مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحات ۶۳-۵۵

بررسی امکان فرمولاسیون چربی با پروفایل اسیدچرب نزدیک به شیر مادر برای تولیدپودر شیر خشک نوزاد و مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی و تغذیه ای (از نظر اسیدهای چرب) پودر تولیدی

آیدا سلیمان زاده[۱]، وحید مفید[۲]، سیده مرضیه حسینی[۳]، کوشان نایب زاده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران پست الکترونیکی: vmofid@sbmu.ac.ir

۳- دانشیار دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: شیر مادر بهترین منبع تغذیه شیرخوران است؛ با این حال ممکن است تغذیه نوزاد با شیر مادر بنا به دلایل متفاوتی امکان پذیر نباشد، بنابراین شیر خشک شیرخواران با هدف تامین نیازهای تغذیه ای توسعه یافته اند که در تولید آن، تا حد ممکن از خصوصیات و مواد مغذی شیر مادر تقلید شود.

مواد و روش‌ها: روغن های گیاهی مختلف با هدف نزدیک شدن به پروفایل اسید چرب شیر مادر، به نسبت های مختلف با هم مخلوط شدند و سه فرمولاسیون روغن جهت تهیه پودر شیرخشک نوزاد تهیه شدند. از طرفی یک نمونه مخلوط روغن های گیاهی وارداتی که در فرمولاسیون شیرخشک نوزاد موجود در بازار نیز استفاده می شود، به عنوان شاهد استفاده شد.

یافته‌ها: چهار فرمولاسیون از نظر نزدیکی به پروفایل اسید چرب شیر مادر، قابل قبول بودند. فرمول ۲و ۳ به دلیل داشتن روغن هسته پالم، تامین کننده ی بهتر اسیدهای چرب کوتاه و متوسط بودند. پودرهای تولید شده در خواص فیزیکوشیمیایی مانند رطوبت، فعالیت آبی با هم تفاوت معناداری نداشتند.؛ در حالی که خواص بازسازی پودرها در آب با هم متفاوت بود و فرمول ۴ خواص بازسازی برتری نسبت به سایر فرمول ها داشت.

نتیجه‌گیری: خواص سطحی و ویژگی های مربوط به بازسازی پودر شیر خشک نوزاد میتواند متاثر از ترکیب و مخلوط روغن های گیاهی مورد استفاده در فرمولاسیون باشد.

واژگان کلیدی: شیر خشک نوزاد، مخلوط روغن های گیاهی، پروفایل اسید چرب شیر مادر، خواص بازسازی پودرشیرخشک

پیام‌های اصلی

- تهیه مخلوط روغن های گیاهی مورد استفاده در پودر شیرخشک نوزاد به طوری که پروفایل اسیدهای چرب آن نزدیک به پروفایل اسیدهای چرب شیر مادر باشد، وجود دارد.
- هرچه میزان اسیدهای چرب اشباع C۱۸-C۶ بیشتر و اسیدهای چرب غیراشباع C۱۸-C۱۶ کمتر باشد، تشکیل چربی سطحی بیشتر و در نتیجه خواص فیزیکوشیمیایی پودر شیرخشک نوزاد از جمله دانسیته، جریان پذیری و پیوستگی، نم پذیری، قابلیت پراکندگی و انحلال پذیری تحت تاثیر قرار می گیرد.
- برخی خواص فیزیکوشیمیایی پودر شیرخشک نوزاد مانند رطوبت و فعالیت آبی تحت تاثیر مخلوط روغن های گیاهی و ترکیب اسیدهای چرب قرار نمی‌گیرد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

• مقدمه

شیر مادر بنا به دلایل متعددی مانند ارزش تغذیه ای بالا، تقویت سیستم ایمنی، و ایمن بودن آن، به عنوان بهترین منبع تغذیه ی نوزاد شناخته می‌شود. این غذای ایده آل از ۸۷ ٪ آب، ۳/۸ ٪ چربی، ۱ ٪ پروتئین، و ۷ ٪ لاکتوز تشکیل شده است؛ با این حال میزان این ترکیبات، از جمله درصد چربی و نوع اسیدهای چرب شیر مادر، می تواند در طی دوران شیردهی، بسته به تغذیه، وضعیت سلامت مادر، و مرحله ی شیردهی متفاوت باشد. چربی موجود در شیر مادر، عمده ترین ترکیب تامین کننده ی انرژی (حدود ۵۰ درصد) مورد نیاز رشد نوزاد است و مخلوطی از حدود ۲۰۰ نوع اسید چرب است که اغلب به شکل تری آسیل گلیسرول می باشند (۱-۳).

با این وجود، تغذیه ی نوزاد با شیر مادر همیشه امکان پذیر نیست و تحت شرایطی که مادر قادر به شیردهی نباشد یا تصمیم به قطع شیردهی بگیرد، شیرخشک می تواند جایگزین مناسبی برای شیرمادر باشد (۴, ۵). طبق تعریف استاندارد کدکس، شیر خشک نوزاد محصولی است که به عنوان جایگزینی برای شیر مادر طراحی شده است تا نیازهای تغذیه‌ای نوزاد را در طی ماه های اولیه زندگی برآورده کند (۶).

در فرمولاسیون شیر خشک نوزاد ترکیبات عمده شامل کربوهیدرات ها، پروتئین‌ها، و چربی‌ها هستند، در حالی که ویتامین ها و مواد معدنی به عنوان ریزمغذی ها به کار می روند. تولیدکنندگان شیر خشک نوزاد به منظور تقلید از نسبت پروتئین آب پنیر به کازئین شیر مادر، نسبت این پروتئین ها را در شیر گاو از نسبت ۲۰ به ۸۰ ، به نسبت ۶۰ به ۴۰ می رسانند و به منظور تقلید از پروفایل اسیدهای چرب شیر مادر، معمولا چربی شیرگاو را خارج می‌کنند و با مخلوطی از روغن های گیاهی جایگزین می کنند. با این وجود، باید این مسئله را مورد توجه قرار داد که مخلوط روغن های گیاهی به کار برده شده در شیر خشک نوزاد، قادر به تأمین تمام ۲۰۰ نوع اسید چرب شیر مادر و پروفایل تری گلیسیریدهای آن نیستند. در واقع مخلوط روغن های گیاهی عموما به منظور دستیابی به برخی از اسیدهای چرب عمده ی شیر مادر به کار برده می شوند. تعدادی از روغن های گیاهی که عمدتاً در فرمولاسیون شیر خشک نوزاد به کار می روند شامل روغن های سویا، پالم، آفتابگردان، کانولا، نارگیل، ذرت، و سایر روغن های گیاهی می‌باشند (۷).

یکی از مهم ترین مراحل در فرآیند تولید شیر خشک نوزاد، مرحله خشک کردن پاششی می‌باشد که در این مرحله قطرات مایع، با از دست دادن تقریبا تمام آب موجود در خود، تبدیل به ذرات پودر می شوند (۸). در فرآیند خشک کردن پاششی دو پدیده صورت می گیرد: ۱) توسعه ی پوسته ی سطحی بعد از تبخیر رطوبت، و سپس تغلیظ اجزای جامد در سطح قطرات. ۲) مهاجرت اجزای شیرخشک به ویژه چربی، لاکتوز، و پروتئین به سطح ذرات به علت خروج سریع رطوبت. تفکیک اجزا که در طی خشک کردن پاششی اتفاق می افتد، منجر به تفاوت قابل توجهی بین ترکیبات سطحی و توده ای پودر می شود. از آن جایی که سطح ذرات پودر معمولا در حین رهیدراته شدن یا ذخیره در تماس مستقیم با محیط پیرامون(آب یا هوا) می باشد، ترکیب سطحی، نسبت به ترکیب توده ی پودر، نقش موثرتری در جا به جایی و کاربردهای نهایی پودر دارد (۹, ۱۰).

در پودرهای پرچرب، به دلیل ماهیت آبگریز بودن چربی، قرارگیری آن در سطح پودر می تواند منجر به تغییر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی پودر مانند خصوصیات جریان پذیری، چسبندگی، رهیدراته شدن و غیره، به علاوه ی عمر قفسه‌ای آن شامل اکسیداسیون چربی شود (۱۱-۱۴). بنابران، سنجش برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر، مانند نم‌پذیری، جریان پذیری، و پارامترهای رهیدراته شدن می تواند روش سودمندی جهت ارزیابی خصوصیات سطحی پودرها باشد (۱۵).

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مخلوط روغن‌های گیاهی مختلف با پروفایل اسید چرب نزدیک به شیر مادر بر خواص فیزیکوشیمیایی پودر تولیدی بود.

• مواد و روش‌ها

تهیه مخلوط روغن های گیاهی

از آنجایی که هدف این پژوهش، تهیه شیر خشک نوزاد با پروفایل اسید چرب نزدیک به شیر مادر می باشد و از طرفی ترکیب اسیدهای چرب شیر مادران مناطق مختلف دنیا بسته به رژیم غذایی متفاوت است، ترکیب میانگین اسیدهای چرب شیر مادران آسیا که توسط هاگمن و همکاران (۲۰۱۹) گرداوری شده، به عنوان الگویی جهت تقلید از اسیدهای چرب عمده مد نظر قرار گرفت (۱۶). باتوجه به نتایج به دست آمده از پروفایل اسیدهای چرب روغن های پیشنهادی و مقایسه ی آن با پروفایل اسید چرب شیر انسان، سه فرمول از مخلوط روغن های گیاهی (فرمول ۱ تا ۳) جهت استفاده در شیر خشک نوزاد پیشنهاد شد. هم چنین به منظور مقایسه ی فرمول های پیشنهادی با

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

فرمولاسیون موجود در بازار، مخلوط روغن های گیاهی مورد استفاده در یکی از شیرخشک های نوزاد موجود دربازار جهت تهیه پودر شیر خشک نوزاد تهیه شد (فرمول ۴) که نوع و درصد روغن های به کار رفته در هر چهار فرمول به شرح ذیل می باشد:

فرمول ۱: ۶۰٪ پالم اولئین، ۲۰٪ سویا، ۱۵٪ آفتابگردان، ۵٪ جانشین کره کاکائو.

فرمول۲: ۷۵٪ پالم اولئین، ۱۵٪ سویا، ۱۰٪ هسته پالم.

فرمول۳: ۵۰٪ پالم اولئین، ۲۵٪ هسته پالم، ۲۵٪ کانولا.

فرمول ۴ (با توجه مشخصات دریافتی از شرکت مربوطه): ٪ ۶۵ پالم، ۲۰٪ کانولا، ۱۵٪ آفتابگردان.

اندازه‌گیری پروفایل اسید های چرب مخلوط روغن‌های گیاهی

پروفایل اسیدهای چرب مخلوط روغن‌ها بعد از متیل استر شدن اسیدهای چرب، توسط کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله ای (Agilent, USA) ، اندازه‌گیری شد. پس از تزریق نمونه‌ها به دستگاه کروماتوگرافی گازی، منحنی رسم شده و زمان بازداری مربوط به هر اسید چرب با منحنی مربوط به اسید چرب استاندارد و زمان بازداری آن مقایسه گردید (۱۷).

تولید پودرهای شیر خشک نوزاد

چهار نمونه مخلوط تر از شیر خشک نوزاد در pH ۶/۸ (با افزودن سود ۰/۱ نرمال) تهیه شدند. این مخلوط ها با در نظر گرفتن نسبت پروتئین: چربی: لاکتوز موجود در شیر خشک‌های نوزاد مناسب برای بازه سنی ۶-۰ ماه، که برابر با ۱۵:۲۶:۵۹، و نسبت پروتئین آب پنیر: کازئین که برابر با ۶۰:۴۰ است، تهیه شدند. برای آماده سازی هر نمونه، ابتدا ۲۰۸ گرم پودر پروتئین آب پنیر دمینرال ۹۰٪ ، به تدریج در آب مقطر با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد اضافه شود و همزمان با اضافه کردن تدریجی پودر، مخلوط به صورت مداوم با کمک مخلوط کن پره ای (Ika-RW16,USA) با سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه مخلوط شد. پس از حل شدن پودر آب پنیر دمینرال، مقدار ۹۶ گرم پودر شیر خشک بدون چربی را به تدریج به آن اضافه و با پودر آب پنیر دمینرال مخلوط شد. بعد از بازسازی کامل پودرها در آب، ۱۰۸ گرم از مخلوط روغن های گیاهی تهیه شده برای هر نمونه پودر شیر خشک نوزاد را به مخلوط در حال هم زدن، اضافه کرده و در نهایت به حجم ۴۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد. به منظور پاستوریزاسیون مخلوط تهیه شده، هر مخلوط در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه در پاستوریزاتور صفحه‌ای (Hipex, Australia) حرارت داده شد و سپس هر مخلوط در هموژنایزر دو مرحله ای (GOMA-H102,India) در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در فشار ۱۷ مگاپاسکال هموژنیزه شد.

سپس، مخلوط‌های‌تر تهیه شده، با دستگاه خشک کن پاششی آزمایشگاهی (Buchi-B290,Switzerland) با دمای ورودی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای خروجی با کنترل کردن سرعت جریان خوراک و قدرت آسپیراتور، ۹۰ درجه سانتی‌گراد، فشار هوا ۹۰ درصد و ۲۰ درصد توان پمپ، با بازدهی خشک‌کن پاششی، ۴۰ درصد خشک شدند و به کیسه های پلاستیکی که نفوذپذیری کمی نسبت به هوا داشتند منتقل و در مکان تاریک با دمای محیط نگهداری شدند.

رطوبت و فعالیت آبی پودرها

برای تعیین مقدار رطوبت، حدود ۲ گرم از هر پودر در یک پتری دیش توزین شد و سپس به مدت ۳-۲ ساعت در آون با دمای ۲ ±۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در نهایت در یک دسیکاتور خنک و سپس مجددا توزین گردید تا زمانی که رطوبت کاملا خارج شده و به وزن ثابت برسد. سپس رطوبت پودرها از اختلاف وزن هر پودر، قبل و بعد از قرار گیری در آون محاسبه گردید. تعیین میزان فعالیت آبی (aw) پودرها با کمک دستگاه سنجش فعالیت آبی(Rotronic, Germany) صورت گرفت. بعد از کالیبراسیون، محفظه ی دستگاه تا دو سوم حجم محفظه پر و سپس فعالیت آبی نمونه ها در دمای ۲ ±۲۵درجه سانتی گراد اندازه گیری شد (۱۸).

دانسیته توده و دانسیته توده حاصل از ضربه

دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم از هر پودر به درون استوانه مدرج و از نسبت جرم پودر (گرم) به حجم اشغال شده (میلی لیتر) در استوانه مدرج، محاسبه گردید. دانسیته توده ای حاصل از ضربه، از ضربه به استوانه مدرج حاوی پودر تا رسیدن به حجم ثابت بدست می آید. در نهایت نسبت جرم پودر به حجم پودر حاصل از ضربه محاسبه گردید (۱۹, ۲۰).

جریان پذیری و پیوستگی

به منظور ارزیابی جریان پذیری و پیوستگی پودرها، به ترتیب اندیس کار (CI) و نسبت هاسنر (HR)، به کار گرفته شدند که نحوه ی محاسبه آن ها به شرح ذیل می باشد (۲۱):

$$CI = \text{دانسیته توده حاصل از ضربه} - \text{دانسیته توده حاصل از ضربه} / \text{دانسیته توده} \times 100$$

$$HR = \text{دانسیته توده حاصل از ضربه} / \text{دانسیته توده} \times 100$$

با توجه به معادلات بالا، ارتباط بین اندیس کار با جریان پذیری پودرها، و نسبت هاسنر با پیوستگی پودرها در جداول۱ و ۲ آورده شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

جدول۱. طبقه بندی جریان پذیری پودرها بر مبنای اندیس کار(۲۱).

اندیس کار (٪)	جریان پذیری
۱۵>	خیلی خوب
۱۵-۲۰	خوب
۲۰-۳۵	نسبتا خوب
۳۵-۴۵	بد
۴۵<	خیلی بد

جدول ۲. طبقه بندی پیوستگی پودرها بر مبنای نسبت هاسنر (۲۱).

نسبت هاستر	پیوستگی
۱/۲>	کم
۱/۲ -۱/۴	متوسط
۱/۴<	زیاد

نم پذیری پودرها

حدود ۰/۱ گرم از هر پودر از ارتفاع مشخص (۱۰ سانتی متر) به درون حجم مشخصی از آب مقطر (۱۰۰ میلی لیتر) که در بشر ریخته شده بود و دمای ۱±۲۵ درجه سانتی گراد داشت، ریخته شد و بطور همزمان زمان سنج روشن شد. سپس مدت زمان لازم برای خیس شدن تمام ذرات پودر ثبت گردید (۲۲).

قابلیت پراکندگی پودرها

حدود ۱ گرم از هر پودر به ۱۰ میلی لیتر آب مقطر با دمای ۱±۴۰ درجه سانتی گراد اضافه شد و سپس به وسیله هم زن شیشه ای هم زده شد.در نهایت شیر خشک بازسازی شده از الک با مش ۲۰۰ میکرومتر عبور داده شد و ماده خشک محلول فیلتر شده بعد از قرارگیری در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۷ ساعت، اندازه گیری شد (۲۲).

$$\text{قابلیت پراکندگی}\,(\%) = (w + a) \times \frac{Sp}{aSj}$$

a: وزن پودر اولیه، w: وزن آب مورد استفاده به منظور بازسازی پودر (برحسب گرم) ، Sp: درصد مواد جامد پودر شیر خشک، Sj: درصد ماده خشک شیر خشک بازسازی شده پس از عبور از الک.

انحلال پذیری

حدود ۱ گرم از هر پودر به دقت به ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک هم زن مغناطیسی ۷۰۰ دور در دقیقه به مدت ۴ دقیقه اضافه گردید. محلول حاصل سانتریفیوژ (Hetich, Germany) گردید. حجم ۲۵ میلی لیتر از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آون ۱۰۵ درجه سانتی گراد، به مدت ۵ ساعت خشک شد. وزن ماده جامد خشک شده نسبت به پودر اولیه بر حسب درصد، جهت تعیین مقدار انحلال پذیری در آب به کار رفت (۲۲).

ارزیابی آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده های این پژوهش با نرم افزار SPSS21 انجام و کلیه داده های توصیفی حاصل از آزمایشات به صورت میانگین و انحراف از معیار بیان می شود. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و برای تعیین تفاوت بین گروه ها از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده می‌شود.

• یافته‌ها

پروفایل اسیدهای چرب مخلوط روغن های گیاهی

جدول ۳ پروفایل اسیدهای چرب مخلوط روغن های گیاهی فرمولاسیون های روغن تهیه شده را نشان می‌دهد. از نظر اسیدهای چرب عمده، پالمتیک اسید در فرمولاسیون روغن ۳ کمترین مقدار و در فرمولاسیون روغن ۲ بیشترین مقدار را داشت؛ در حالیکه مقدار پالمتیک اسید در فرمولاسیون ۱ و ۴ تفاوت معناداری نداشتند. از نظر تامین اسیدهای چرب امگا ۳ و امگا ۶ فرمولاسیون ۴ غنی ترین فرمولاسیون بود. با این حال، فرمولاسیون ۴ از نظر اسیدهای چرب متوسط زنجیر (C8-C12) که نقش مهمی در تامین انرژی و رشد و نمو نوزادان دارد، کمترین مقادیر را به خود اختصاص داده و فرمولاسیون ۳ و ۲ از نظر این اسیدهای چرب مقادیر بیشتری را شامل شدند.

رطوبت و فعالیت آبی

جدول۴ نتایج رطوبت و فعالیت آبی پودرهای شیرخشک نوزاد تولید شده را نشان میدهد؛ تغییر نوع روغن های گیاهی به کار رفته در فرمولاسیون شیر خشک نوزاد، اثر معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) بر رطوبت و فعالیت آبی چهار نمونه پودر نداشته است.

دانسیته توده ای و توده ای حاصل از ضربه

مقادیر دانسیته توده ای و دانسیته توده ای حاصل از ضربه نمونه‌های ۱ تا ۴ نشان داد که نمونه ۳ و ۲ به ترتیب بیشترین دانسیته توده ای و توده ای حاصل از ضربه را داشته؛ درحالیکه نمونه ۴ کمترین دانسیته را به خود اختصاص داد (جدول۴).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

جدول ۳. پروفایل اسیدهای چرب مخلوط روغن های گیاهی

اسیدهای چرب	فرمول ۱	فرمول ۲	فرمول۳	فرمول ۴
C۶:۰	۰ a	۰ a	۰/۰۰ ± ۰/۰۳ b	۰/۰۱ ± ۰/۵۰ c
C ۸:۰	۰/۰۹ ± ۰/۱۸ b	۰/۰۳ ± ۰/۲۷ c	۰/۰۱ ± ۰/۵۹ d	۰/۰۰۵ ± /۱۵ a
C۱۰:۰	۰/۰۳ ± ۰/۱۵ b	۰/۰۱ ± ۰/۲۹ c	۰/۰۰ ± ۰/۶۲ d	۰/۰۰۲ ± ۰/۰۱ a
C۱۲:۰	۰/۲۸ ± ۱/۹۰ b	۰/۴۱ ± ۴/۳۵ c	۰/۸۱ ± ۸/۹۱ d	۰/۰۱ ± ۰/۱۶ a
C۱۴:۰	۰/۱۱ ± ۱/۱۲ ab	۰/۱ ± ۲/۱۱ b	۱/۰۱ ± ۳/۶۸ d	۰/۲ ± ۰/۶ a
C۱۶:۰	۲/۰۰ ± ۲۷/۳ b	۲/۲۰ ± ۳۲/۹۰ c	۱/۲۲ ± ۲۳/۴۲ c	۰/۳ ± ۵۱/۲۷ b
C۱۶:۱	۰/۰۲ ± ۰/۰۷ a	۰/۰۳ ± ۰/۰۷ a	۰/۰۲ ± ۰/۰۷ a	۰/۰۵ ± ۰/۲ b
C۱۷:۰	۰/۰۱ ± ۰/۰۵ a	۰/۰۴ ± ۰/۰۶ a	۰/۰۱ ± ۰/۰۵۹ a	۰/۰۱ ± ۰/۰۹ a
C۱۸:۰	۱/۰۲ ± ۴/۳۹ a	۱/۹۰ ± ۵/۴۷ ab	۰/۹۹ ± ۷/۴۵ b	۰/۰۲ ± ۳/۶۹ a
C۱۸:۱	۲/۱۲ ± ۳۵/۰۳ a	۲/۰۰ ± ۳۵/۹۶ a	۱/۰۳ ± ۴۰/۲۴ b	۱/۲ ± ۴/۸۸ c
C۱۸:۲	۱/۲۱ ± ۲۷/۳۹ d	۲/۰۲ ± ۱۶/۰۷ d	۱/۰۰ ± ۱۳/۰۶ a	۰/۹۰ ± ۱/۵۷ c
C۱۸:۳	۰/۲۲ ± ۱/۲۲ b	۰/۰۳ ± ۰/۷ b	۰/۰۱ ± ۰/۹ ab	۰/۳۱ ± ۱/۹۴ c
C ۲۰:۰	۰/۰۲ ± ۰/۰۳ a	۰/۰۱ ± ۰/۰۳ a	۰/۰۳ ± ۰/۲۹ b	۰/۰۳ ± ۰/۴ c
C ۲۰:۱	۰/۰۲ ± ۰/۱ b	۰/۰۲ ± ۰/۰۱ a	۰/۰۲ ± ۰/۴ ab	۰/۲ ± ۰/۴ c
C۲۲:۰	۰/۰۵ ± ۰/۱۸ b	۰/۰۱ ± ۰/۰۷ a	۰/۰۵ ± ۰/۱۵ ab	۰/۰۷ ± ۰/۲۴ c
C۲۴:۰	۰/۰۳ ± ۰/۲۳ a	۰/۴۱ ± ۱/۰۵ b	۰/۰۳ ± ۰/۷۷ b	۰/۰۱ ± ۰/۱۱ a

داده ها میانگین حداقل ۳ تکرار هستند (انحراف معیار±میانگین).
حروف متفاوت کنار اعداد نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ است($p<۰/۰۵$).
اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی دار ندارند ($p>۰/۰۵$).

جدول ۴. میزان رطوبت و فعالیت آبی پودرها

نمونه ها	میزان رطوبت(٪)	میزان فعالیت آبی	دانسیته توده ای(g/cm^3)	دانسیته توده ضربه ای (g/cm^3)
نمونه ۱	۰/ ۳۰ ± ۱/۵۲ a	۰/۰ ± ۰/۱۵ a	۰/۰۰ ± ۰/۲۱ b	۰/۰۰ ± ۰/۳۸ b
نمونه ۲	۰/۱۰ ± ۱/۷۰ a	۰/۰ ± ۰/۱۵ a	۰/۰۰ ±۰/۲۶ c	۰/۰۱ ± ۰/۵۰ d
نمونه ۳	۰/۸۷ ± ۱/۶۶ a	۰/۰ ± ۰/۱۶ a	۰/۰۰ ± ۰/۲۴ d	۰/۰۰ ± ۰/۴۳ c
نمونه ۴	۰/۱۵ ± ۱/۴۴ a	۰/۰ ± ۰/۱۶ a	۰/۰۰ ± ۰/۲۰ a	۰/۰۰ ± ۰/۳۴ a

داده ها میانگین حداقل ۳ تکرار هستند (انحراف معیار±میانگین).
حروف متفاوت کنار اعداد نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ است($p<۰/۰۵$).
اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی دار ندارند ($p>۰/۰۵$).

جریان پذیری و پیوستگی

از مقایسه ی اعداد بدست آمده اندیس کار و نسبت هاسنر (جدول۵) با جدول ۱و۲ می توان نتیجه گرفت که پودر شیر خشک نمونه ۲ کمترین میزان اندیس کار و در نتیجه کمترین جریان پذیری را داشته، در حالیکه نمونه ۴ در مقایسه با سایر نمونه ها جریان پذیری بیشتری داشته است. با این حال، به صورت کلی جریان پذیری پودرهای همه نمونه ها در محدوده ضعیف قرار دارد. هم چنین نسبت هاسنر تمام نمونه ها نشان داد که در محدوده ی پیوستگی بالا قرار دارند و نمونه ۲ بیشترین میزان پیوستگی را دارد، در حالی که نمونه ۴ کمترین میزان را به خود اختصاص داد.

نم پذیری پودرها

نتایج نم پذیری پودرها در جدول ۶ ذکر شده است. میانگین زمان نم پذیری پودرهای نمونه های ۱ تا ۴ بین ۳۰۵/۶۷ و ۳۶۰/۰۰ ثانیه قرار دارد. نمونه پودر ۲ دارای کمترین نم‌پذیری و بیشترین زمان لازم جهت نم پذیری بود در حالیکه پودر نمونه ۴ بهترین نم پذیری و کمترین زمان صرف شده را داشت که می‌تواند به دلیل نوع اسیدهای چرب و تأثیر آن بر ایجاد چربی سطحی و درنتیجه تغییر نم پذیری باشد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

قابلیت پراکندگی پودرها

جدول ۶ نشان دهنده ی میانگین انحلال پذیری پودرهای فرمولاسیون های ۱ تا ۴ می باشد. همان‌طور که نتایج قابلیت پراکندگی پودرها نشان می‌دهد، نمونه ۲ کمترین و نمونه ۴ بیشترین قابلیت پراکندگی را دارد.

انحلال پذیری پودرها

انحلال پذیری پودرهای فرمولاسیون های ۱ تا ۴ در جدول ۶ ذکر شده است. نتایج حاصل از مقایسه انحلال پذیری پودرها نشان می‌دهد که نمونه پودر ۲ کمترین و نمونه ۴ بیشترین انحلال پذیری را داشت.

جدول ۵. اندیس کار و نسبت هاسنر پودرها

نمونه ها	اندیس کار	نسبت هاسنر
نمونه ۱	۰/۴۳ ± ۰/۰۰ b	۱/۷۷ ± ۰/۰۰ b
نمونه ۲	۰/۴۷ ± ۰/۰۰ c	۱/۹۰ ± ۰/۰۱ c
نمونه ۳	۰/۴۳ ± ۰/۰۰ b	۱/۷۸ ± ۰/۰۰ b
نمونه ۴	۰/۴۱ ± ۰/۰۰ a	۱/۷۰ ± ۰/۰۰ a

داده ها میانگین حداقل ۳ تکرار هستند (انحراف معیار±میانگین).
حروف متفاوت کنار اعداد نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ است($p<۰/۰۵$).
اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی دار ندارند ($p>۰/۰۵$).

جدول ۶. نم پذیری، قابلیت پراکندگی و انحلال پذیری پودرها

نمونه ها	نم پذیری(ثانیه)	قابلیت پراکندگی(٪)	انحلال پذیری (٪)
نمونه ۱	۳۲۵/۳۳ ± ۴/۵۰ b	۸۳/۹۳ ± ۰/۶۵ c	۹۶/۰۶ ± ۰/۴۵ c
نمونه ۲	۳۳۹/۶۷ ± ۸/۵۰ c	۷۹/۵۰ ± ۰/۵۵ b	۹۴/۴۶ ± ۰/۴۹ b
نمونه ۳	۳۶۰/۰۰ ± ۴/۰۰ d	۷۷/۲۳ ± ۰/ ۷۵ a	۹۲/۷۳ ± ۰/۵۶ a
نمونه ۴	۳۰۵/۶۷ ± ۶/۰۲ a	۸۶/۶۰ ± ۰/۹۵ d	۹۷/۷۶ ± ۰/۴۱ d

داده ها میانگین حداقل ۳ تکرار هستند (انحراف معیار±میانگین).
حروف متفاوت کنار اعداد نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ است($p<۰/۰۵$).
اعداد دارای حروف مشترک اختلاف معنی دار ندارند ($p>۰/۰۵$).

• بحث

پروفایل اسیدهای چرب مخلوط روغن های گیاهی

طبق نتایج بدست آمده در جدول۱می توان نتیجه گرفت که هر چهار فرمول از نظر نزدیکی به پروفایل اسید چرب شیر مادر در محدوده ی قابل قبولی در مقایسه با شیر مادر قرار دارند. طبق مطالعات Kim و همکاران (۲۰۰۵)، چربی سطحی غلظت های نسبتا بالاتری از اسیدهای چرب اشباع C۶-C۱۸ و میزان نسبتا پایین تری از اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸ را در مقایسه با چربی لایه های درونی پودر شامل می شود (۲۳). فرمولاسیون ۲ در مقایسه با سایر فرمول ها بیشترین میزان اسیدهای چرب اشباع C۶-C۱۸ و کمترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸ را دارد، در حالیکه فرمولاسیون ۴ کمترین میزان اسیدهای چرب اشباع C۶-C۱۸ و بیشترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸ را دارد. این تفاوت می‌تواند بر روی خواص فیزیکوشیمیایی پودر مؤثر باشد.

رطوبت و فعالیت آبی

این نتایج در راستای مطالعات Kelly و همکاران (۲۰۱۴) و Szulk و همکاران (۲۰۱۶)، است که نشان دادند تغییر نوع روغن های پودر شیرخشک نوزاد منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار در رطوبت و فعالیت ابی پودرها نمیشود (۱۸, ۲۳).

دانسیته توده ای و دانسیته توده ای حاصل از ضربه

از جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که حضور بیشتر چربی در سطح منجر به چسبندگی بیشتر پودرها و کاهش فضای بین ذرات پودر و افزایش دانسیته های توده ای شده بود، در حالی که نمونه ۴ کمترین دانسیته توده‌ای و توده ای حاصل از ضربه را داشت که نشان دهنده فضای بین ذره‌ای بیشتر و در نتیجه دانسیته توده ای کمتری می باشد. تفاوت در میزان چربی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

سطحی پودرها و در نتیجه تفاوت دانسیته های توده ای می تواند با یافته های Kim و همکاران (۲۰۰۵) که به بررسی خصوصیات ذوب چربی سطحی پودرهای لبنی خشک شده به روش پاششی اشاره داشتند، تفسیر شود. این پژوهشگران دریافتند که ویژگی های مرتبط با سطح ذرات پودر، توسط خصوصیات ذوب چربی موجود در سطح پودرها تعیین می شود؛ از طرفی ترکیب اسیدهای چرب هم یک پارامتر مهم و اساسی در تعیین خصوصیات ذوب چربی شیر بوده است. بررسی ها نشان داد که چربی سطحی غلظت های نسبتا بالاتری از اسیدهای چرب اشباع C۶-C۱۸ و میزان نسبتا پایین تری از اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸ را در مقایسه با چربی لایه‌های درونی پودر شامل می شود (۲۴). از مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری دانسیته های توده ای چهار فرمولاسیون پودر شیر خشک نوزاد، می‌توان نتیجه گرفت که کمتر بودن دانسیته‌های توده‌ای و توده ای حاصل از ضربه را در نمونه ۴، به دلیل کمتر بودن اسیدهای چرب C۱۶-C۱۸ و بیشتر بودن اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸ بوده که در راستای نظریه Kim و همکاران توجیه پذیر می‌باشد. هم چنین نمونه ۲ به دلیل داشتن غلظت های نسبتاً بالاتری از اسیدهای چرب اشباع C۶-C۱۸ و میزان نسبتاً پایین‌تری از اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸، چربی سطحی بیشتر و در نتیجه چسبندگی و دانسیته توده ای بیشتری دارد.

جریان پذیری و پیوستگی

از انجایی که در این پژوهش، از پودرهای شیر خشک حاوی چربی استفاده شد که منجر به حضور چربی در سطح ذرات شد لذا طبق نظریه ی Kim و همکاران بر جریان پودر تأثیر داشت (۲۳). این پدیده به این علت رخ می دهد که دمای بالای فرایند خشک کردن موجب ذوب چربی و در نتیجه ایجاد مایع چسبنده، لاستیکی (rubbery)، و ویسکوز می شود و در نتیجه چسبندگی ذرات را به هم افزایش می دهد و جریان پذیری پودر کاهش می یابد (۲۵). مقایسه مقادیر اندیس کار و نسبت هاسنر نمونه ها نشان داد که وجود چربی سطحی بیشتر منجر به کاهش قابلیت جریان پذیری و افزایش میزان پیوستگی پودرها می شود.

نم پذیری پودرها

نم پذیری پودرها میتواند به دلیل نوع اسیدهای چرب و تأثیر آن بر ایجاد چربی سطحی و درنتیجه تغییر نم پذیری باشد. چربی سطحی غلظت های نسبتا بالاتری از اسیدهای چرب اشباع C۶-C۱۸ و میزان نسبتاً پایین‌تری از اسیدهای چرب غیراشباع C۱۶-C۱۸ را در مقایسه با چربی لایه های درونی پودر شامل می شود. هرچه میزان چربی سطحی بیشتر باشد، نم پذیری پودر کاهش می یابد. این نتایج در راستای پژوهش Himmetagaoglu و همکاران (۲۰۱۸) می باشدکه ثابت کردند بین چربی سطحی و نم‌پذیری پودر همبستگی وجود دارد (۲۶).

قابلیت پراکندگی پودرها

نتایج نشان داده است که هرچه چربی سطحی بیشتر، قابلیت پراکندگی کمتر میشود. بنابراین میتوان نتیجه گرفت نمونه ۲ به دلیل نوع اسیدهای چرب آن، چربی سطحی بیشتری ایجاد کرده است. این نتایج در راستای مطالعات Nugroho و همکاران (۲۰۲۱) است که ثابت کردند بین چربی سطحی و قابلیت پراکندگی رابطه عکس وجود دارد (۲۷).

انحلال پذیری پودرها

تفاوت در انحلال پذیری پودرها نیز مانند سایر خواص بازسازی پودر در ارتباط با چربی سطحی و اسیدهای چرب فرمولاسیون هاست. این نتایج در راستای پژوهش های Paterson و همکاران (۲۰۰۶) است که بیان می کند چربی سطحی بالا منجر به ویژگی های نامطلوب محصول نهایی از جمله انحلال‌پذیری کم می شود (۲۸).

نتیجه گیری

امکان تهیه مخلوط روغن های گیاهی مورد استفاده در پودر شیر خشک نوزاد بطوریکه پروفایل اسیدهای چرب آن، نزدیک به پروفایل اسیدهای چرب شیر مادر باشد وجود دارد. برخی خواص فیزیکوشیمیایی مانند رطوبت و فعالیت آبی برخلاف خواص بازسازی پودرها تحت تاثیر مخلوط روغن های گیاهی و ترکیب اسیدهای چرب قرار نمی‌گیرند.

• References

1. Kallio H, Nylund M, Boström P, Yang B. Triacylglycerol regioisomers in human milk resolved with an algorithmic novel electrospray ionization tandem mass spectrometry method. Food chemistry. 2017;233:351-60.
2. Martin CR, Ling P-R, Blackburn GL. Review of Infant Feeding: Key Features of Breast Milk and Infant Formula. Nutrients. 2016;8(5):279.
3. Wang X, Huang Z, Hua L, Zou F, Cheng X, Wang X. Preparation of human milk fat substitutes similar to human milk fat by enzymatic acidolysis and physical blending. LWT. 2021;140:110818.
4. Lessen R, Kavanagh K. Position of the academy of nutrition and dietetics: promoting and supporting breastfeeding. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2015;115(3):444-9.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

5. Breastfeeding and the use of human milk. Pediatrics. 2012;129(3):e827-41.

6. ALIMENTARIUS C. STANDARD FOR INFANT FORMULA AND FORMULAS FOR SPECIAL MEDICAL PURPOSES INTENDED FOR INFANTS. Amended in 2020,Revised in 2007.

7. Long AC, Kaiser JL, Katz GE. Lipids in infant formulas: Current and future innovations. Lipid Technology. 2013;25(6):127-9.

8. Birchal V, Passos ML, Wildhagen G, Mujumdar A. Effect of Spray-Dryer Operating Variables on the Whole Milk Powder Quality. Drying Technology - DRY TECHNOL. 2005;23:611-36.

9. Hindmarsh JP, Russell AB, Chen XD. Fundamentals of the spray freezing of foods—microstructure of frozen droplets. Journal of Food Engineering. 2007;78(1):136-50.

10. Jones JR, Prime D, Leaper MC, Richardson DJ, Rielly CD, Stapley AGF. Effect of processing variables and bulk composition on the surface composition of spray dried powders of a model food system. Journal of Food Engineering. 2013;118(1):19-30.

11. Masum AKM, Chandrapala J, Adhikari B, Huppertz T, Zisu B. Effect of lactose-to-maltodextrin ratio on emulsion stability and physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders. Journal of Food Engineering. 2019;254:34-41.

12. Masum AKM, Chandrapala J, Huppertz T, Adhikari B, Zisu B. Influence of drying temperatures and storage parameters on the physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders. International Dairy Journal. 2020;105:104696.

13. Sharma A, Jana AH, Chavan RS. Functionality of Milk Powders and Milk-Based Powders for End Use Applications—A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2012;11(5):518-28.

14. Walton DE. THE MORPHOLOGY OF SPRAY-DRIED PARTICLES A QUALITATIVE VIEW. Drying Technology. 2000;18(9):1943-86.

15. Nikolova Y, Petit J, Gianfrancesco A, Sanders CFW, Scher J, Gaiani C. Impact of Spray-Drying Process Parameters on Dairy Powder Surface Composition and Properties. Drying Technology. 2015;33(13):1654-61.

16. Hageman JHJ, Danielsen M, Nieuwenhuizen AG, Feitsma AL, Dalsgaard TK. Comparison of bovine milk fat and vegetable fat for infant formula: Implications for infant health. International Dairy Journal. 2019;92:37-49.

17. de Figueiredo Furtado G, da Silva Carvalho AG, Hubinger MD. Model infant formulas: Influence of types of whey proteins and oil composition on emulsion and powder properties. Journal of Food Engineering. 2021;292:110256.

18. Szulc K, Lenart A. Effect of Agglomeration on Flowability of Baby Food Powders. Journal of food science. 2010;75(5):E276-E84.

19. Szulc K, Nazarko J, Ostrowska-Ligęza E, Lenart A. Effect of fat replacement on flow and thermal properties of dairy powders. LWT - Food Science and Technology. 2016;68:653-8.

20. Caparino OA, Tang J, Nindo CI, Sablani SS, Powers JR, Fellman JK. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. Journal of Food Engineering. 2012;111(1):135-48.

21. Olayemi O, Oyi AR, Allagh TS. Comparative evaluation of maize, rice and wheat starch powders as pharmaceutical excipients. J Pharm Sci. 2008;7:131-8.

22. Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering. 2008;84(2):194-205.

23. Kim EH, Chen XD, Pearce D. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. Colloids and surfaces B, Biointerfaces. 2005;46(3):182-7.

24. J. Kim EH, Chen XD, Pearce D. Melting characteristics of fat present on the surface of industrial spray-dried dairy powders. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2005;42(1):1-8.

25. Fitzpatrick JJ, Iqbal T, Delaney C, Twomey T, Keogh MK. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. Journal of Food Engineering. 2004;64(4):435-44.

26. Himmetagaoglu AB, Erbay Z. Effects of spray drying process conditions on the quality properties of microencapsulated cream powder. International Dairy Journal. 2019;88:60-70.

27. Nugroho RWN, Outinen M, Toikkanen O, Rojas OJ. Particle size and fat encapsulation define the colloidal dispersibility and reconstitution of growing-up milk powder. Powder Technology. 2021;391:133-41.

28. Paterson A, Zuo J, Bronlund J, Chatterjee R. Stickiness curves of high fat dairy powders using the particle gun. International Dairy Journal. 2007;17:998-1005.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]

Investigating Possibility of Formulating Fat Mimicking Breast Milk Fatty Acid Profile Inorder to Produce Infant Formula Powder and Comparing the Physicochemical and Nutritional (in Terms of Fatty Acids) Properties of Produced Powder

Soleimanzadeh A[1], Mofid V[1], Hosseini M[3], Nayebzadeh K[3]*

1- Dept. of Food Sciences, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition, and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*2- *Corresponding author: Assistant Prof, Dept. of Food Sciences, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition, and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: vmofid@sbmu.ac.ir*

3- Associate Prof , Dept. of Food Sciences, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition, and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received 8 Mar, 2025 **Accepted 16 Aug, 2025**

Background and Objectives: Infant formula has been developed with the aim to meet the nutritional needs of infants, and in its production, it is tried to imitate the characteristics of mother's milk as much as possible.

Materials & Methods: In this research, three oil formulations were prepared with different vegetable oils in different proportions with the aim of approaching the fatty acid profile of breast milk. Also, an infant formula s' vegetable oil blend which was available in the market used so, as formula 4. Therefore, four infant formula powders were prepared with fatty acid profile close to breast milk.

Results: Although all four formulas were close to breast milk fatty acid profile, formula 2 and 3 were better for supplying short and medium chain fatty acids. The water activity and moisture content of the four powders were not significantly different, on the other hand their reconstitution properties showed significant differences between the IF powder samples.

Conclusion: Different vegetable oil blends can result in different powder surface characteristics and reconstitution properties.

Keywords: Infant formula, Vegetable oil blend, Fatty acid profile, Powder Reconstitution properties

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-03]