور کلی، نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌کند که ترکیبی از توئین ۸۰، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید و کلرید کلسیم برای دستیابی به خصوصیات بازآبدار شدن و ریزساختار بهتر شیر خشک ضروری است.

واژه‌های کلیدی

اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، بافت، خصوصیات بازآبدار شدن، سدیم سیترات

مقدمه

شیر تازه ترکیب غذایی کامل و منبعی مهم برای تغذیه است، اما اگر به شیوهٔ صحیح نگهداری نشود می‌تواند فاسد شود. تغلیظ شیر و تبدیل آن به شیر خشک هزینه‌های ذخیره‌سازی و حمل و نقل را پایین می‌آورد و فعالیت آبی را کاهش می‌دهد که در نتیجهٔ آن مقاومت بیشتری در برابر فعالیت‌های میکروبی و تغییرات شیمیایی ایجاد می‌شود (Tan, 2016). کیفیت شیر خشک به خصوصیات فیزیکی، عملکردی، بیوشیمیایی، میکروبی و حسی آن وابسته است. به طور عمده، دو خصوصیت فیزیکی و عملکردی پودر شیر خشک در بازسازی و استفاده از آن در فرمولاسیون انواع مواد غذایی مهم هستند. شاک (Schuck, 2011) می‌گوید اهمیت سهولت بازسازی شیر خشک در مواردی مانند فرمولاسیون نوشیدنی‌ها، تولید شیر بازساخته، افزایش مادهٔ

*نگارنده مسئول: Email:mdaneshi@iauyazd.ac.ir

http://doi: 10.22092/fooder.2018.122982.1166

© 2019,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

خشک شیر و به عنوان یکی از اجزای فرمولاسیون در برخی فراورده‌های غذایی آشکار می‌شود؛ او می‌افزاید بررسی ساختار فیزیکی پودر شیر خشک می‌تواند روشی برای تعیین ترکیبات شیمیایی پخش شده در آن و ارتباط آنها با هم تعریف شود. خصوصیات بازآبدار شدن[1] تحت تأثیر خصوصیات تکنولوژیکی تولید مانند نوع خشک‌کن، نوع سیستم پاشش، میزان فرآیند پیش حرارتی، میزان مواد جامد در کنسانتره، دمای هوای ورودی و خروجی و شرایط نگهداری است. تغییرات برگشت ناپذیر ناشی از فرآیند خشک کردن یا شرایط انبار کردن در شیر خشک، در محصول بازساخته شده باقی می‌ماند. شیر خشک کامل فوری به سرعت حتی بدون هم زدن در آب حل می‌شود، در نتیجه از آن به عنوان شاخصی در فرایند بازسازی پودر شیر با ماهیت یکسان نام می‌برند. وسترگارد (Westergaard, 1983) می‌گوید هدف از فوری سازی، افزایش حل‌پذیری[2] شیر خشک در سوسپانسیون‌های غذایی و آب است. تمیم (Tamime, 2009) می‌گوید روش‌های فوری کردن شیر خشک به دو صورت است: یا در هنگام تولید شیر خشک و همزمان با آن از طریق فرایند توده‌ای شدن[3] و بستر سیال است یا بعد از تولید شیر خشک، از طریق دستگاه فوری کننده[4] و با افزودن رطوبت و امولسیفایر تولید شیر خشک فوری به هر دو روش نیاز به تجهیزات و ماشین آلات پیشرفته و در نتیجه سرمایه گذاری بالا دارد. تان (Tan, 2016) می‌گوید خواص بازآبدار شدن ضعیف می‌تواند بر راندمان فرایند تولید و هزینه‌های عملیاتی تأثیر بگذارد، بنابراین شناخت اهمیت و بهینه کردن خواص بازآبدار شدن و تأثیر آن بر خصوصیات عملکردی محصول نهایی و بهره‌وری تولید، کاری اساسی است.

فرایند بازآبدار شدن شیر خشک عاملی مهم در بازسازی آن با آب است و ترکیبی از چند خصوصیت شامل رطوبت‌پذیری[5]، تعلیق‌پذیری[6]، پخش‌پذیری[7] و حل‌پذیری است. رطوبت پذیری، زمان لازم برای نفوذ پودر به سطح آب و به عبارتی جذب آب و خیس شدن پودر است. تعلیق‌پذیری، توانایی ذرات پودر در غلبه بر کشش سطحی آب و فرو رفتن در آن پس از عبور از سطح است. پخش‌پذیری، توانایی ذرات خیس شدهٔ پودر در توزیع و پخش یکنواخت هنگام مجاورت با آب و حل‌پذیری مقدار مواد حل نشده و رسوب باقی ماندهٔ پودر بعد از اتمام فرآیند بازآبدار شدن است (Schuck, 2011; Tan, 2016). این تحقیق در پی بهتر کردن خصوصیات بازآبدار شدن شیر خشک بدون چربی، بدون استفاده از تجهیزات خاص و با هزینهٔ پایین‌تر است که این امر صرفاً با افزودن برخی ترکیبات مجاز شامل ترکیبات کلاته کننده[8]، املاح و امولسیفایر به شیر بدون چربی صورت می‌پذیرد؛ این ترکیبات با ایجاد تغییر در کشش سطحی و در ساختار میسلی کازئین، خواص بازآبدار شدن شیر خشک بدون چربی را بهبود می‌بخشد و آن را برای کاربردهای صنعتی مناسب می‌سازد. مطالعات سیکاند و همکاران (Sikand *et al.*, 2016) نشان داده است افزودن ترکیبات کلاته کننده در غلظت‌های مختلف سبب افزایش خواص بازآبدار شدن شیر خشک بدون چربی می‌شود. بر اساس یافته‌های حسین و همکاران و هاپرتز و اُکس (Huppertz & Ox, 2006; Hussain *et al.*, 2011; Hussain *et al.*, 2012) مشخص گردید افزودن املاح موجب بهبود خواص بازآبدار شدن پودر پروتئین شیر می‌شود. میلکویست فوربی و اسمیت و لالبیهری و همکاران (Millqvist-Fureby & Smith,

1- Rehydration
2- Solubility
3- Agglomeration
4- Instantizer
5- Wettability
6- Sinkability
7- Dispersibility
8- Chelating agents

2007; Lallbeeharry *et al.*, 2014) در دو تحقیق مختلف دریافتند افزودن امولسیفایر به شیر خشک منجر به افزایش حل‌پذیری و بهبود ریزساختار آن می‌شود. در همهٔ مطالعات محققان تا به حال، تأثیر افزودن ترکیبات کلاته کننده، املاح و امولسیفایرها هر یک به تنهایی برای بهتر کردن خصوصیات بازآبدار شدن و عملکردی شیر خشک بوده است. استفادهٔ همزمان ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایر و املاح و تأثیر هم افزایی آنها در شیر خشک را محققان تاکنون بررسی نکرده‌اند؛ هدف از این تحقیق این است که با افزودن همزمان این ترکیبات به شیر خشک بدون چربی از راه‌هایی که توضیح داده خواهد شد، ویژگی‌های بازآبدار شدن آن بهبود یابد و در ریزساختار و مورفولوژی آن تغییرات مثبت ایجاد شود: تغییر در خصوصیات عملکردی و به هم زدن تعادل مواد معدنی در میسل کازئین با عوامل کلاته کننده که نتیجهٔ آن فروپاشی میسل به ساختارهای کوچک‌تر با جذب آب بیشتر کلاتهاست (Sikand *et al.*, 2011)، تغییر در تعادل مواد معدنی شیر با افزودن املاح (Hussain *et al.*, 2012)، و کاهش تنش سطحی با پوشش دهی گویچه‌های چربی و پروتئین سطح ذرات شیر خشک بدون چربی با اضافه کردن ترکیبات امولسیفایری (Lallbeeharry *et al.*, 2014).

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

شیر تغلیظ شدهٔ بدون چربی با ۴۸/۵ درصد مادهٔ خشک از کارخانهٔ شیر خشک نوزاد پگاه (شهرکرد، ایران) تهیه گردید. مواد شیمیایی مصرفی شامل اتیلن دی آمین تترا استیک اسید[1]، سدیم سیترات دوآبه[2]، لسیتین، توئین ۸۰، سدیم کلرید، کلسیم‌کلرید، دی گلیکول لورات اس و سود N/9 نرمال از شرکت مرک ساخت کشور آلمان تأمین شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

بریکس شیر تغلیظ شدهٔ بدون چربی با افزودن آب مقطر، روی ۲۵ درصد تنظیم گردید. ترکیبات کلاته کننده شامل اتیلن دی آمین تترا استیک اسید و سدیم سیترات دوآبه هر یک به مقدار ۵ میلی‌مولار، امولسیفایر شامل ۱ درصد لسیتین و ۰/۱ درصد توئین ۸۰، و املاح شامل سدیم کلرید به میزان ۰/۰۸ درصد و کلسیم‌کلرید به مقدار ۰/۰۱ درصد در قالب تیمارهای مختلف به شیر مذکور اضافه شد. نمونه‌های آماده شده به مدت ۱۰ ساعت در دمای یخچال نگهداری شدند و پس از همگن‌سازی با هموژنایزر (نوش آرا، مدل MF110، ایران) در فشار ۱۰۰ بار، با دستگاه خشک‌کن پاششی تحقیقاتی (Sophia Zhang، مدل LPG05، چین) در دمای ورودی و خروجی به ترتیب ۱۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و با سرعت اتمایزر ۳۵۰۰RPM در کارخانهٔ شیر پویان مهریز (یزد، ایران) خشک گردیدند. پودرهای تولید شده سپس در داخل کیسه‌های نایلونی مقاوم در برابر نفوذ هوا و رطوبت بسته‌بندی شدند.

بررسی خصوصیات بازآبدار شدن شیر خشک

تعیین رطوبت‌پذیری شیر خشک

طبق دستورالعمل ایزو (ISO/IDF, 34/SC, 2012) رطوبت‌پذیری با اندازه‌گیری مدت زمانی مشخص می‌شود که لازم است مقدار مشخصی از پودر از سطح آب عبور و آب را به طور کامل جذب کند. مقدار ۱۰ گرم از شیر خشک به طور یکنواخت بر سطح بشر حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس پاشیده شد و مدت زمانی که لازم بود تا تمام ذرات شیر خشک از سطح آب عبور

1- EDTA
2- SCD

کننـــد یـــا ذرات باقیمانـــده روی ســـطح آب از نظـــر ظـاهری کـاملاً خـیس شـده باشـند بـه عنـوان نتیجـهٔ آزمـون رطوبـت‌پـذیری تعیـین شـد کـه در ایـن تحقیـق حـداکثر زمـان انجـام آزمـون ۱۵ دقیقـه (۹۰۰ ثانیـه) در نظر گرفته شـد. در مـورد شـیر خشـک‌هـایی کـه در ایـن مدت زمـان، آب را جـذب نکـرده و بـه صـورت تـوده‌هـای خشـک بـر سـطح آب مانـده بودنـد نتیجـهٔ آزمـون بـه صورت بیشتر از ۹۰۰ ثانیه اعلام شد.

تعیین پخش‌پذیری شیر خشک

بـا افـزودن شـیر خشـک بـه آب، پـودر شـیر بـه تـدریج در آب پخـش شـده و غلظـت محلـول افـزایش مـی‌یابـد. بـرای انـدازه‌گیـری میـزان پخـش‌پـذیری، ۲۶ گـرم شـیر خشـک بـدون چربـی بـه طـور یکنواخـت بـر سـطح ۲۵۰ میلـی‌لیتـر آب مقطـر پاشـیده شـد. مخلـوط به آرامی در مـدت زمـانی کوتـاه بـه هـم زده شـد. بعـد از آن، مخلوط حاصل بـا الـک صـاف شـد کـه انـدازهٔ منافـذ آن ۱۵۰ میکـرون بـود. بـا اسـتفاده از رطوبـت سـنج (Sartarius، مـدل MA35، آلمـان)، مـادهٔ خشـک مـایع صاف شده (پرمیت) اندازه‌گیری شد.

طبـق دسـتورالعمل ایـزو (ISO/IDF, 34/SC, 2012) و برابـر توصـیهٔ شـاک و همکـاران (Schuck *et al.*, 2012)، پخـش‌پـذیری مطـابق رابطـهٔ ۱ تعیـین گردید.

$$DI = \frac{(100 + w) \times X_{DM}}{w \times \frac{100 - X_{RW}}{100}} \qquad (۱)$$

که در آن،

DI= پخـش‌پـذیری (درصـد)، X_{DM}= مـادهٔ خشـک مـایع فیلتـر شـده (درصـد وزنـی/ وزنـی)، X_{RW}= رطوبـت شـیر خشـک (درصـد وزنـی/ وزنـی)، w= وزن شـیر خشـک مورد آزمون است.

تعیین حل‌پذیری شیر خشک

آزمـــون انـــدیس حـــل‌پـــذیری روش مرســـوم اندازه‌گیـری حـل‌پـذیری شـیر خشـک اسـت. فرآینـد، بـه طـور کلـی، بـه صـورت بـازسـازی شـیر خشـک بـا آب و سـانتریفوژ کـردن ترکیـب بازسـازی شـده اسـت. انـدیس حل‌پذیری با انـدازه‌گیـری حجـم رسـوب (ترکیبـات حـل نشـده) و بـر حسـب میلـی‌لیتـر تعیـین مـی‌گـردد و از آنجـایی کـه انـدیس حـل‌پـذیری قسـمت حـل‌ناپـذیری شـیر بازسـازی شـده را نشـان مـی‌دهـد، اغلـب اصـطلاح "اندیس حل‌ناپـذیری"[1] بـه آن اطـلاق مـی‌شـود؛ بنـابراین اندیس حـل‌پـذیری بـا مقـادیر بـالا، حـل‌پـذیری کمتـری را نشـان مـی‌دهـد. در ایـن تحقیـق، انـدیس حـل‌پـذیری طبـــق اســـتاندارد ملـــی ایـــران بـــه شـــمارهٔ ۲۰۹۰ انـدازه‌گیـری شـد (ISIRI, 1994). مقـدار ۱۰ گـرم شـیر خشـــک بـــه ۱۰۰ میلـــی‌لیتـــر آب مقطـــر ۲۵ درجـــه سلسـیوس در ظـرف مخصـوص اضـافه و بـه منظـور جلـوگیری از ایجـاد شـدن کـف، ۳ قطـره دی گلیکـول لـورات اس[2] بـه آن اضـافه شـد. محتویـات بـه مـدت ۹۰ ثانیه بـا همـزن آزمایشـگاهی در بـالاترین سـرعت بـا هـم مخلـوط و بعـد از آن بـه مـدت ۱۵ ثانیـه در حالـت سکون باقی گذاشته شد.

نمونـه بـه مـدت ۵ ثانیـه بـا قاشـق کـاملاً مخلـوط و بلافاصـله لولـهٔ مخروطـی سـانتریفوژ تـا نشـانهٔ ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه پـر گردیـد. لولـه بـه مـدت ۵ دقیقـه بـا سـرعت ۹۸۰ دور بـر دقیقـه سـانتریفوژ و مـایع رویـی تخلیـه شـد. مجـدداً ۲۵ میلـی‌لیتـر آب مقطـر بـا دمـای ۲۵ درجـه سلسـیوس بـه لولـه تـا نشـانهٔ ۵۰ میلـی‌لیتـر اضـافه گردیـد و دوبـاره بـا همـان سـرعت بـه مـدت ۵ دقیقـــه ســـانتریفوژ و تخلیـــه کـــردن فـــاز رویـــی تکـرار گردیـد. میـزان رسـوب بـر حسـب میلـی‌لیتـر گزارش شد.

1- Insolubility index

2- Diglycol laurate S

بررسی خصوصیات ریزساختار[1] شیر خشک

در این تحقیق برای بررسی خصوصیات ریزساختار شیر خشک بدون چربی، طبق راهنمایی یزدان پناه و لنگریش (Yazdanpanah & Langrish, 2013) از میکروسکوپ الکترونی روبشی[2] (Phenom، مدل Pro X، هلند) در مقیاس‌های ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ برای تصویر برداری استفاده شد. با توجه به نارسانا بودن نمونه‌ها، قبل از تصویربرداری پوشش نازکی از طلا به ضخامت ۱۰ نانومتر روی نمونه‌ها کشیده شد. بدین منظور از روش کند و پاش[3] و دستگاه کند و پاش (شرکت پوشش‌های نانو ساختار، مدل DS1، ایران) استفاده شد. پوشش دهی طلا به تصویربرداری بهتر نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی[4] کمک می‌کند.

آزمون‌های شیمیایی

آزمون اندازه‌گیری رطوبت:

میزان رطوبت شیر خشک با دستگاه رطوبت‌سنج (Sartorius، آلمان) اندازه‌گیری شد. مطابق با دستورالعمل کوزاسی و همکاران (Kosasih *et al.*, 2016)، ۵ گرم شیر خشک در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد.

آزمون اندازه‌گیری خاکستر:

خاکستر از طریق تعیین خاکستر شیر خشک مطابق با استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۱۷۵۵ با کورهٔ الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت دو ساعت تا رسیدن به خاکستر بدون کربن، اندازه‌گیری و طبق رابطهٔ ۲ محاسبه گردید (ISIRI, 1977).

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

درصد خاکستر= (۲)

[(وزن نمونه اولیه (گرم) / وزن خاکستر (گرم)) ×۱۰۰]

که در آن،

A= مقدار خاکستر (درصد)؛ W_1= وزن خاکستر (گرم)؛ W_2= وزن نمونه اولیه (گرم).

آزمون اندازه‌گیری pH و اسیدیته:

با وارد کردن مستقیم الکترود دستگاه pH متر (PHS-550، چین) به داخل محلول ۱۰ درصد بازسازی شدهٔ شیر خشک، pH نمونه‌ها مطابق استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۲۸۵۲، اندازه‌گیری شد. در این تحقیق اسیدیته با سود N/9 نرمال برحسب درجهٔ دورنیک اندازه‌گیری و گزارش شد (ISIRI, 2006).

طرح آماری

به منظور تجزیه و تحلیل تیمارهای مختلف، از آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی همراه با ۳ تکرار و همچنین به منظور مقایسهٔ میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد. ترکیب و سطوح تیمارهای مختلف مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

نتایج و بحث

مقایسهٔ ویژگی‌های شیمیایی انواع شیر خشک

نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های شیمیایی انواع شیر خشک بدون چربی در جدول ۲ آمده است:

1- Microstructure
2- Scanning electron microscope
3- Sputtering
4- SEM

جدول ۱- ترکیب تیمارها

ترکیبات	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴	تیمار ۵	تیمار ۶	تیمار ۷	تیمار ۸	تیمار ۹ (شاهد)
کلاته کننده	SCD	SCD	EDTA	EDTA	SCD	SCD	EDTA	EDTA	-
نمک	NaCl	$CaCl_2$	NaCl	$CaCl_2$	NaCl	$CaCl_2$	NaCl	$CaCl_2$	-
امولسیفایر	لسیتین	لسیتین	لسیتین	لسیتین	توئین ۸۰	توئین ۸۰	توئین ۸۰	توئین ۸۰	-

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین مشخصات شیمیایی انواع شیر خشک بدون چربی حاوی ترکیبات کلاته کننده، املاح و امولسیفایر

نوع تیمار	pH	اسیدیته (درجه دورنیک)	رطوبت (درصد)	خاکستر (درصد)
۱	۶/۷۸ ±۰/۰۰۵^{a}	۱۴/۷۵ ±۰/۲۵^{c}	۲/۵۵ ±۰/۲۰^{b}	۸/۷۰ ±۰/۰۱^{b}
۲	۶/۷۱±۰/۰۶^{ab}	۱۵/۵۰ ±۰/۵۰^{c}	۲/۱۴ ±۰/۰۵^{cd}	۷/۸۶ ±۰/۰۷^{e}
۳	۶/۲۲ ±۰/۰۳۵^{e}	۲۱/۰۰ ±۰/۵۰^{a}	۳/۰۹ ±۰/۴۸^{a}	۷/۱۵ ±۰/۰۴^{f}
۴	۶/۱۹ ±۰/۰۳۵^{e}	۲۱/۵۰±۱/۰۰^{a}	۳/۱۲ ±۰/۰۷۵^{a}	۷/۸۷ ±۰/۰۳^{e}
۵	۶/۷۰ ±۰/۰۱^{ab}	۱۴/۷۵ ±۰/۲۵^{c}	۲/۲۲ ±۰/۲۱^{c}	۹/۰۶ ±۰/۱۱۵^{a}
۶	۶/۶۷ ±۰/۰۵۵^{bc}	۱۴/۷۵±۰/۲۵^{c}	۲/۲۰ ±۰/۰۸^{c}	۸/۴۹±۰/۰۲^{c}
۷	۶/۳۷ ±۰/۰۶۵^{d}	۱۸/۰۰ ±۱/۰۰^{b}	۲/۰۱ ±۰/۰۱^{b}	۸/۶۲ ±۰/۱۱۲^{b}
۸	۶/۲۵ ±۰/۰۸^{e}	۲۱/۰۰±۱/۰۰^{a}	۱/۹۷ ±۰/۰۱^{a}	۸/۲۹ ±۰/۱۵^{d}
شاهد	۶/۶۰ ±۰/۰۰۵^{c}	۱۲/۷۵ ±۰/۲۵^{d}	۲/۴۱ ±۰/۲۲^{d}	۷/۸۱ ±۰/۰۵^{e}

*در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

در جدول ۲ مشاهده می‌گردد کمترین میزان pH در تیمار شمارهٔ ۴ با مقدار ۶/۱۹ و بالاترین میزان pH در تیمار شمارهٔ ۱ با مقدار ۶/۷۸ دیده می‌شود. نتایج آزمون اندازه‌گیری pH نشان می‌دهد بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این مطالعه، املاح و ترکیبات کلاته کننده، برخلاف ترکیبات امولسیفایری، اثر معنی‌داری بر میزان pH تیمارها داشته‌اند. از بین ترکیبات کلاته کننده، EDTA موجب کاهش و سدیم سیترات دوآبه موجب افزایش مقدار pH در نمونه‌ها شده است. تان (Tan, 2016) می‌گوید به طور کلی EDTA کلاته کننده قوی‌تری نسبت به سدیم سیترات دوآبه است و دلیل آن را ظرفیت اتصال یونی بالا در EDTA می‌داند. اوداجیری و نیکرسون (Odagiri & Nickerson, 1965) مشاهده کردند وقتی EDTA اضافه می‌شود، pHشیر کاهش می‌یابد، احتمالاً به این دلیل که جذب پروتون‌ها توسط یون‌های فسفات با آزادسازی پروتون‌ها، تحت‌الشعاع قرار گرفته است. حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2012) خواص حل‌پذیری پودرهای لبنی با مقدار بالای پروتئین را در محیط‌های یونی بررسی و اعلام کردند با اضافه کردن املاح به شیر، pH به تدریج کاهش می‌یابد. در این تحقیق کلسیم‌کلرید اثر بیشتری نسبت به سدیم کلرید بر کاهش pH داشته است. در جدول ۲

مشخص می‌گردد نمونه‌های دارای EDTA و کلسیم‌کلرید، به همان دلایل ذکر شده در بالا، کمترین میزان pH را داشته‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد بین تیمارها و از جمله تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری از نظر میزان اسیدیته وجود دارد. ترکیبات کلاته کننده در بین تمامی ترکیبات افزوده شده، بیشترین تأثیر را در میزان اسیدیتهٔ نمونه‌ها داشته‌اند و اثر نوع ترکیب کلاته کننده روی اسیدیته معنی‌داری است. اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون با اندازه‌گیری یون‌های هیدروژن محاسبه می‌شود، در کتاب‌های مرجع از ترکیبات کلاته کننده به عنوان تنظیم کننده‌های اسیدیته در فرمولاسیون مواد غذایی یاد می‌شود (Tan, 2016). در این تحقیق، EDTA با یونیزاسیون یون‌های هیدروژن مهم‌ترین عامل افزایش اسیدیته در بین نمونه‌هاست. اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای ۷ و ۸ با توجه به حضور EDTA، به دلیل ممانعت‌کنندگی بیشتر سدیم کلرید، نسبت به کلسیم‌کلرید در افزایش اسیدیته، است. بیشترین میزان رطوبت در تیمار شمارهٔ ۴ به مقدار ۳/۱۲ درصد و کمترین آن در تیمار شمارهٔ ۸ به مقدار ۱/۹۷ درصد است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌های حاوی لسیتین رطوبت بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارند. میلکویست فوربی و اسمیت (Millqvist-Fureby & Smith, 2007) دلیل آن را وجود بخش آب دوست در لسیتین و در پی آن جذب رطوبت بیشتر می‌دانند. لیست (List, 2015) می‌گوید لسیتین به دلیل وجود بخش آب دوست، موجب حفظ رطوبت در محصولات غذایی گوناگون می‌شود. عامل دیگری که در میزان رطوبت شیر خشک بدون چربی اثر معنی‌داری دارد، EDTA است. در همین مورد، تان (Tan, 2016) می‌گوید افزودن ۵ میلی مولار EDTA و ۵ میلی مولار سدیم سیترات دوآبه به شیر قبل از مرحلهٔ خشک کردن، اختلاف معنی‌داری در میزان رطوبت شیر خشک تولیدی ایجاد می‌کند و در این بین شیر خشک حاوی EDTA میزان رطوبت بالاتری دارد که احتمالاً به دلیل پیوند قوی‌تر بین میسل‌های متوسط حاصل از اثر EDTA و آب است. در این تحقیق، تیمارهای ۳ و ۴ به دلیل داشتن لسیتین و EDTA به صورت همزمان، بالاترین میزان رطوبت را در بین تمام تیمارها دارند اما تیمارهای ۷ و ۸ که حاوی EDTA و توئین ۸۰ در ترکیب خود هستند کمترین میزان رطوبت را دارند که دلیل آن را می‌توان اثر ممانعت‌کنندگی توئین ۸۰ بر EDTA در برابر افزایش رطوبت شیر خشک دانست. به طور کلی نتایج تحقیق نشان می‌دهد ترکیبات امولسیفایری بیشترین تأثیر را در مقدار رطوبت انواع نمونه‌های شیر خشک بدون چربی داشته‌اند. در مورد خاکستر، طبق جدول ۲، بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمار ۵ بیشترین میزان خاکستر (۹/۰۶ درصد) و تیمار ۳ کمترین میزان خاکستر (۷/۱۵ درصد) را دارد. نوع امولسیفایر، کلاته کننده و املاح هر یک تغییرات محسوسی روی میزان خاکستر نمونه‌های شیر خشک ایجاد کرده است و در این میان توئین ۸۰ و سدیم کلرید بیشترین تأثیر را بر میزان خاکستر شیر خشک بدون چربی نشان داده‌اند.

مقایسهٔ ویژگی‌های بازآبدار شدن انواع شیر خشک

نتایج به دست آمده از آزمون‌های حل‌پذیری انواع شیر خشک بدون چربی در جدول ۳ آمده است. نوع امولسیفایر در میزان حل‌پذیری شیر خشک‌های تولیدی اثر معنی‌داری ندارد و اثر آنها تقریباً با هم برابر است. کلسیم‌کلرید، نسبت به سدیم کلرید، اثر

بیشتری بر کاهش رسوب و افزایش حل‌پذیری دارد که دلیل این امر همان‌طور که شاک و همکاران (Schuck *et al.*, 2002) اشاره می‌کنند، افزایش تعداد ساختارهای میسلی کازئین در حضور یون کلسیم و در نتیجه کوچک‌تر شدن اندازهٔ میسل‌هاست. در نمونه‌های حاوی سدیم سیترات دوآبه و کلسیم‌کلرید، کاهش رسوب و افزایش حل‌پذیری مشاهده می‌شود اما در نمونه‌های حاوی EDTA، به علت اینکه یون کلسیم بر اثر EDTA کلاته و از دسترس خارج می‌شود و در پی آن اندازهٔ ساختارهای میسلی افزایش می‌یابد، اندیس حل‌ناپذیری افزایش می‌یابد.

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین مشخصات حل‌پذیری انواع شیر خشک بدون چربی حاوی ترکیبات کلاته کننده، املاح و امولسیفایر

تیمار	حل‌پذیری (میلی‌لیتر رسوب باقی‌مانده)	پخش‌پذیری (درصد)	رطوبت پذیری (ثانیه)
۱	۰/۳ ±۰/۱۰^{a}	۷۲/۰۶±۲/۶۰^{e}	۹۰۰±۱۰^{a}
۲	۰/۱۵±۰/۰۱^{b}	۶۱/۰۳ ±۰/۳۶^{f}	۹۰۰ ±۱۵^{a}
۳	۰/۲۵ ±۰/۰۵^{ab}	۷۶/۶۴ ±۶/۴۵^{de}	۶۳۰ ±۲۷^{bc}
۴	۰/۲۵ ±۰/۰۷^{ab}	۷۸/۹۶±۳/۲۰^{cd}	۷۰۵/۶ ±۱۹^{abc}
۵	۰/۲۵ ±۰/۰۵^{ab}	۷۷/۹۵ ±۳/۶۰^{de}	۸۴۰ ±۶^{ab}
۶	۰/۱۵ ±۰/۰۴^{b}	۸۶/۰۹±۱/۶۰^{b}	۹۰۰ ±۲۰^{a}
۷	۰/۲±۰/۰۲^{ab}	۸۸/۹۶ ±۳/۳۰^{ab}	۶۵۳/۹ ±۷^{bc}
۸	/۲۵ ±۰/۰۴^{ab}	۹۳/۳۰±۴/۱۵^{a}	۵۳۱ ±۵^{c}
شاهد	۰/۲±۰/۰۳^{ab}	۸۴/۱۳±۲/۲۰^{bc}	۹۰۰ ±۱۰^{a}

*در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

کلاته‌کننده‌ها از طریق تغییر ترکیبات مواد معدنی موجب تغییر ساختار میسل کازئین می‌شوند. در همین موضوع، سیکاند و همکاران (Sikand *et al.*, 2013) گفته‌اند با افزودن ترکیبات کلاته‌کننده و در نتیجهٔ آن تغییر در تعادل یونی، حل‌پذیری MPC80 بهبود یافته است.

در مورد رطوبت‌پذیری شیر خشک‌های تولیدی، مدت زمان رطوبت‌پذیری بر حسب ثانیه اندازه‌گیری شد. نمونه‌هایی که مدت زمان خیس شدن آنها بیشتر از ۱۵ دقیقه بود، همان زمان ۱۵ دقیقه (۹۰۰ ثانیه) برای آنها در نظر گرفته شد. کوتاه‌ترین مدت زمان خیس شدن (۵۳۱ ثانیه) در تیمار شمارهٔ ۸ دیده می‌شود. در این خصوص لالبیهری و همکاران (Lallbeeharry *et al.*, 2014) گزارش داده‌اند اثر امولسیفایر در مرحلهٔ خشک کردن، نقش کلیدی در تعیین رطوبت‌پذیری شیر خشک دارد زیرا امولسیفایرها با پوشش دهی ذرات سطح شیر، تنش سطحی را با افزایش پیوندهای هیدروفیلیک کاهش می‌دهند. در این تحقیق توئین ۸۰ نسبت به لسیتین به مراتب اثر بیشتری در کاهش مدت زمان

رطوبت‌پذیری شیر خشک نشان داده است. لالبیهری و همکاران (Lallbeeharry *et al.*, 2014) می‌گویند وقتی توئین ۸۰ قبل از مراحل خشک کردن به شیر اضافه می‌گردد، تمایل به جذب در بین اتصال آب– روغن سطح ذرات شیر را دارد و از این رو با پوشش سطح گویچه‌های چربی، پیوندهای هیدروفیلیک را ایجاد می‌کند و در نتیجه از طریق این مکانیسم رطوبت‌پذیری را در ذرات خشک شدهٔ نهایی بهبود می‌بخشد اما لسیتین بر خلاف توئین ۸۰ تمایل به جذب در فاز آب- روغن شیر ندارد و بیشتر تمایل به ترکیب شدن با پروتئین‌های شیر و ایجاد کمپلکس‌های بزرگ دارد. ساختارهای بزرگ تشکیل شده در فرآیند خشک کردن، با گویچه‌های چربی در فاز هوا-آب رقابت می‌کنند و از این‌رو موجب پوشش‌دهی آنها در سطح ذرات خشک شدهٔ نهایی می‌شوند و رطوبت‌پذیری را بهبود می‌بخشند که در مقایسه با توئین ۸۰ اثر کمتری در جذب رطوبت دارد. عوامل کلاته‌کننده با کلاته‌کردن ترکیبات معدنی شیر و تغییر در ساختار میسلی، نقش مهمی در خصوصیات رطوبت‌پذیری شیر خشک دارند. EDTA به طور معنی‌داری مدت زمان خیس شدن را کاهش داده است که دلیل آن کاهش میزان یون کلسیم و در نتیجه افزایش اندازه و خلل و فرج بیشتر در ساختار میسلی است. هرچند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین املاح نیست، اما از لحاظ میانگین اثر کلسیم‌کلرید بیشتر است که این موضوع در تحقیقات حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2012) نیز اشاره شده است. از این‌رو، تیمار شمارهٔ ۸ با داشتن توئین ۸۰، EDTA و کلسیم‌کلرید بهترین رطوبت‌پذیری را بین همه تیمارهای این تحقیق داشته است. پخش‌پذیری شیر خشک‌های تولیدی بین ۶۱/۰۳ درصد (تیمار ۲) تا ۹۳/۳۰ درصد (تیمار ۸) است. توئین ۸۰ بهترین ترکیب از لحاظ آزمون پخش‌پذیری بین نمونه‌های شیر خشک است و نسبت به لسیتین اثر بیشتری در افزایش پخش‌پذیری دارد. با توجه به اهمیت اندازهٔ ذرات در پخش‌پذیری شیر خشک، اندازهٔ ذرات شیر خشک بدون چربی در تیمارهای حاوی توئین ۸۰، نسبت به لسیتین، کاهش یافته است و از همین رو مطابق با نتایج تحقیق لالبیهری و همکاران (Lallbeeharry *et al.*, 2014) پخش‌پذیری بهتری نسبت به تیمارهای حاوی لسیتین دارند. علاوه بر این، عامل کلاته کننده نیز اثر معنی‌داری بر پخش‌پذیری دارد. در این تحقیق، تیمارهای حاوی EDTA پخش‌پذیری بیشتری نسبت به سدیم سیترات دوآبه نشان داده‌اند. هر چند کلسیم‌کلرید هم نسبت به سدیم کلرید اثر بهتری دارد؛ در مطالعات حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2011) مشابه این نتیجه بیان شده است ولی در خصوص نقش کلسیم‌کلرید در پخش‌پذیری یک استثنا در تیمار ۲ وجود دارد و آن پخش‌پذیری کمتر نسبت به تیمار ۱، به‌رغم داشتن کلسیم‌کلرید، است. در صورتی که در سایر تیمارهایی که کلسیم‌کلرید وجود دارد، نسبت به تیمار حاوی سدیم کلرید، پخش‌پذیری بهتری وجود دارد. دلیل آن همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد آن است که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پخش‌پذیری شیر خشک بدون چربی، توئین ۸۰ با عملکرد کوچک‌تر کردن اندازهٔ ذرات است؛ از این روست که در تیمار شمارهٔ ۸ با وجود اشتراک با تیمار ۲ از لحاظ داشتن کلسیم‌کلرید، بالاترین پخش‌پذیری وجود دارد.

کازئین مهم‌ترین پروتئین شیر است اما نمی‌توان

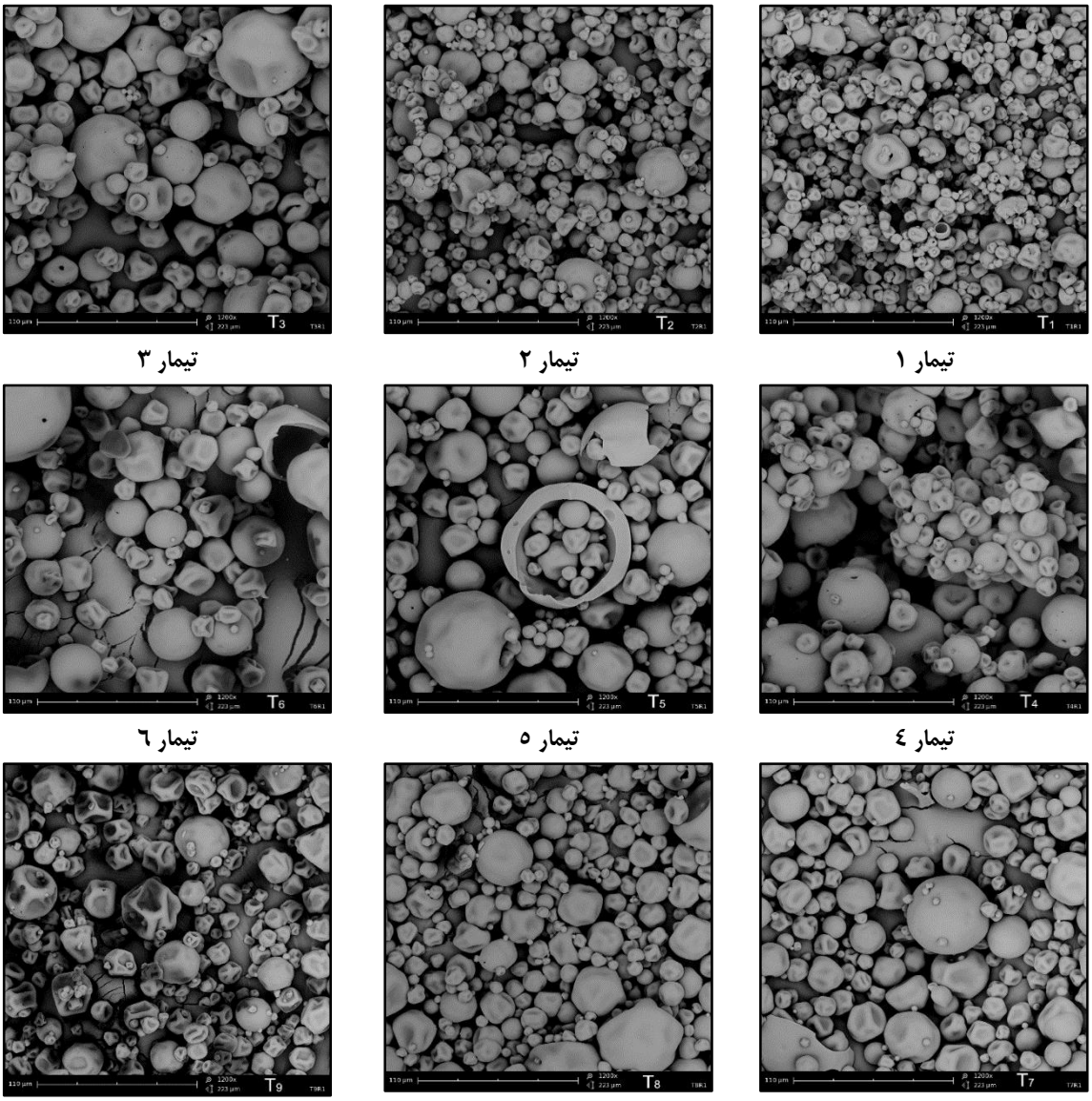
از نقش پروتئین‌های آب پنیر[1] در خصوصیات حل‌پذیری شیر خشک غافل شد. رطوبت‌پذیری ایزوله پروتئین آب پنیر[2] بسیار ضعیف است در حالی که پخش‌پذیری آن سرعت نسبتاً بالایی دارد. افزودن سدیم کلرید به پروتئین‌های آب پنیر معمولاً سبب کاهش حل‌پذیری آنها از طریق: ۱- حفاظت الکترواستاتیک ۲- برهم کنش‌های آب‌گریز یونی می‌شود (Boye *et al.*, 1996; Hussain *et al.*, 2011). حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2011) اعلام کرده‌اند که با افزودن نمک‌ها، جذب آب توسط پروتئین‌های آب پنیر کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و رطوبت‌پذیری آنها همراه با تشکیل توده[1] یا کلوخه‌ای شدن است در حالی که سرعت پخش‌پذیری آنها معمولی است. چوی و همکاران (Choi *et al.*, 2000) می‌گویند پروتئین‌های آب پنیر ظرفیت نگهداری آب را در حضور نمک‌های یک و دو ظرفیتی به خوبی از خود نشان می‌دهند.

در هر حال، با وجود استفاده از نمک‌های مختلف در صنعت شیر، پیشینهٔ مطالعاتی اندکی در خصوص پدیده و مکانیسم اثر نمک بر پروتئین‌های آب پنیر وجود دارد (Hussain *et al.*, 2012).

بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی در انواع شیر خشک بدون چربی

خصوصیات سطحی و مورفولوژیکی شیر خشک بر خواص عملکردی آن تأثیر ویژه‌ای دارد؛ عوامل اصلی مؤثر بر خصوصیات سطحی فرآورده‌های پودری علاوه بر شرایط تولید، فرآیند ساخت، انبارداری، حمل و نقل و بسته‌بندی، ترکیبات و ماهیت محصول قبل از فرآیند خشک کردن است (Gaiani *et al.*, 2013). تصویرهای به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهند افزودن ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایر و املاح به ایجاد اختلاف معنی‌دار در ریزساختار و مورفولوژی تیمارهای مختلف می‌انجامد. تیمارهای آزمایشی، نسبت به شاهد، دارای ساختار منظم، سطح صاف، چروکیدگی و فرورفتگی ناچیزی هستند. لالبیهری و همکاران (Lallbeeharry *et al.*, 2014) می‌گویند حفره‌های بزرگ روی سطح ذرات در تصویرهای SEM نشان دهندهٔ چروکیدگی سطح در هنگام خشک کردن است. در بین ترکیبات استفاده شده، امولسیفایرها در مقایسه با سایر ترکیبات، نقش عمده و اساسی‌تری در ریزساختار و مورفولوژی شیر خشک بدون چربی دارند. از این‌رو، توئین ۸۰، نسبت به لسیتین، با مکانیسم پوشش دهی کامل سطح ذرات شیر خشک ساختاری با سطح صاف‌تر، منظم‌تر با کروی بودن بیشتر ایجاد می‌کند که علت آن در مبحث ویژگی‌های بازآبدار شدن شیر خشک بدون چربی بیان شد. مشابه این نتیجه‌گیری، یزدان‌پناه و لنگریش (Yazdanpanah & Langrish, 2011) می‌گویند ذرات شیر خشک بدون چربی که ساختاری تخم‌مرغی با سطح صاف دارند خواص بازآبدار شدن را بهبود می‌بخشند. این ساختارها موجب بهبود رطوبت‌پذیری به همراه افزایش حل‌پذیری و پخش‌پذیری شیر خشک بدون چربی می‌شوند. این محققان می‌افزایند پودرهای تولید شده، علاوه بر خواص بازآبدار شدن مطلوب، دارای افزایش ثبات در دورهٔ ذخیره‌سازی هستند.

1- Whey protein
2- Whey protein isolate



شکل ۱- تصویرهای SEM در انواع شیر خشک بدون چربی حاوی ترکیبات کلاته کننده، املاح و امولسیفایر

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایر و املاح موجب بهبود خواص بازآبدار شدن شیر خشک بدون چربی می‌شوند. در این مورد از ترکیبات کلاته کننده EDTA، از امولسیفایرها توئین ۸۰ و در مورد املاح کلسیم‌کلرید تأثیر بیشتری دارند. ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایر و املاح همچنین سبب بهبود اندازهٔ ذرات و یکنواختی بیشتر در ریزساختار شیر خشک بدون چربی می‌شوند. در این خصوص، توئین ۸۰ و کلسیم‌کلرید اهمیت بیشتری دارند. در این تحقیق نشان داده شد که به طور کلی تیمار حاوی توئین ۸۰، EDTA و کلسیم‌کلرید از لحاظ خصوصیات بازآبدار شدن و ریزساختار، نسبت به سایر تیمارها، برتری دارد.

قدردانی

از شرکت شیر خشک نوزاد پگاه و شرکت شیرپویان مهریز یزد برای همکاری در تهیهٔ نمونه‌ها و اجرای برخی آزمون‌ها قدردانی می‌شود.

مراجع

Boye, J.I., Ismail, A. A. and Alli, I. 1996. Effect of physicochemical factors on the secondary structure of beta-lactoglobulin. Journal of Dairy Research. 63(1): 97-109.

Choi, Y.J., Cho, M.S. and Park, J.W. 2000. Effect of hydration time and salt addition on gelation properties of major protein additives. Journal of Food Science. 65(8): 1338-1342.

Gaiani, C., Burgain, J., and Scher, J. 2013. Surface composition of food powders. In Handbook of Food Powders. (Eds): 339-378

Huppertz, T., and Ox, P. F. 2006. Effect of NaCl on some physico-chemical properties of concentrated bovine milk. International Dairy Journal. 16(10): 1142-1148.

Hussain, R., Gaiani, C., and Scher, J. 2012. From high milk protein powders to the rehydrated dispersions in variable ionic environments: A review. Journal of Food Engineering. 113(3): 486-503.

Hussain, R., Gaiani, C., Aberkane, L., and Scher, J. 2011. Characterization of high-milk-protein powders upon rehydration under various salt concentrations. Journal of Dairy Science. 94(1): 14-23.

ISIRI. 1994. Determination of solubility index in dry milk. No. 2090, 3rd. Edition. (in Persian)

ISIRI. 1977. Determination of the ash content of processed cheese. No. 1755, 1st. Edition. (in Persian)

ISIRI. 2006. Milk and milk products – Determination of titrable acidity and value pH –Test method. No. 2852, 1st. Edition. (in Persian)

ISO/IDF. 2012. Determination of the dispersibility and wettability of instant dried milk. ISO/TS 17758:2014|IDF/RM 87:2014. Annex B.

ISO/IDF. 2012. Determination of the wettability (wetting time) of instant dried milk. ISO/TS 17758:2014|IDF/RM 87:2014. Annex B.

Kosasih, L., Bhandari, B., Prakash, S., Bansal, N., and Gaiani, C. 2016. Effect of whole milk concentrate carbonation on functional, physicochemical and structural properties of the resultant spray dried powder during storage. Journal of Food Engineering. 179: 68-77.

Lallbeeharry, P., Tian, Y., Fu, N., Wu, W. D., Woo, M. W., Selomulya, C., and Chen, X. D. 2014. Effects of ionic and nonionic surfactants on milk shell wettability during co-spray-drying of whole milk particles. Journal of Dairy Science. 97(9): 5303-5314.

List, G. R. 2015. Soybean Lecithin: Food, Industrial Uses, and Other Applications. In Polar Lipids, Edited by M.U. Ahmad and X. Xu, Elsevier: 1-33.

Millqvist-Fureby, A., and Smith, P. 2007. In-situ lecithination of dairy powders in spray-drying for confectionery applications. Food Hydrocolloids. 21(5): 920-927.

Odagiri, S., and T. A. Nickerson. 1965. Complexing of calcium by hexametaphosphate, oxalate, citrate, and EDTA in milk. I. Effects of complexing agents on turbidity and rennet coagulation. Journal of Dairy Science. 47: 1306-1309.

Schuck, P., Davenel, A., Mariette, F., Briard, V., Mejean, S., and Piot, M. 2002. Rehydration of casein powders: effects of added mineral salts and salt addition methods on water transfer. International Dairy Journal. 12(1): 51-57.

Schuck, P. 2011. Milk powder: Physical and functional properties of milk powders. In: John W. Fuquay, Patrick F. Fox, Paul L.H. McSweeney, Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press: 117-124.

Schuck, P., Jeantet, R., and Dolivet, A. 2012. Analytical Methods for Food and Dairy Powders. John Wiley & Sons. (Eds): 207-209.

Sikand, V., Tong, P. S. and Walker, J. 2013. Effect of adding salt during the diafiltration step of milk protein concentrate powder manufacture on mineral and soluble protein composition. Dairy Science & Technology. 93(4-5): 401-413.

Sikand, V., Tong, P. S., Roy, S., Rodrigues-Saona, L. E., and Murray, A. 2011. Solubility of commercial milk protein concentrates and isolates. Journal of Dairy Science. 94(12): 6194-6202.

Sikand, V., Tong, P. S., Vink, S., and Roy, S. 2016. Physicochemical properties of skim milk powders prepared with the addition of mineral chelators. Journal of Dairy Science. 99(6): 4146-4153.

Tamime, A. Y. 2009. Dairy Powders and Concentrated Products. John Wiley & Son, Society of Dairy Technology.

Tan, K. E. 2016. Study of Rehydration Properties of Powder Produced from Chelated Skim Milk. M. Sc. Thesis. Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Westergaard, V. 1983. Milk Powder Technology, Evaporation and Spray Drying. A/S NIRO Atomizer.

Yazdanpanah, N., and Langrish, T. A. 2013. Comparative study of deteriorative changes in the ageing of milk powder. Journal of Food Engineering. 114(1): 14-21.

Yazdanpanah, N., and Langrish, T. A. 2011. Egg-shell like structure in dried milk powders. Food Research International. 44(1): 39-4

Food Engineering Research/Vol.18/No.66/Spring & Summer 2019/P: 101-114

Effect of Some Chelating Agents, Emulsifiers and Salts on Rehydration and Microstructure Properties of Skim Milk Powder

M.H. Rajaee, M. Daneshi* and H. Vaezi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran.
Food and Confectionary Research Center, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran. Email: mdaneshi@iauyazd.ac.ir
Received: 12 August 2018, Accepted: 20 April 2019

Poor rehydration properties of skim milk powder (SMP) can impact processing efficiency and functionality in final product formulations. In this study, the effects of adding lecithin (1%) and tween 80 (0.1%) as emulsifiers, di sodium EDTA and sodium citrate dihydrat (SCD) each one 5 mM as chelating agents, NaCl (0.08%) and $CaCl_2$ (0.01%) as salts in improving rehydration characteristics of the product were investigated. These compounds were added to skim milk prior to spray drying and the effects of them on rehydration properties (wettability, dispersibility and solubility), microstructure and chemical properties of SMP were determined. Tween 80, EDTA and $CaCl_2$ had a greater effect on improvement of the rehydration properties compared to other compounds. Tween 80 and $CaCl_2$ also led to higher uniformity in the microstructure of SMP. Overall, the findings suggest that application of tween 80 combined with EDTA and $CaCl_2$ might be an effective technique for improving SMP rehydration properties during reconstitution process.

Keywords: Ethylenediaminetetraacetic acid, Sodium citrate, Texture