

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- به ترتیب: دانش آموزته 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 فرآورده‌های 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 ۱/۰ 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 ۸/۰+ و ۱/۰+ درصد به عنوان املاح. این ترکیبات به شیر تغلیظ شده 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

(2016). کیفیت شیر خشک به خصوصیات فیزیکی، عملکردی، بیوشیمیایی، میکروبی و حسی آن وابسته است. به‌طور 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 ماده

شیر تازه ترکیب غذایی کامل و منبعی مهم برای تغذیه است، اما اگر به شیوه 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 نتیجه آن مقاومت بیشتری در برابر فعالیت‌های میکروبی و تغییرات شیمیایی ایجاد می‌شود (Tan,

فرایند بازآبدار شدن شیر خشک عاملی مهم در بازسازی آن با آب است و ترکیبی از چند خصوصیت شامل رطوبت‌پذیری^۵، تعلیق‌پذیری^۶، پخش‌پذیری^۷ و حل‌پذیری است. رطوبت‌پذیری، 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 شده پودر در توزیع و پخش یکنواخت هنگام مجاورت با آب و حل‌پذیری مقدار مواد حل نشده و رسوب باقی مانده 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 هزینه پایین‌تر است که این امر صرفاً با افزودن برخی ترکیبات مجاز شامل ترکیبات کلاته‌کننده^۸، املاح و امولسیفایر به شیر بدون چربی صورت می‌پذیرد؛ این ترکیبات با ایجاد تغییر در کشش سطحی و در ساختار میسل 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 کلاته‌کننده در غلظت‌های مختلف سبب افزایش خواص بازآبدار شدن شیر خشک بدون چربی می‌شود. بر اساس یافته‌های حسین و همکاران و هاپرتز و آکس (Huppertz & Ox, 2006; Hussain *et al.*, 2011; Hussain *et al.*, 2012) مشخص گردید افزودن املاح موجب بهبود خواص بازآبدار شدن پودر پروتئین شیر می‌شود. میلکوئیست فوربی و اسمیت و لیبهری و همکاران (Millqvist-Fureby & Smith,

خشک شیر و به عنوان یکی از اجزای فرمولاسیون در برخی فرآورده‌های 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^۱ تحت تأثیر خصوصیات تکنولوژیکی تولید مانند نوع خشک‌کن، نوع سیستم پاشش، میزان فرآیند پیش‌حرارتی، میزان مواد جامد در کنسانتره، دمای هوای ورودی و خروجی و شرایط نگهداری است. تغییرات برگشت‌ناپذیر 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 فوری‌سازی، افزایش حل‌پذیری^۲ 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^۳ و بستر سیال است یا بعد از تولید شیر خشک، از طریق دستگاه فوری‌کننده^۴ و با افزودن رطوبت و امولسیفایر تولید شیر خشک فوری به هر دو روش نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات پیشرفته و در نتیجه سرمایه‌گذاری 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.

1- Rehydration
3- Agglomeration
5- Wettability
7- Dispersibility

2- Solubility
4- Instantizer
6- Sinkability
8- Chelating agents

کلسیم کلرید، دی گلیکول لورات اس و سود N/9 نرمال از شرکت مرک ساخت کشور آلمان تأمین شد.

آماده سازی نمونه ها

بریکس شیر تغلیظ شده 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 میلی مولار، امولسیفایر شامل ۱ درصد لسیتین و ۰/۱ درصد توئین ۸۰، و املاح شامل سدیم کلرید به میزان ۰/۰۸ درصد و کلسیم کلرید به مقدار ۰/۱ درصد در قالب تیمارهای مختلف به شیر مذکور اضافه شد. نمونه های آماده شده به مدت ۱۰ ساعت در دمای یخچال نگهداری شدند و پس از همگن سازی با هموژنایزر (نوش آرا، مدل MF110، ایران) در فشار ۱۰۰ بار، با دستگاه خشک کن پاششی تحقیقاتی (Sophia Zhang، مدل LPG05، چین) در دمای ورودی و خروجی به ترتیب ۱۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس و با سرعت اتمایزر ۳۵۰۰ RPM در کارخانه شیر پویان مهریز (یزد، ایران) خشک گردیدند. پودرهای تولید شده سپس در داخل کیسه های نایلونی مقاوم در برابر نفوذ هوا و رطوبت بسته بندی شدند.

بررسی خصوصیات بازآبدار شدن شیر خشک

تعیین رطوبت پذیری شیر خشک

طبق دستورالعمل ایزو (ISO/IDF, 34/SC, 2012) رطوبت پذیری با اندازه گیری مدت زمانی مشخص می شود 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 میلی لیتر آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس پاشیده شد و مدت زمانی که لازم بود تا تمام ذرات شیر خشک از سطح آب عبور

(Lallbeeharry et al., 2014; 2007) در دو تحقیق مختلف دریافتند افزودن امولسیفایر به شیر خشک منجر به افزایش حل پذیری و بهبود ریزساختار آن می شود. در همه 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. استفاده همزمان ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایر و املاح و تأثیر هم افزایی آنها در شیر خشک را محققان تاکنون بررسی نکرده اند؛ هدف از این تحقیق این است که با افزودن همزمان این ترکیبات به شیر خشک بدون چربی از راه هایی که توضیح داده خواهد شد، ویژگی های 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 نتیجه آن فروپاشی میسل به ساختارهای کوچک تر با جذب آب بیشتر کلاته است (Sikand et al., 2011)، تغییر در تعادل مواد معدنی شیر با افزودن املاح (Hussain et al., 2012)، و کاهش تنش سطحی با پوشش دهی گویچه های چربی و پروتئین سطح ذرات شیر خشک بدون چربی با اضافه کردن ترکیبات امولسیفایری (Lallbeeharry et al., 2014).

مواد و روش ها

مواد اولیه

شیر تغلیظ شده بدون چربی با ۴۸/۵ درصد ماده خشک از کارخانه شیر خشک نوزاد پگاه (شهرکرد، ایران) تهیه گردید. مواد شیمیایی مصرفی شامل اتیلن دی آمین تترا استیک اسید^۱، سدیم سیترات دوآبه^۲، لسیتین، توئین ۸۰، سدیم کلرید،

تعیین حل پذیری شیر خشک

آزمون اندیس حل پذیری روش مرسوم اندازه گیری حل پذیری شیر خشک است. فرآیند، به طور کلی، به صورت بازسازی شیر خشک با آب و سانتریفوژ کردن ترکیب بازسازی شده است. اندیس حل پذیری با اندازه گیری حجم رسوب (ترکیبات حل نشده) و بر حسب میلی لیتر تعیین می گردد و از آنجایی که اندیس حل پذیری قسمت حل ناپذیری شیر بازسازی شده را نشان می دهد، اغلب اصطلاح "اندیس حل ناپذیری" به آن اطلاق می شود؛ بنابراین اندیس حل پذیری با مقادیر بالا، حل پذیری کمتری را نشان می دهد. در این تحقیق، اندیس حل پذیری طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۹۰ اندازه گیری شد (ISIRI, 1994). مقدار ۱۰ گرم شیر خشک به ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر ۲۵ درجه سلسیوس در ظرف مخصوص اضافه و به منظور جلوگیری از ایجاد شدن کف، ۳ قطره دی گلیکول لورات اس^۲ به آن اضافه شد. محتویات به مدت ۹۰ ثانیه با همزن آزمایشگاهی در بالاترین سرعت با هم مخلوط و بعد از آن به مدت ۱۵ ثانیه در حالت سکون باقی گذاشته شد.

نمونه به مدت ۵ ثانیه با قاشق کاملاً مخلوط و بلافاصله لوله مخروطی سانتریفوژ تا نشانه ۵۰ میلی لیتر از نمونه پر گردید. لوله به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۹۸۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ و مایع رویی تخلیه شد. مجدداً ۲۵ میلی لیتر آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس به لوله تا نشانه ۵۰ میلی لیتر اضافه گردید و دوباره با همان سرعت به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ و تخلیه کردن فاز رویی تکرار گردید. میزان رسوب بر حسب میلی لیتر گزارش شد.

کنند یا ذرات باقیمانده روی سطح آب از نظر ظاهری کاملاً خیس شده باشند به عنوان نتیجه آزمون رطوبت پذیری تعیین شد که در این تحقیق حداکثر زمان انجام آزمون ۱۵ دقیقه (۹۰۰ ثانیه) در نظر گرفته شد. در مورد شیر خشک هایی که در این مدت زمان، آب را جذب نکرده و به صورت توده های خشک بر سطح آب مانده بودند نتیجه آزمون به صورت بیشتر از ۹۰۰ ثانیه اعلام شد.

تعیین پخش پذیری شیر خشک

با افزودن شیر خشک به آب، پودر شیر به تدریج در آب پخش شده و غلظت محلول افزایش می یابد. برای اندازه گیری میزان پخش پذیری، ۲۶ گرم شیر خشک بدون چربی به طور یکنواخت بر سطح ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر پاشیده شد. مخلوط به آرامی در مدت زمانی کوتاه به هم زده شد. بعد از آن، مخلوط حاصل با الک صاف شد که اندازه منافذ آن ۱۵۰ میکرون بود. با استفاده از رطوبت سنج (Sartorius، مدل MA35، آلمان)، ماده خشک مایع صاف شده (پرمیت) اندازه گیری شد.

طبق دستورالعمل ایزو (ISO/IDF, 34/SC, 2012) و برابر توصیه شاک و همکاران (Schuck et al., 2012)، پخش پذیری مطابق رابطه ۱ تعیین گردید.

$$DI = \frac{(100 + w) \times X_{DM}}{w \times \frac{100 - X_{RW}}{100}} \quad (1)$$

که در آن، DI = پخش پذیری (درصد)، X_{DM} = ماده خشک مایع فیلتر شده (درصد وزنی/ وزنی)، X_{RW} = رطوبت شیر خشک (درصد وزنی/ وزنی)، w = وزن شیر خشک مورد آزمون است.

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

(۲) درصد خاکستر

(وزن نمونه اولیه (گرم) / وزن خاکستر (گرم)) $\times 100$

که در آن،

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

آزمون اندازه گیری pH و اسیدیت:

با وارد کردن مستقیم الکترو دستانگاه pH متر (PHS-550، چین) به داخل محلول ۱۰ درصد بازسازی شده شیر خشک، pH نمونه ها مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲، اندازه گیری شد. در این تحقیق اسیدیت با سود N/9 نرمال بر حسب درجه دورنیک اندازه گیری و گزارش شد (ISIRI, 2006).

طرح آماری

به منظور تجزیه و تحلیل تیمارهای مختلف، از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی همراه با ۳ تکرار و همچنین به منظور مقایسه میانگین داده ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد با استفاده از نرم افزار SPSS 22 استفاده شد. ترکیب و سطوح تیمارهای مختلف مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

نتایج و بحث

مقایسه ویژگی های شیمیایی انواع شیر خشک

نتایج به دست آمده از آزمون های شیمیایی انواع شیر خشک بدون چربی در جدول ۲ آمده است:

بررسی خصوصیات ریزساختار شیر خشک

در این تحقیق برای بررسی خصوصیات ریزساختار شیر خشک بدون چربی، طبق راهنمایی یزدان پناه و لانگریش (Yazdanpanah & Langrish, 2013) از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲ (Phenom، مدل Pro X، هلند) در مقیاس های ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ برای تصویر برداری استفاده شد. با توجه به نارسانا بودن نمونه ها، قبل از تصویر برداری پوشش نازکی از طلا به ضخامت ۱۰ نانومتر روی نمونه ها کشیده شد. بدین منظور از روش کند و پاش^۳ و دستگاه کند و پاش (شرکت پوشش های نانو ساختار، مدل DS1، ایران) استفاده شد. پوشش دهی طلا به تصویر برداری بهتر نمونه ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ کمک می کند.

آزمون های شیمیایی

آزمون اندازه گیری رطوبت:

میزان رطوبت شیر خشک با دستگاه رطوبت سنج (Sartorius، آلمان) اندازه گیری شد. مطابق با دستور العمل 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 اندازه گیری خاکستر:

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

1- Microstructure
3- Sputtering

2- Scanning electron microscope
4- SEM

جدول ۱- ترکیب تیمارها

تیمار ۹ (شاهد)	تیمار ۸	تیمار ۷	تیمار ۶	تیمار ۵	تیمار ۴	تیمار ۳	تیمار ۲	تیمار ۱	ترکیبات
-	EDTA	EDTA	SCD	SCD	EDTA	EDTA	SCD	SCD	کلاته کننده
-	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	CaCl ₂	NaCl	نمک
-	توئین ۸۰	توئین ۸۰	توئین ۸۰	توئین ۸۰	لسیتین	لسیتین	لسیتین	لسیتین	امولسیفایر

جدول ۲- مقایسه 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 ± ۰/۰۵ ^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 ± ۰/۰۳ ^{۵e}	۲۱/۰۰ ± ۰/۵۰ ^a	۳/۰۹ ± ۰/۴۸ ^a	۷/۱۵ ± ۰/۰۴ ^f
۴	۶/۱۹ ± ۰/۰۳ ^{۵e}	۲۱/۵۰ ± ۱/۰۰ ^a	۳/۱۲ ± ۰/۰۷ ^{۵a}	۷/۸۷ ± ۰/۰۳ ^e
۵	۶/۷۰ ± ۰/۰۱ ^{ab}	۱۴/۷۵ ± ۰/۲۵ ^c	۲/۲۲ ± ۰/۲۱ ^c	۹/۰۶ ± ۰/۱۱ ^{۵a}
۶	۶/۶۷ ± ۰/۰۵ ^{bc}	۱۴/۷۵ ± ۰/۲۵ ^c	۲/۲۰ ± ۰/۰۸ ^c	۸/۴۹ ± ۰/۰۳ ^c
۷	۶/۳۷ ± ۰/۰۶ ^{۵d}	۱۸/۰۰ ± ۱/۰۰ ^b	۲/۰۱ ± ۰/۰۱ ^b	۸/۶۲ ± ۰/۱۱ ^{۲b}
۸	۶/۲۵ ± ۰/۰۸ ^e	۲۱/۰۰ ± ۱/۰۰ ^a	۱/۹۷ ± ۰/۰۱ ^a	۸/۲۹ ± ۰/۱۵ ^d
شاهد	۶/۶۰ ± ۰/۰۰ ^{۵c}	۱۲/۷۵ ± ۰/۲۵ ^d	۲/۴۱ ± ۰/۲۳ ^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.

آن را ظرفیت اتصال یونی بالا در EDTA می‌داند. اوداجیری و نیکرسون (Odagiri & Nickerson, 1965) مشاهده کردند وقتی EDTA اضافه می‌شود، pH شیر 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 کلسیم کلرید اثر بیشتری نسبت به سدیم کلرید بر کاهش pH داشته است. در جدول ۲

در جدول ۲ مشاهده می‌گردد کمترین میزان pH در تیمار شماره ۴ با مقدار ۶/۱۹ و بالاترین میزان pH در تیمار شماره 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

مولار سدیم سیترات دوآبه به شیر قبل از مرحله خشک کردن، اختلاف معنی داری در میزان رطوبت شیر خشک تولیدی ایجاد می کند و در این بین شیر خشک حاوی EDTA میزان رطوبت بالاتری دارد که احتمالاً به دلیل پیوند قوی تر بین میسل های 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 می توان اثر ممانعت کنندگی توئین ۸۰ بر EDTA در برابر افزایش رطوبت شیر خشک دانست. به طور کلی نتایج تحقیق نشان می دهد ترکیبات امولسیفایری بیشترین تأثیر را در مقدار رطوبت انواع نمونه های شیر خشک بدون چربی داشته اند. در مورد خاکستر، طبق جدول ۲، بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری 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 نمونه های 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 داده اند.

مقایسه ویژگی های بازآبدار شدن انواع شیر خشک

نتایج به دست آمده از آزمون های حل پذیری انواع شیر خشک بدون چربی در جدول ۳ آمده است. نوع امولسیفایر در میزان حل پذیری شیر خشک های تولیدی اثر معنی داری ندارد و اثر آنها تقریباً با هم برابر است. کلسیم کلرید، نسبت به سدیم کلرید، اثر

مشخص می گردد نمونه های دارای EDTA و کلسیم کلرید، به همان دلایل ذکر شده در بالا، کمترین میزان pH را داشته اند. نتایج بررسی ها نشان می دهد بین تیمارها و از جمله تیمار شاهد، اختلاف معنی داری از نظر میزان اسیدیته وجود دارد. ترکیبات کلاته کننده در بین تمامی ترکیبات افزوده شده، بیشترین تأثیر را در میزان اسیدیته نمونه ها داشته اند و اثر نوع ترکیب کلاته کننده روی اسیدیته معنی داری است. اسیدیته قابل تیتراسیون با اندازه گیری یون های هیدروژن محاسبه می شود، در کتاب های مرجع از ترکیبات کلاته کننده به عنوان تنظیم کننده های اسیدیته در فرمولاسیون مواد غذایی یاد می شود (Tan, 2016). در این تحقیق، EDTA با یونیزاسیون یون های هیدروژن مهم ترین عامل افزایش اسیدیته در بین نمونه هاست. اختلاف معنی دار بین تیمارهای ۷ و ۸ با توجه به حضور EDTA، به دلیل ممانعت کنندگی بیشتر سدیم کلرید، نسبت به کلسیم کلرید در افزایش اسیدیته، است. بیشترین میزان رطوبت در تیمار شماره ۴ به مقدار ۳/۱۲ درصد و کمترین آن در تیمار شماره ۸ به مقدار ۱/۹۷ درصد است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، نمونه های حاوی لسیتین رطوبت بیشتری نسبت به سایر نمونه ها دارند. میکویست فوری و اسمیت (Millqvist-Fureby & Smith, 2007) دلیل آن را وجود بخش آب دوست در لسیتین و در پی آن جذب رطوبت بیشتر می دانند. لیست (List, 2015) می گوید لسیتین به دلیل وجود بخش آب دوست، موجب حفظ رطوبت در محصولات غذایی گوناگون می شود. عامل دیگری که در میزان رطوبت شیر خشک بدون چربی اثر معنی داری دارد، EDTA است. در همین مورد، تان (Tan, 2016) می گوید افزودن ۵ میلی مولار EDTA و ۵ میلی

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 اندازه میسل‌هاست. در نمونه‌های حاوی سدیم سیترات دوآبه و کلسیم کلرید، 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 اندازه ساختارهای میسلی افزایش می‌یابد، اندیس حل‌ناپذیری افزایش می‌یابد.

جدول ۳- مقایسه میانگین مشخصات حل‌پذیری انواع شیر خشک بدون چربی حاوی ترکیبات کلاته‌کننده، املاح و امولسیفایر

تیمار	حل‌پذیری (میلی لیتر رسوب باقی‌مانده)	پخش‌پذیری (درصد)	رطوبت‌پذیری (ثانیه)
۱	۰/۳ ± ۰/۱۰ ^a	۷۲/۰۶ ± ۲/۶ ^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 ± ۳/۶ ^{de}	۸۴۰ ± ۶ ^{ab}
۶	۰/۱۵ ± ۰/۰۴ ^b	۸۶/۰۹ ± ۱/۶ ^b	۹۰۰ ± ۲۰ ^a
۷	۰/۲ ± ۰/۰۲ ^{ab}	۸۸/۹۶ ± ۳/۳ ^{ab}	۶۵۳/۹ ± ۷ ^{bc}
۸	۰/۲۵ ± 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 نتیجه 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 شماره ۸ دیده می‌شود. در این خصوص لالبیهری و همکاران (Lalbeeharry *et al.*, 2014) گزارش داده‌اند اثر امولسیفایر در مرحله 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

تولیدی بین ۶۱/۰۳ درصد (تیمار ۲) تا ۹۳/۳۰ درصد (تیمار ۸) است. توئین ۸۰ بهترین ترکیب از لحاظ آزمون پخش پذیری بین نمونه‌های شیر خشک است و نسبت به لسیتین اثر بیشتری در افزایش پخش پذیری دارد. با توجه به اهمیت اندازه ذرات در پخش پذیری شیر خشک، اندازه 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) پخش پذیری بهتری نسبت به تیمارهای حاوی لسیتین دارند. علاوه بر این، عامل کلاته کننده نیز اثر معنی داری بر پخش پذیری دارد. در این تحقیق، تیمارهای حاوی EDTA پخش پذیری بیشتری نسبت به سدیم سیترات دوآبه نشان داده‌اند. هر چند کلسیم کلرید 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 کلسیم کلرید در پخش پذیری یک استثنا در تیمار ۲ وجود دارد و آن پخش پذیری کمتر نسبت به تیمار ۱، به رغم داشتن کلسیم کلرید، است. در صورتی که در سایر تیمارهایی که کلسیم کلرید وجود دارد، نسبت به تیمار حاوی سدیم کلرید، پخش پذیری بهتری وجود دارد. دلیل آن همان طور که قبلاً نیز گفته شد آن است که مهم ترین عامل تأثیرگذار بر پخش پذیری شیر خشک بدون چربی، توئین ۸۰ با عملکرد کوچک تر کردن اندازه ذرات است؛ از این روست که در تیمار شماره ۸ با وجود اشتراک با تیمار ۲ از لحاظ داشتن کلسیم کلرید، بالاترین پخش پذیری وجود دارد.

کازئین مهم ترین پروتئین شیر است اما نمی توان

رطوبت پذیری شیر خشک نشان داده است. لالبیهری و همکاران (Lallbeeharry *et al.*, 2014) می گویند وقتی توئین ۸۰ قبل از مراحل خشک کردن به شیر اضافه می گردد، تمایل به جذب در بین اتصال آب- روغن سطح ذرات شیر را دارد و از این رو با پوشش سطح گویچه های چربی، پیوندهای هیدروفیلک را ایجاد می کند و در نتیجه از طریق این مکانیسم رطوبت پذیری را در ذرات خشک شده نهایی بهبود می بخشد اما لسیتین بر خلاف توئین ۸۰ تمایل به جذب در فاز آب- روغن شیر ندارد و بیشتر تمایل به ترکیب شدن با پروتئین های شیر و ایجاد کمپلکس های بزرگ دارد. ساختارهای بزرگ تشکیل شده در فرآیند خشک کردن، با گویچه های چربی در فاز هوا- آب رقابت می کنند و از این رو موجب پوشش دهی آنها در سطح ذرات خشک شده نهایی می شوند و رطوبت پذیری را بهبود می بخشد که در مقایسه با توئین ۸۰ اثر کمتری در جذب رطوبت دارد. عوامل کلاته کننده با کلاته کردن ترکیبات معدنی شیر و تغییر در ساختار میسلی، نقش مهمی در خصوصیات رطوبت پذیری شیر خشک دارند. EDTA به طور معنی داری 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. هر چند از لحاظ آماری اختلاف معنی داری بین املاح نیست، اما از لحاظ میانگین اثر کلسیم کلرید بیشتر است که این موضوع در تحقیقات حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2012) نیز اشاره شده است. از این رو، تیمار شماره ۸ با داشتن توئین ۸۰، EDTA و کلسیم کلرید بهترین رطوبت پذیری را بین همه تیمارهای این تحقیق داشته است. پخش پذیری شیر خشک های

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. لالیپهری و همکاران (Lallbeeharry *et al.*, 2014) می‌گویند حفره‌های بزرگ روی سطح ذرات در تصویرهای SEM نشان دهنده 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 دوره ذخیره‌سازی هستند.

از نقش پروتئین‌های آب پنیر^۱ در خصوصیات حل‌پذیری شیر خشک غافل شد. رطوبت‌پذیری ایزوله پروتئین آب پنیر 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^۱ 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.

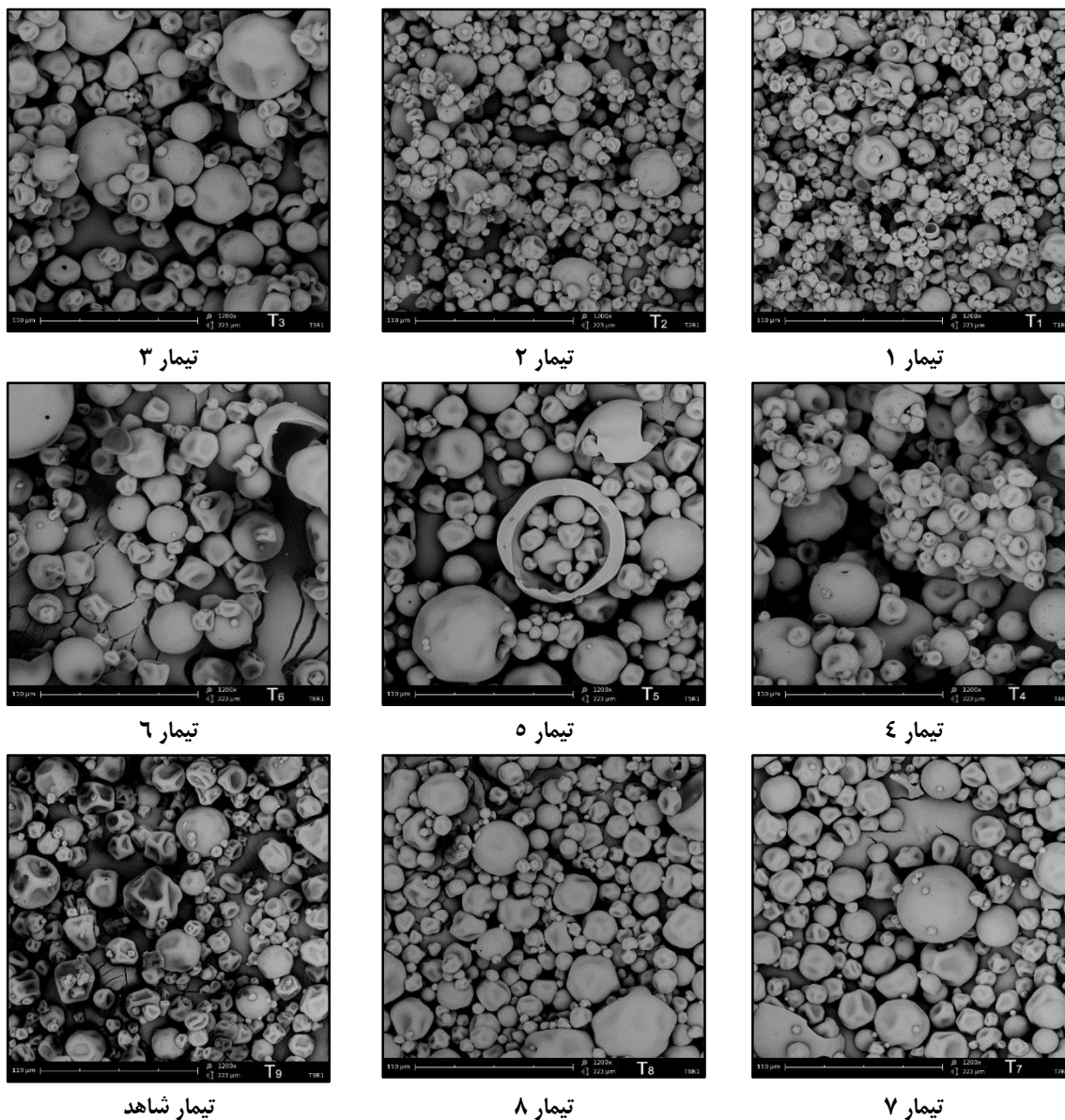
در هر حال، با وجود استفاده از نمک‌های مختلف در صنعت شیر، پیشینه مطالعاتی اندکی در خصوص پدیده و مکانیسم اثر نمک بر پروتئین‌های آب پنیر وجود دارد (Hussain *et al.*, 2012).

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

1- Whey protein

2- Whey protein isolate



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

نتیجه گیری

املاح همچنين سبب بهبود اندازه ذرات و يکنواختی بیشتر در ریزساختار شیر خشک بدون چربی می‌شوند. در این خصوص، توئین ۸۰ و کلسیم کلرید اهمیت بیشتری دارند. در این تحقیق نشان داده شد که به طور کلی تیمار حاوی توئین ۸۰، EDTA و کلسیم کلرید از لحاظ خصوصیات بازآبدار شدن و ریزساختار، نسبت به سایر تیمارها، برتری دارد.

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، امولسیفایرها توئین ۸۰ و در مورد املاح کلسیم کلرید تأثیر بیشتری دارند. ترکیبات کلاته کننده، امولسیفایر و

قدردانی

از شرکت شیر خشک نوزاد پگاه و شرکت شیروپویان مهریز یزد برای همکاری در تهیه 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

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

M.H. Rajaei, 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 CaCl₂ (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 CaCl₂ had a greater effect on improvement of the rehydration properties compared to other compounds. Tween 80 and CaCl₂ also led to higher uniformity in the microstructure of SMP. Overall, the findings suggest that application of tween 80 combined with EDTA and CaCl₂ might be an effective technique for improving SMP rehydration properties during reconstitution process.

Keywords: Ethylenediaminetetraacetic acid, Sodium citrate, Texture