

اثر افزودن برخی ترکیبات شلاته کننده، امولسیفایر و نمک ها بر روی ویژگی های عملکردی شیر خشک بدون چربی

محمد حسین رجایی^۱، محمد دانشی^{۲،۳*}، حسین واعظی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۳- مرکز تحقیقات غذا و شیرینی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۴- استادیار گروه اصلاح نباتات، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۴)

چکیده

خصوصیات عملکردی و فیزیکی شیرخشکنقش مهمی در فرمولاسیون مواد غذایی مختلف دارد. در این پژوهش اثر افزودن ۱٪ لسیتین و ۰/۰۱٪ توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر، دی سدیم اتیلن دی آمین تتراسیتیک اسید (EDTA) و سدیم سترات دو آبه (SCD) هر یک به میزان ۵ میلی مولار به عنوان ترکیبات شلاته کننده و کلرید سدیم (NaCl) به میزان ۰/۰۸٪ و کلرید کلسیم (CaCl₂) به میزان ۰/۰۱٪ به عنوان املاح بر خصوصیات فیزیکی و عملکردی شیرخشک بدون چربی (پایداری حرارتی، چگالی توده ای، اندازه ذرات) بررسی شد. این ترکیبات به شیر تغلیظ شده بدون چربی قبل از مرحله خشک کردن اضافه گردیدند. نتایج نشان داد، ترکیبات شلاته کننده و املاح تاثیر معنی داری ($P < 0.05$) بر روی پایداری حرارتی شیرخشک داشتند. SCD و NaCl در کنار هم منجر به افزایش و EDTA و NaCl به شدت موجب کاهش پایداری حرارتی شیرخشک شدند. نمونه حاوی توئین ۸۰ و SCD دارای بهترین پایداری حرارتی بین همه نمونه ها بود. بطور میانگین توئین ۸۰ از لحاظ خصوصیت چگالی توده ای و توزیع اندازه ذرات بیشترین تاثیر را در بین ترکیبات استفاده شده داشت و توزیع اندازه ذرات حل شده در نمونه حاوی هر سه ترکیب توئین ۸۰ و EDTA و CaCl₂ نسبت به سایر تیمارها بهتر بود. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد استفاده هم زمان از توئین ۸۰ و SCD و NaCl در مقایسه با سایر تیمارها منجر به بهبود خصوصیات عملکردی شیرخشک بدون چربی می گردد.

کلید واژگان: پایداری حرارتی، توزیع اندازه ذرات، چگالی توده ای، شیرخشک بدون چربی

* مسئول مکاتبات: mdaneshi@iauyazd.ac.ir

۱- مقدمه

محافظت از مواد غذایی مختلف بوسیله خشک کردن و در نتیجه محروم کردن میکروارگانیسمها از دسترسی به آب، از قرن ها پیش شناخته شده بود. شیرخشک فراورده ای است که از خشک کردن شیر تازه و سالم پاستوریزه به یکی از روش های صنعتی معمول (خشک کن غلتکی^۱ یا خشک کن پاششی^۲) تهیه می شود [۱]. حذف آب از شیر و تبدیل آن به شیرخشک طی دو مرحله اساسی انجام می شود؛ در ابتدا تغلیظ شیر با استفاده از تبخیر کننده های تخت خلاء^۳ و سپس مرحله نهایی خشک کردن، در خشککن انجام می گردد [۲]. امروزه بطور گسترده برای تولید شیرخشک و فراورده های پودری لبنی از خشک کن پاششی استفاده می شود. خصوصیات عملکردی و فیزیکی شیرخشک نقش بسیار مهمی در استفاده آن در فرمولاسیون ها و سوسپانسیون های غذایی دارد. محققان با افزودن ترکیبات مختلف به شیر، خصوصیات فیزیکی و عملکردی شیر خشک را بهبود داده اند. پایداری حرارتی^۴ یکی از مهمترین خصوصیات عملکردی شیرخشک است. از این رو فرآیند مناسب حرارتی شیر قبل از مرحله تغلیظ، برای تولید شیرخشک پایدار و با ثبات در مقابل حرارت، نیاز است. به هر حال می توان با تغییر در خصوصیات یونی شیر، پایداری حرارتی آن را در فرآیند حرارتی نسبتاً بالا بهبود بخشید و همچنین دنا تورا سیون ناشی از فرآیند حرارتی بالا را کاهش داد. ویژگی پایداری حرارتی شیرخشک در بازسازی آن مهم است، به خصوص هنگامی که شیرخشک در نوشیدنی های داغ، دسر ها، سس ها، فرآورده های نانوائی، بازسازی شیر مایع و سفید کننده های قهوه^۵ مورد مصرف قرار می گیرد. بطور مثال، پودر شیر بدون چربی که ماده اصلی در بازسازی محصولات تغلیظ شده لبنی است باید به اندازه کافی از لحاظ حرارتی پایدار باشد تا از ترسیب شدن^۶ آن در حین فرآیند جلوگیری شود، همچنین در سفیدکننده های قهوه وقتی که شیرخشک با قهوه داغ تماس پیدا می کند می بایست از ترسیب و کواگوله شدن آن جلوگیری شود. همچنان که گفته شد عامل اصلی موثر بر ثبات حرارتی در شیرخشک بازسازی شده، میزان تیمار

حرارتی به کار برده شده در مرحله مقدماتی تولید شیرخشک است. به علاوه، ترکیبات شیر (پروتئین، تعادل املاح) و pH اثری مهم بر ثبات حرارتی پودرها می گذارند [۳]. ساختار فیزیکی شیرخشک می تواند به عنوان روشی برای تعیین ترکیبات تشکیل دهنده و ارتباط آن ها با هم تعریف شود. ساختار پودر به شدت تحت تاثیر ترکیبات تشکیل دهنده و روش خشک کردن است. اندازه ذرات^۷ یک پودر بر روی ظاهر، بازسازی و خصوصیات جریان یافتن آن ها اثر می گذارد. این امر وابسته به شرایط ذره پاشی و ویسکوزیته ماده قبل از خشک کردن است. ذره پاشی با فشار بالا و همراه با ویسکوزیته پایین کنسانتره منجر به کاهش اندازه ذرات پودری شوند. چگالی توده ای^۸ شیرخشک و ویژگی پیچیده ای است که تحت تاثیر چند عامل مهم شامل میزان غلظت خوراک ورودی، دمای خوراک، توانایی کف کنندگی خوراک، فرآیند پیش حرارتی شیر، میزان غلظت، ترکیبات خوراک، نوع ذره پاش، دمای ذرات و توزیع اندازه ذرات می باشد [۲]. روشو شرایط تولید اثر عمده ای بر روی چگالی توده ای شیرخشک دارند، مهمترین عامل تاثیر گذار بر چگالی توده ای شیرخشک در درجه اول مربوط به وجود هوای مسدود شده در ذرات است. کاهش میزان هوا قبل از مرحله خشک کردن، منجر به افزایش میزان ماده خشک کل^۹ کنسانتره می شود و به تبع آن چگالی توده ای افزایش می یابد. شکل و اندازه ذرات نیز چگالی توده ای پودرها را تحت تاثیر قرار می دهد.

سیکاند و همکاران (۲۰۱۶) به بهبود پایداری حرارتی شیر خشک بدون چربی با افزودن ترکیبات شلاته کننده^{۱۰} در غلظت های مورد نظر پی بردند [۴]. بر اساس یافته های محققان مشخص گردید افزودن املاح^{۱۱} موجب بهبود و تغییر در خواص ساختاری و پایداری حرارتی شیرخشک بدون چربی و پودر پروتئین شیر (MPC)^{۱۲} می شود [۵ و ۶]. همچنین پژوهشگران دریافتند افزودن امولسیفایر^{۱۳} به شیرخشک بدون چربی منجر به بهبود توزیع اندازه ذرات و ساختار فیزیکی آن می گردد [۷ و ۸]. قابل ذکر است اثر افزودن همزمان ترکیبات

1. Drum Dryer
2. Spray Dryer
3. Vacuum Evaporations
4. Heat Stability
5. Coffee Whiteners
6. Feathering

7. Particle Size
8. Bulk Density
9. Total Solids
10. Chelating Agents
11. Minerals
12. Milk Protein Concentrate

گردید و سپسترکیبات مورد نظر شامل EDTA و SCD هر کدام به میزان ۵ میلی مولار به عنوان عوامل شلاته کننده اضافه شد. در این غلظت هم خصوصیات حل پذیری شیرخشک بهبود می یابد و هم ثبات حرارتی آن حفظ می گردد [۴].

لسیتین و توئین ۸۰ به ترتیب ۱ و ۰/۰۱، به عنوان امولسیفایر و در نهایت املاح شامل NaCl و CaCl₂ به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۰۱٪ به شیر اضافه گردیدند. به منظور بررسی واقعی اثر ترکیبات فوق، هیچگونه تنظیم pH انجام نپذیرفت. نمونه های حاصل به منظور هیدراسیون و رسیدن به تعادل به مدت ۱۰ ساعت در دمای یخچال نگه داری شدند [۴] و سپس نمونه های تولید شده (جدول ۱)، توسط هموژنایزر (نوش آرا، مدل MF110، ایران) در فشار ۱۰۰bar همگن و در نهایت توسط دستگاه خشک کن پاششی تحقیقاتی (Sophia Zhang، مدل LPG05، چین) با دمای ورودی و خروجی به ترتیب ۱۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد و با سرعت اتمایزر ۳۵۰۰RPM خشک گردیدند. پودرهای حاصل در بسته بندی های مقاوم به نفوذ هوا و رطوبت بسته بندی شدند.

شلاته کننده، امولسیفایر و املاح در شیرخشک توسط محققان مورد بررسی قرار نگرفته است و هدف از این تحقیق ارزیابی اثر افزودن این ترکیبات بر روی خواص عملکردی شیرخشک شامل پایداری حرارتی، توزیع اندازه ذرات و چگالی توده ایمی باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

در این پژوهش از شیر تغلیظ شده بدون چربی با ماده خشک ۴۸/۵٪ (شرکت شیرخشک نوزاد پگاه شهرکرد، ایران)، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)، سدیم سترات دوآبه (SCD)، توئین ۸۰ کلرید سدیم (NaCl)، کلرید کلسیم (CaCl₂) و هیدروکسید سدیم همه ساخت مرک آلمانو لسیتین (Agrex، هند) استفاده گردید.

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- تهیه نمونه های شیرخشک بدون چربی

جهت تهیه شیرخشک بدون چربی، ابتدا توسط آب مقطر بریکس شیر تغلیظ شده بدون چربی، بر روی ۲۵ درصد تنظیم

Table 1 Details of samples with different content of chelating agents, salts and emulsifiers

samples	chelating agents (mM)		Salts (%)		Emulsifiers (%)	
	EDTA	SCD	CaCl ₂	NaCl	Tween 80	lecithin
T1	0	5	0	0.08	0	1
T2	0	5	0.01	0	0	1
T3	5	0	0	0.08	0	1
T4	5	0	0.01	0	0	1
T5	0	5	0	0.08	0.1	0
T6	0	5	0.01	0	0.1	0
T7	5	0	0	0.08	0.1	0
T8	5	0	0.01	0	0.1	0
Control	0	0	0	0	0	0

ساخته حاوی ۲۵٪ ماده خشک، در آب مقطر حلو سپس تیمارهای بازسازی شده به منظور انحلال کامل در دمای ۴ درجه

۲-۲-۲- پایداری حرارتی

نمونه های شیرخشک بدون چربی به منظور تولید شیر باز

گرفت و هر نمونه سه بار مورد آنالیز اندازه گیری اندازه ذرات قرار گرفت.

۲-۲-۵- اندازه گیری رطوبت

میزان رطوبت شیرخشک توسط دستگاه رطوبت سنج (Sartorius، آلمان) اندازه گیری گردید. بدین منظور ۵ گرم شیرخشک توزین و درون دستگاه قرار داده شد و سپس نتیجه نشان داده شده قرائت گردید [۱۲].

۲-۲-۶- اندازه گیری خاکستر

درصد خاکستر از طریق تعیین خاکستر شیرخشک مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۷۵۵ توسط کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت دو ساعت تا رسیدن به خاکستر بدون کربن، اندازه گیری و محاسبه گردید [۱۳].

۲-۲-۷- اندازه گیری pH و اسیدیته

اندازه گیری pH با وارد کردن مستقیم الکتروود دستگاه pH متر (PHS-550، چین) به داخل محلول ۱۰٪ بازسازی شده شیرخشک مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۵۲ صورت گرفت. در این تحقیق اسیدیته برحسب درجه دورنیک اندازه گیری و گزارش شد [۱۴].

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

به منظور آنالیز تیمار های 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 ۰.۰۵٪ با استفاده از نرم افزار SPSS.ver22 استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگیهای شیمیایی

نتایج به دست آمده از آزمون های شیمیایی نمونه های شیرخشک بدون چربی در جدول ۲ بیان شده است. خصوصیات شیمیایی انواع شیرخشک بدون چربی در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد بین تیمار

سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت نگه داری شدند. برای اندازه گیری خصوصیت پایداری حرارتی، مقدار ۱۰ میلی لیتر از شیر بازساخته به داخل لوله های آزمایش به ابعاد ۱۸۰*۱۶ میلیمتر ریخته شد. لوله های حاوی شیر بازساخته، توسط اتوکلاو (ایران تولید، ایران) در دمای ۱۱۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه تحت فرایند استریلیزاسیون قرار گرفتند. زمان فرایند پیش حرارتی ۵ دقیقه و زمان استریلیزاسیون هنگامی که دمای اتوکلاو به ۱۱۵ درجه سانتی گراد رسید در نظر گرفته شد. پس از فرایند استریلیزاسیون لوله ها بلافاصله در زیر شیر آب سرد، خنک شدند و در نهایت میزان پایداری حرارتی آنها بر اساس درجه کوآگولاسیون مورد بررسی قرار گرفت [۹]. وضعیت کوآگولاسیون نمونه ها بین دو حالت بدون ذرات منعقد شده و کاملاً منعقد شده، ارزیابی و با درجه بسیار خوب، خوب، نسبتاً شدید، شدید و بسیار شدید به ترتیب از اعداد ۵ الی ۱ امتیاز بندی گردید.

۲-۲-۳- چگالی توده ای

چگالی توده ای شیرخشک از طریق اندازه گیری اختلاف جرم نمونه شیرخشک با حجم آن پس از وارد کردن ۱۰۰ ضربه متوالی در یک استوانه مدرج ۱۰۰cc توسط دستگاه مخصوص اندازه گیری چگالی توده ای محاسبه و بصورت گرم در سانتی متر مکعب (gr/cm^3) گزارش شد [۱۰].

۲-۲-۴- توزیع اندازه ذرات

با توجه به تاثیر میسل های کازئین بر خصوصیات عملکردی شیرخشک بدون چربی، در این پژوهش به منظور اندازه گیری ذرات میسل های کازئین از دستگاه تعیین کننده اندازه ذرات (Brokhave، مدل 90Plus، آمریکا) با روش تفرق پویایی نور لیزر با طول موج ۶۳۳ نانومتر اندازه گیری شد [۱۱]. بدین منظور ۰/۲ گرم از هر نمونه در ۱۰۰ میلی لیتر اتانول به مدت ۵ دقیقه در حمام فرا صوت (SonoSwiss، مدل swH3، سوئیس) کاملاً یکنواخت گردید. سپس مقدار ۵ میلی لیتر از سوسپانسیون تهیه شده در دستگاه تعیین کننده اندازه ذرات قرار

شیرخشک بدون چربی شد. ادگارو نیکرسون (۱۹۹۵) در پژوهشی بیان نمودند با افزودن EDTA به شیر، pH شیراز طریق مکانیسم آزاد سازی پروتون ها کاهش می یابد [۱۵]. حسین و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی مبنی بر حل پذیری پودرهای پروتئینی در محیط های یونی بیان نمودند با افزودن املاح به شیر، pH به تدریج کاهش می یابد [۶].

های مختلف از نقطه نظر مقدار pH، اسیدیته، خاکستر و میزان رطوبت اختلاف معنی داری وجود دارد ($P < 0.05$). نتایج نشان دادند ترکیبات شلاته کننده و املاح برخلاف ترکیبات امولسیفایری اثر معنی داری بر روی میزان pH تیمارها داشتند ($P < 0.05$). بطوریکه که EDTA منجر به کاهش و از سوی دیگر SCD موجب افزایش مقدار pH در نمونه های

Table 2 Chemical characteristics of the skim milk powder containing chelating compounds, minerals and emulsifiers.

Samples	Ash (%)	Moisture (%)	(°D)	pH
T1	8.70±0.01 ^b	2.55±0.20 ^b	14.75±0.25 ^c	6.78±0.005 ^a
T2	7.86±0.07 ^c	2.14±0.05 ^{cd}	15.50±0.50 ^c	6.71±0.05 ^{ab}
T3	7.15±0.04 ^f	3.09±0.48 ^a	21.00±0.50 ^a	6.22±0.03 ^c
T4	7.87±0.03 ^c	3.12±0.08 ^a	21.50±1.00 ^a	6.19±0.03 ^c
T5	9.06±0.11 ^a	2.22±0.20 ^c	14.75±0.25 ^c	6.78±0.01 ^{ab}
T6	8.49±0.02 ^c	2.20±0.08 ^c	14.75±0.25 ^c	6.67±0.05 ^{bc}
T7	8.62±0.11 ^b	2.01±0.01 ^b	18.00±1.00 ^b	6.37±0.06 ^d
T8	8.29±0.14 ^d	1.97±0.01 ^a	21.00±1.00 ^a	6.25±0.08 ^c
Control	7.81±0.05 ^c	2.41±0.20 ^d	12.75±0.25 ^d	6.60±0.005 ^c

*Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

EDTA و ۵ میلی مولار SCD به شیر قبل از مرحله خشک کردن، منجر به ایجاد اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) در میزان رطوبت شیرخشک تولیدی می شود و در این بین نمونه های حاوی EDTA میزان رطوبت بالاتری دارند [۱۵]. در این تحقیق تیمارهایی که حاوی لسیتین و EDTA بصورت همزمان بودند (تیمار ۳ و ۴)، دارای بیشترین رطوبت نسبت به سایر تیمارها بودند. در مورد میزان خاکستر در انواع شیرخشک بدون چربی، نوع امولسیفایر، شلاته کننده و املاح هر کدام تغییرات محسوسی را پدید آوردند بطوریکه میزان خاکستر از ۹/۰۶ الی ۷/۱۵٪ بین تیمارها متغیر بود. در این پژوهش از میان ترکیبات مورد استفاده، بطور میانگین توئین ۸۰ و NaCl بیشترین تاثیر را بر روی میزان خاکستر شیرخشک بدون چربی داشتند.

۳-۲- اندازه گیری پارامترهای فیزیکی و عملکردی

نتایج به دست آمده از آزمون های عملکردی انواع شیرخشک بدون چربی در جدول ۳ نشان داده است.

در این پژوهش یافته ها نشان دادند از میان املاح $CaCl_2$ اثر بیشتری بر کاهش pH داشت. همچنان که در جدول ۲ مشاهده می گردد، تیمارهایی که دارای EDTA و $CaCl_2$ بوده اند پایین ترین میزان pH را داشتند. در این تحقیق نتایج نشان دادند بین تیمارها و همچنین تیمار شاهد، اختلاف معنی داری از نقطه نظر میزان اسیدیته وجود دارد ($P < 0.05$). ترکیبات شلاته کننده بیشترین تاثیر را نسبت به سایر ترکیبات به کار رفته در این تحقیق در میزان اسیدیته تیمارها داشتند. بین اسیدیته تیمارهای ۷ و ۸ اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) مشاهده شد، که این امر می تواند به دلیل ممانعت کنندگی بیشتر NaCl نسبت به $CaCl_2$ در افزایش اسیدیته شیرخشک

بدون چربی باشد. با توجه به خصوصیت ممتاز لسیتین در جذب رطوبت نسبت به سایر ترکیبات مورد استفاده، تیمارهای حاوی لسیتین رطوبت بیشتری نسبت به سایر نمونه های شیرخشک بدون چربی داشتند که در جدول ۲ این مهم مشخص است. عامل مهم اثر بخش دیگر در جذب رطوبت بین انواع شیرخشک بدون چربی، EDTA بود که اثر معنی داری بر روی رطوبت تیمارها داشت (جدول ۲). افزودن ۵ میلی مولار

Table 3 Physical characteristics of theskim milk powder containing chelating compounds, minerals and emulsifiers.

Samples	particle size diameter (nm)	Bulk density (gr/cm ³)	Heat stability (Degree of coagulation)
T1	1641.58±11.25 ^a	0.59±0.007 ^{abc}	4±0.01 ^b
T2	530.27±4.95 ^b	0.53±0.001 ^d	4±0.02 ^b
T3	274.56±0.95 ^{cd}	0.61±0.040 ^{ab}	1±0.01 ^e
T4	342.20±1.30 ^c	0.56±0.050 ^{bcd}	2±0.03 ^d
T5	349.03±1.00 ^c	0.64±0.050 ^a	5±0.01 ^a
T6	211.35±3.85 ^d	0.55±0.020 ^{cd}	3±0.01 ^c
T7	203.07±2.40 ^d	0.60±0.010 ^{ab}	2±0.02 ^d
T8	170.39±1.60 ^d	0.57±0.003 ^{bcd}	1±0.01 ^e
Control	418.50±13.50 ^c	0.49±0.004 ^c	2±0.03 ^d

*Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

درد [۳]. یکی از روش هایی که می توان توزیع اندازه ذرات را در ابعاد نانو به دست آورد روش تفرق نور پویا یا همان روش DLS² است. در بررسی تفرق نور پویا نکته مهم پهن بودن یا تیز بودن نمودار توزیع اندازه ذرات است. هر چه که قله نمایش داده شده پهن تر باشد بیانگر این است که ذرات تشکیل شده از نظر توزیع اندازه ذرات دارای یکنواختی کمتری هستند. در حقیقت محدوده اندازه ذرات زیاد است. ولی هر چه قله نمودار اندازه ذرات تیزتر باشد نمایانگر این است که ذرات ساخته شده از نظر اندازه یکنواختی بهتری دارند و به تعبیر دیگر می توان گفت که ذرات در یک محدوده از اندازه هستند (نمودار ۱). در این پژوهش به منظور درک و شناخت بهتر از تاثیر هر یک افزوده های شیمیایی بر روی ساختار میسل کازئین و مقایسه آن ها با هم، از روش آزمون توزیع اندازه ذرات استفاده شده است. مطابق جدول ۳ در تیمارهای ۱ الی ۴ با تغییر در نوع عامل شلاته کننده اندازه ذرات تحت الشعاع قرار میگیرد. SCD به عنوان عامل شلاته کننده و جاذب کلسیم در تیمار ۱ و ۲ استفاده شده است. با اضافه شدن یون کلسیم به جای یون سدیم در ترکیب تیمار ۲ اندازه ذرات کاهش چشمگیری داشتند. کاهش اندازه ذرات بدین علت است که تشکیل میسل ها در حضور یون کلسیم به دلیل تشکیل پیوند با کازئین شیر سرعت یافته و منجر به تشکیل میسل های کوچکتر میشود [۱۸]. در دو تیمار بعدی یعنی تیمارهای ۳ و ۴ با جایگزین

۳-۲-۱- نتایج آزمون چگالی توده ای

مطابق جدول ۳ چگالی توده ای انواع شیرخشک بدون چربی از ۰/۴۹g/cm³ تا ۰/۶۴g/cm³ متغیر می باشد. کمترین میزان چگالی توده ای مربوط به نمونه شاهد به مقدار ۰/۴۹ g/cm³ بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری داشت (P < 0.05). همانطور که در جدول ۳ نشان داده می شود، ترکیبات مختلف تیمارها هر یک اثر متمایزی بر روی میزان چگالی توده های شیرخشک بدون چربی داشته اند. در مورد املاح، چگالی توده ای در تیمار های آزمایشی که حاوی NaCl در مقابل CaCl₂ بودند، افزایش یافت. همچنین از ترکیبات شلاته کننده، EDTA نسبت به SCD منجر به افزایش چگالی توده ای در تیمار های آزمایشی گردید. از میان امولسیفایرها، تیمارهای حاوی توئین ۸۰ نسبت به لسیتین، دارای چگالی توده ای بالاتر بودند. در این باره لالیبهری و همکاران (۲۰۱۴) می گویند در هنگام پوشش دهی گویچه های چربی توسط امولسیفایرها، لسیتین بر خلاف توئین ۸۰ کمپلکس های بزرگ و نامنظم ایجاد می کند [۸]. در ساختارهای نامنظم و بزرگ، هوای بیشتری بین ذرات محبوس شده و در پی آن چگالی توده ای کاهش می یابد [۳].

۳-۲-۲- نتایج آزمون توزیع اندازه ذرات

با توجه به اینکه میسل های کازئین تاثیر عمده ای بر روی خصوصیات باز آبدار شدن^۱ و سایر خصوصیات فیزیکی و عملکردی شیرخشک بدون چربی دارند، بنابراین اندازه و مورفولوژی ساختارهای آن ها نقش تعیین کننده در این مهم

2. Dynamic Light Scattering

1. Rehydration

گروه‌های فسفات کازئین شیر زیاد شد و در نهایت میسل‌های بیشتر و کوچکتری شکل گرفتند، تشکیل میسل‌های کوچک باعث پدید آمدن ذرات کوچکتر می‌گردد [۲۰]. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از CaCl_2 به همراه توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر بهترین نتیجه را از نظر میانگین اندازه ذرات داشت.

۳-۲-۳- نتایج آزمون پایداری حرارتی

شکل ۱ وضعیت کواگولاسیون ناشی از آزمون پایداری حرارتی را در نمونه‌های مختلف شیرخشک بدون چربی نشان می‌دهد. pH، یون کلسیم، فسفات‌ها و نمک‌های شلاته‌کننده از عوامل تاثیرگذار در ثبات حرارتی شیرخشک می‌باشند [۲۱]. در این تحقیق نتایج نشان دادند عوامل شلاته‌کننده و املاح نسبت به امولسیفایرها، از طریق تغییر ظرفیت بافری شیر تاثیر مهمتری بر پایداری حرارتی شیرخشک بدون چربی دارند. EDTA به عنوان یک شلاته‌کننده قوی از طریق شلاته کردن یون کلسیم و همچنین کاهش pH نسبت به SCD (جدول ۲) موجب کاهش پایداری حرارتی در شیرخشک بدون چربی شد. از سوی دیگر با افزایش یافتن یون کلسیم در تیمارهای حاوی CaCl_2 ، در پی تغییر در ساختار میسل کازئین و کاهش ظرفیت بافری شیر، پایداری حرارتی شیرخشک بدون چربی کاهش یافت [۱۶ و ۲۱].

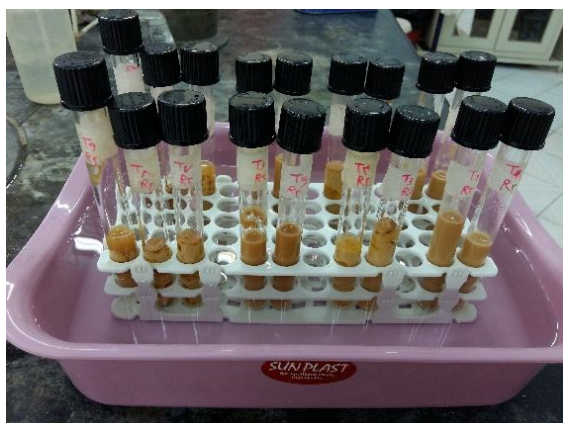
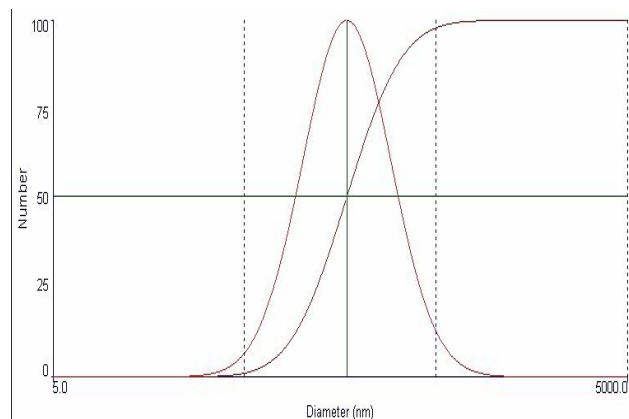


Fig 1 The tubes containing recombined skim milk powder after an autoclave thermal stability test.

سیکاندو همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند پایداری حرارتی شیرخشک با افزودن عوامل شلاته‌کننده افزایش می‌یابد و علت آن را کاهش یون کلسیم توسط عوامل شلاته‌کننده در شیر دانستند [۴]. بنابراین هر چند که EDTA با خاصیت

شدن عامل شلاته‌کننده به EDTA، این ماده تمایل شدید در چسبیدن به یون کلسیم داشته و غلظت آن را در شیر کاهش داد. با کاهش یافتن میزان کلسیم موجود در شیر، تعداد میسل‌های تولید شده در اثر پیوند کلسیم با شیر کم شده و در نتیجه اندازه میسل‌ها بزرگتر گردید که در پی آن اندازه ذرات شیر هم بزرگتر شدند. مشابه این نتیجه در پژوهشی که توسط گائو همکاران (۲۰۱۰) انجام گرفته بود، مشاهده گردید [۱۹]. عامل اثرگذار دیگر در تغییر اندازه ذرات انواع شیرخشک بدون چربی امولسیفایرها بودند؛ در این بین توئین ۸۰ بر خلاف لستین که تمایل به ترکیب شدن با پروتئین‌های شیر و ایجاد کمپلکس‌های بزرگ و غیر یکنواخت دارد، دارای تاثیر معنی‌دار در یکنواختی و کوچکتر کردن اندازه ذرات شیرخشک بدون چربی است [۸]. همچنان که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در دو تیمار ۵ و ۶ تغییر در املاح و تعویض NaCl به CaCl_2 ، منجر به افزایش تعداد پیوند کلسیم با گروه‌های فسفات کازئین شده و در نتیجه تعداد میسل‌های تولید شده افزایش یافته و اندازه ذرات آن‌ها کوچکتر گردید. در تیمارهای ۷ و ۸ با توجه به نتایج به دست آمده از تیمارهای قبلی، با افزایش یون کلسیمی بایست اندازه ذرات را در حضور EDTA بزرگتر کند ولی نتایج بررسی آزمون اندازه ذرات در تیمار ۸ نتیجه کاملاً متفاوتی را نشان دادند.



Rel. Num. = 100.00 Cum. Num. = 50.53 Diam. (nm) = 171.97

Chart 1 Particle size distribution in the sample of T8.

در این تیمار توئین ۸۰ اثر ممانعت‌کنندگی بر روی خاصیت شلاته شدن یون کلسیم توسط EDTA داشت که در نتیجه غلظت یون کلسیم بیشتر شد و در ادامه پیوندهای کلسیم با

۶- منابع

- [1] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (2011), Milk powder Specifications. ISIRI no 2012. [in Persian]
- [2] Bylund, G. (2003). Dairy processing handbook: Tetra Pak Processing Systems AB.
- [3] Schuck, P. (2011). Milk powder: physical and functional properties of milk powders. In: Academic Press.
- [4] Sikand, V., Tong, P., Vink, S., & Roy, S. J. J. o. d. s. (2016). Physicochemical properties of skim milk powders prepared with the addition of mineral chelators. *Journal of dairy science*, 99(6), 4146-4153.
- [5] Huppertz, T., & Fox, P. F. J. I. d. j. (2006). Effect of NaCl on some physico-chemical properties of concentrated bovine milk. *International dairy journal*, 16(10), 1142-1148.
- [6] Hussain, R., Gaiani, C., & Scher, J. J. J. o. F. E. (2012). From high milk protein powders to the rehydrated dispersions in variable ionic environments: A review. *Journal of food engineering*, 113(3), 486-503.
- [7] Millqvist-Fureby, A., & Smith, P. J. F. H. (2007). In-situ lecithination of dairy powders in spray-drying for confectionery applications. *Food Hydrocolloids*, 21(5-6), 920-927.
- [8] Lallbeeharry, P., Tian, Y., Fu, N., Wu, W., Woo, M., Selomulya, C., & Chen, X. J. J. o. d. s. (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.
- [9] Balde, A., & Aider, M. J. P. T. (2017). Effect of cryoconcentration, reverse osmosis and vacuum evaporation as concentration step of skim milk prior to drying on the powder properties. *Powder Technology*, 319, 463-471.
- [10] GEA Niro Method (2006). Determination of Powder Bulk Density. No. A2a .
- [11] Murrieta-Pazos, I., Gaiani, C., Galet, L., Cuq, B., Desobry, S., Scher, J. J. C., & Bionterfaces, S. B. (2011). Comparative study of particle structure evolution during water sorption: skim and whole milk powders. *Colloids and Surfaces B: Bionterfaces*, 87(1), 1-10.

شلاته کنندگی، یون کلسیم آزاد را در شیر کاهش داد ولی اثر قابل توجه آن با کاستن میزان pH، فاکتور مهمتری در پایداری حرارتی شیرخشک بود. در این تحقیق تیمارهایی که حاوی دو ترکیب SCD و NaCl بطور همزمان بودند، بهترین پایداری حرارتی را نسبت به سایر نمونه ها داشتند.

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد ترکیبات شلاته کننده، امولسیفایر و املاح سبب بهبود و تغییر مثبت در پایداری حرارتی، چگالی توده ای، اندازه ذرات و یکنواختی بیشتر در ریز ساختار شیرخشک بدون چربی می شوند. همچنین تیمارهای حاوی توئین ۸۰ از لحاظ اندازه ذرات، ریز ساختار و چگالی توده ای نسبت به سایر تیمارها برتری داشتند و موجب بهبود در این خصوصیات شدند. تیمار حاوی توئین ۸۰ EDTA و CaCl₂ نسبت به سایر تیمارها دارای توزیع اندازه ذرات بهتر و یکنواختی بیشتر در شیرخشک بدون چربی بودند. از سوی دیگر تیمار حاوی توئین ۸۰ SCD و NaCl بیشترین مقدار چگالی توده ای را در بین تیمارها به همراه داشت. همچنین نتایج نشان دادند ترکیبات امولسیفایری تاثیر معنی داری بر روی پایداری حرارتی شیرخشک بدون چربی ندارند، در حالیکه بر خلاف آنها ترکیبات شلاته کننده و املاح موجب بهبود پایداری حرارتی آن می گردند. در این پژوهش استفاده همزمان از SCD و NaCl، منجر به افزایش پایداری حرارتی شیرخشک بدون چربی گردید. بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد استفاده هم زمان از توئین ۸۰ SCD و NaCl در مقایسه با سایر تیمارها منجر به بهبود خصوصیات عملکردی شیرخشک بدون چربی می گردد.

۵- سپاسگزاری

از شرکت شیرخشک نوزاد پگاه شهرکرد و شرکت شیرپویان مهریز یزد که با در اختیار قراردادن تجهیزات و امکانات لازم، در تولید نمونه ها و انجام برخی آزمون ها همکاری وافر اشتند کمال تشکر و قدردانی بعمل می آید.

- [17] Eshpari, H., Tong, P., & Corredig, M. J. J. o. d. s. (2014). Changes in the physical properties, solubility, and heat stability of milk protein concentrates prepared from partially acidified milk. *Journal of dairy science*, 97(12), 7394-7401.
- [18] de Kort, E. J. (2012). Influence of calcium chelators on concentrated micellar casein solutions: from micellar structure to viscosity and heat stability.
- [19] Gao, R., van Halsema, F., Temminghoff, E., van Leeuwen, H., van Valenberg, H., Eisner, M., & van Boekel, M. J. F. c. (2010). Modelling ion composition in simulated milk ultrafiltrate (SMUF) II. Influence of pH, ionic strength and polyphosphates. *Food Chemistry*, 122(3), 710-715.
- [20] de Kort, E., Minor, M., Snoeren, T., van Hooijdonk, T., & van der Linden, E. J. I. D. J. (2011). Effect of calcium chelators on physical changes in casein micelles in concentrated micellar casein solutions. *International Dairy Journal*, 21(12), 907-913.
- [21] Crowley, S. V., Megemont, M., Gazi, I., Kelly, A. L., Huppertz, T., & O'Mahony, J. A. J. I. D. J. (2014). Heat stability of reconstituted milk protein concentrate powders. *International Dairy Journal*, 37(2), 104-110.
- [12] Kosasih, L., Bhandari, B., Prakash, S., Bansal, N., & Gaiani, C. J. J. o. F. E. (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.
- [13] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (1978). Determination of the ash content of processed cheese. ISIRI no 1755. [in Persian]
- [14] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (2006). Milk and milk products – Determination of titrable acidity and value pH – Test method. ISIRI no 2852. [in Persian]
- [15] Odagiri, S., & Nickerson, T. J. J. o. D. S. (1964). 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(12), 1306-1309.
- [16] Tan, K. E. (2016). Study of Rehydration Properties of Powder Produced from Chelated Skim Milk.

Effect of some chelating agents, emulsifiers and salts on functional characteristics of skim milk powder

Rajaei, M. H.¹, Daneshi, M.^{2,3*}, Hosein Vaezi⁴

1. M. Sc. graduated, Department of Food Science and Technology, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran
2. Assistant Professor, PhD, Department of Food Science and Technology, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran
3. Food and confectionary Research Center, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran
4. Assistant Professor, PhD, Department of Plant Breeding, Meibod Branch, Islamic Azad University, Meibod, Yazd, Iran

(Received: 2018/10/10 Accepted: 2019/05/04)

Physical and functional properties of the milk powder play an important role in the formulation of various food products. In this study, the effects of adding Lecithin (1%) and Tween 80 (0.1%) as emulsifiers, di sodium EDTA and sodium citrate dihydrate (SCD) each one 5 mM as chelating agents, NaCl (0.08%) and CaCl₂ (0.01%) as salts in improving Physical and functional characteristics of skim milk powder (thermal stability, bulk density and particle size distribution) were investigated. These compounds were added to skim milk prior to spray drying. The results showed that chelating agents and salts had different effects on the heat stability of milk powders when compared with the emulsifiers. The heat stability of milk powder enhanced when SCD and NaCl used simultaneously, while it was reduced significantly, with using EDTA and NaCl and consequently, the higher heat stability was found for powders produced by Tween 80, SCD and NaCl. The best particle size distribution and bulk density were observed for samples treated with Tween 80 and the milk powder produced by adding of Tween 80, EDTA and CaCl₂ led to better particle size distribution. In general, the results of this study showed that simultaneous use of Tween 80, SCD and NaCl resulted in improved functional characteristics of non-fat milk powder.

Keywords: Bulk density, Heat stability, Particle size distribution, Skim milk powder

*Corresponding Author E-Mail Address: mdaneshi@iauyazd.ac.ir