

## مدلسازی ویژگی‌های فیزیکی (ویسکوزیته، دانسیته و رنگ) شیر شتر به عنوان تابعی از درصد چربی و دما

مرتضی کاشانی نژاد<sup>۱</sup> و سید محمد علی رضوی<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ و استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۵

### چکیده

در این تحقیق، اثر چربی (در دامنه ۰/۲ تا ۵/۸ درصد) و دما (در دامنه ۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس) بر ویسکوزیته، دانسیته، رنگ و افت فشار ناشی از اصطکاک به ازای واحد طول لوله خط جریان شیر شتر بررسی و با استفاده از روش سطح پاسخ (در قالب طرح مرکب مرکزی) مدلسازی شد. نتایج آنالیز داده‌های دانسیته نشان داد که با افزایش میزان چربی، دانسیته نمونه‌ها در همه بازه‌های دمایی مورد آزمون کاهش یافته است. افزایش دما نیز منجر به کاهش دانسیته نمونه‌های حاوی چربی بالا شد، ولی بر نمونه حاوی ۰/۲ درصد چربی اثر چندانی نداشت. نتایج بررسی ویسکوزیته نشان داد که افزایش دما منجر به کاهش ویسکوزیته نمونه‌های حاوی چربی بالا شد. با افزایش میزان چربی، ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافت که البته افزایش ویسکوزیته ناشی از افزایش چربی در دماهای پایین بسیار بیشتر بود تا در دماهای بالا. نتایج حاصل از اندازه‌گیری رنگ نیز نشان داد که با افزایش چربی، تنها شاخص  $b^*$  نمونه‌ها به طور معنی‌دار افزایش یافته است و دما اثر معنی‌داری بر سایر شاخص‌های رنگی نداشت. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، هیچ یک از اثرهای خطی، درجه دوم و متقابل چربی و دما بر افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله نمونه‌ها معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) نبود.

### واژه‌های کلیدی

افت فشار ناشی از اصطکاک، روش سطح پاسخ، شاخص‌های رنگ

### مقدمه

استفاده بهینه از امکانات طبیعی موجود است. شتر از دام‌هایی است که در بسیاری از مناطق کشور ما اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌تواند به عنوان منبع مهم تولید شیر محسوب گردد. بر اساس آمار سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO, 2008)، تعداد شتر گزارش شده در دنیا ۲۰ میلیون نفر و میزان تولید شیر شتر در جهان در حدود ۵/۳ میلیون تن در سال است. به طور متوسط شیر شتر متشکل از

کمبود مواد غذایی یکی از بزرگترین مشکلات فراوری کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود. ایران با وجود برخورداری از امکانات طبیعی بالقوه در تولید بسیاری از مواد غذایی به حد خودکفایی در مصرف آن، به حد استانداردهای بین‌المللی نرسیده است. تولید مواد غذایی به ویژه در نواحی گرم و خشک ایران دشوار است و راه غلبه بر این دشواری

چربی دارد و از آنجایی که میسل‌های کازئین و گلبول‌های چربی نقش اصلی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی از جمله ویسکوزیته و دانسیته دارند (Fox *et al.*, 2015) هرگونه تغییر در مقدار و ماهیت فیزیکی پروتئین‌ها و چربی باعث تغییر در ویسکوزیته و دانسیته می‌شود. از این رو انتظار می‌رود ویژگی‌های فیزیکی شیر شتر با ویژگی‌های فیزیکی شیر سایر دام‌ها از جمله گاو متفاوت باشد. اگرچه اثر چربی و دما بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر گاو و محصولات لبنی آن به طور گسترده‌ای مطالعه شده است، اما اطلاعات در مورد خواص فیزیکوشیمیایی شیر شتر بسیار اندک است.

فرح (Farah, 1966) می‌گوید چگالی و ویسکوزیته شیر شتر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به ترتیب معادل ۱/۰۲۹ و ۱/۷۲ سنتی پواز است و ویسکوزیته شیر شتر، در شرایط مشابه ماده خشک، کمتر از ویسکوزیته شیر گاو (۲/۰ سنتی پواز) است. در مقابل، حسن و همکاران (Hassan *et al.*, 1987) گزارش کرده‌اند که ویسکوزیته شیر شترهای مصری ۲/۲ سنتی پواز و بیشتر از ویسکوزیته شیر گاو (۱/۷ سنتی پواز) و شیر بز (۲/۱۲ سنتی پواز) و کمتر از ویسکوزیته شیر گوسفند (۲/۴۸ سنتی پواز) و مشابه ویسکوزیته شیر بوفالو (۲/۲ سنتی پواز) است. مهیا و همکاران (Mehaia *et al.*, 1995) می‌گویند نقطه ذوب و دمای جامد شدن چربی شیر شتر بیشتر از نقطه ذوب و دمای جامد شدن چربی شیر گاو است و تنها در دمای بالای ۲۰ درجه سلسیوس می‌توان از خامه شیر شتر کره تولید کرد، در حالی که در مورد شیر گاو می‌توان در دمای ۸ تا ۱۲ درجه سلسیوس کره تولید کرد.

عطیه و همکاران (Attia *et al.*, 2000) نتیجه گرفته‌اند استخراج چربی شیر شتر با روش‌های

۳/۳۵ درصد پروتئین، ۴/۴۶ درصد لاکتوز، ۳/۸۲ درصد چربی، ۰/۷۹ درصد خاکستر و ۱۲/۴۷ درصد مواد جامد است. (El-Agamy, 2000) در میان این ترکیبات، چربی به دلایل تغذیه‌ای و اثرگذاری فراوان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر اهمیت بالایی دارد. چربی شیر از نظر تغذیه‌ای به عنوان منبع انرژی، ویتامین‌های انحلال‌پذیر در چربی و اسیدهای چرب ضروری ایفای نقش می‌کند، بنابراین محصولات چرب حاصل از شیر شتر می‌تواند به عنوان منبع غذایی مناسب مصرف شوند. بررسی الگوی کلی اسیدهای چرب شیر شتر در مقایسه با شیر سایر گونه‌ها مانند گاو، بز و گوسفند نشان می‌دهد که اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (C<sub>4</sub>-C<sub>12</sub>) به میزان بسیار کمتری در شیر شتر یافت می‌شود. اما غلظت اسیدهای چرب C<sub>14:0</sub>، C<sub>16:0</sub> و C<sub>18:0</sub> نسبتاً زیاد و میزان C<sub>16:1</sub> بیشتر است. نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع در شیر شتر بیشتر است تا در شیر سایر گونه‌ها (Hagrass *et al.*, 1987). از نظر متابولیسم بدن، وجود مقدار بیشتر اسیدهای چرب غیر اشباع در شیر شتر (۴۳/۱ درصد)، در مقایسه با شیر گاو (۳۸/۸ درصد)، مناسب است. علاوه بر این، شیر شتر حاوی مقادیر قابل توجهی از اسیدهای چرب ضروری C<sub>18:2n-6</sub> است (Omar & Hamad, 2010).

ویژگی‌های فیزیکی شیر از جمله ویسکوزیته و دانسیته شاخص‌هایی مهم برای بررسی بسیاری از خواص حسی و کیفی محصول هستند و در محاسبات مهندسی جریان سیالات (توان مورد نیاز پمپ)، سرعت انتقال جرم و انتقال حرارت (طراحی مبدل‌های حرارتی) بااهمیت‌اند (Dennis *et al.*, 2019). خواص فیزیکی شیر و فرآورده‌های شیری بستگی به دما و مقدار مواد جامد از جمله میزان

سنتی از شیرترش بسیار مشکل است.

می‌رسیدند.

با بررسی دقیق منابع انتشار یافته می‌توان دریافت که در آنها تنها ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر شتر گزارش شده است و اثر عوامل مختلف از جمله دما و میزان چربی بر خواص فیزیکوشیمیایی شیر بررسی نشده است. در این تحقیق، به منظور درک صحیح از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر شتر و جمع‌آوری اطلاعات فیزیکی لازم برای طراحی و محاسبات کارخانه فرآوری شیر شتر لازم است مهمترین عوامل تأثیرگذار بر این ویژگی‌ها از جمله دما و میزان چربی نیز به صورت همزمان بررسی گردند. به‌طور خلاصه، هدف از این تحقیق مطالعه اثر تغییرات دما و میزان چربی بر ویسکوزیته، دانسیته، رنگ و افت فشار ناشی از اصطکاک (مربوط به طول لوله در جابه‌جایی شیر شتر) با استفاده از روش سطح پاسخ است.

### اندازه‌گیری دانسیته

در این تحقیق از روش پیکنومتری برای اندازه‌گیری دانسیته نمونه‌ها استفاده شد (Paquot & Hautfenne, 1987). برای این منظور پس از توزین پیکنومتر خالی و خشک، حجم معینی (۲۵ میلی‌لیتر) از نمونه به درون پیکنومتر ریخته و با توزین مجدد، دانسیته با جاگذاری داده‌ها در رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\rho = \frac{a-b}{c} \quad (1)$$

که در آن،

a = وزن نمونه + پیکنومتر؛ b = وزن پیکنومتر خالی؛ و c = حجم پیکنومتر.

اندازه‌گیری‌ها در دماهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس و در ۲ تکرار دنبال شد.

### مواد روش‌ها

#### روش تهیه نمونه‌ها

شیر شتر (محتوی ۸/۱ درصد ماده خشک بدون چربی) از بازار محلی مشهد در مجتمع آموزشی - تحقیقاتی صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد و پس از پیش‌گرم شدن (۳۷ درجه سلسیوس)، چربی آن با سپراتور به حد ۰/۲ درصد چربی (چربی شیر پس چرخ) رسانده شد. سپس، با استفاده از مربع پیروسون مخلوط شیر پس چرخ و چربی تولیدی، نمونه‌هایی با ۱، ۳، ۵ و ۸/۵ درصد چربی تهیه شدند. پس از پاستوریزاسیون (روش غیرمداوم)، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس در لیوان پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در همان دما تا آغاز آزمون‌ها در یخچال نگهداری شدند. قبل از هر آزمون نیز نمونه‌ها به دمای مورد نظر تیمارهای طرح

### آنالیز رنگ

برای ارزیابی رنگ از روش پردازش تصویر استفاده شد (Kashaninejad et al., 2017b). به‌منظور عکس‌برداری از نمونه‌ها، ۵۰ گرم از هر نمونه درون پیپت آزمایشگاهی ریخته شد. تجهیزات عکس‌برداری شامل یک اتاقلک تاریک (برای جلوگیری از ایجاد نوسان در عکس‌برداری و بازتاب نیافتن نور) و شش لامپ فلورسنت بود. عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتال Canon PowerShot A550 متصل به رایانه صورت گرفت. دوربین در فاصله ۱۵ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آن روی پایه ثابت قرار داده شد. کلیه تصاویر با فرمت JPG و دارای وضوح ۲۵۰۰×۲۰۰۰ پیکسل در قالب مدل رنگی RGB تهیه شدند. به منظور حذف بخش‌های اضافه تصویر و نیز کاهش حجم کار پردازش تصویر،

C = فاکتور همبستگی (بدون بعد)؛ d = قطر گوی؛  
D = قطر داخلی گوی؛  $u_i$  = سرعت نهایی گوی؛  $\rho_l$  =  
چگالی سیال؛ و  $\theta$  = زاویه شیب نسبت به افق.

با توجه به ثابت بودن دستگاه و مقادیر  $\theta$ ، D، d و C به جای رابطه ۲ از رابطه ۳ برای محاسبه ویسکوزیته نمونه‌ها در دماهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس استفاده گردید.

$$\mu = \frac{K(\rho_s - \rho_L)}{u_i} \quad (3)$$

که در آن،

K = ضریب ویسکومتر و برابر است با

$$K = \frac{5\pi}{42} Cg \sin \theta (D + d)$$

مقدار ضریب ویسکومتر بر اساس کاتالوگ شرکت سازنده دستگاه معادل ۰/۰۰۹۵۷۷ در نظر گرفته شد.

### طرح آزمایش و آنالیز آماری

در این طرح، تیمارهای فرایند به روش کاملاً تصادفی در قالب طرح مرکب مرکزی<sup>۱</sup> (CCD) (۵ تکرار در نقطه مرکزی) برای دو متغیر مستقل (درصد چربی (F) (۵/۸ - ۰/۲ درصد) و دما (T)) ۱۰-۳۵ درجه سلسیوس) و در پنج سطح اجرا شد به صورتی که تعداد کل نمونه‌ها ۱۳ به دست آمد (جدول ۱). نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری Design-Expert نسخه 10 به روش سطح پاسخ<sup>۲</sup> (R.S.M) آنالیز و مدلسازی شد و هر یک از متغیرهای پاسخ (ویسکوزیته ( $\mu$ ))، دانسیته ( $\rho$ ) و شاخص‌های رنگ ( $L^*$  و  $a^*$  و  $b^*$ ) در قالب مدل رگرسیون چند جمله‌ای زیر به صورت تابعی از متغیرهای مستقل ارائه شدند:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

در ابتدا برشی از تصویرها به ابعاد  $500 \times 500$  با استفاده از نرم‌افزار Image J به دست آمد و پس از آن آنالیز تصاویر نیز با استفاده از نرم‌افزار Image J (National Institute of Health, USA) صورت پذیرفت. از فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  CIE نیز برای تعیین پارامترهای رنگ نمونه‌ها شامل  $L^*$  (سیاه صفر تا سفید ۱۰۰)،  $a^*$  (قرمز ۶۰ تا سبز -۶۰) و  $b^*$  (زرد ۶۰ تا آبی -۶۰) استفاده شد که میانگین مقادیر  $L^*$  و  $a^*$  و  $b^*$  برای ۱۶ نمونه در دو تکرار اندازه‌گیری شد.

### اندازه‌گیری ویسکوزیته

در این تحقیق از ویسکومتر گوی غلتکی هاپلر<sup>۱</sup> برای اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌های مورد آزمون استفاده شد. طول لوله ویسکومتر ۲۰ سانتی‌متر و قطر دهانه آن ۱۶ میلی‌متر بود و لوله ویسکومتر نیز با شیبی در حدود ۱۰ درجه نسبت به سطح قائم، داخل ظرف استوانه‌ای شیشه‌ای به قطر ۸۰ میلی‌متر قرار داشت. داخل ظرف شیشه‌ای نیز حمام آب با دمای ثابت سیرکوله شد. هنگام آزمون، در پیچی از لوله برداشته و لوله از نمونه پر شد (حدود ۳۰ میلی‌لیتر) و گوی داخل لوله قرار داده شد و پس از خارج کردن تمامی هوای داخل لوله در پیچی گذاشته شد. وقتی دمای آب به دمای تعادل مد نظر رسید لوله برگردانده شد و با کرنومتر زمان سقوط گوی بین دو علامت در شیشه ثبت گردید. سپس بر اساس معادله هوبارد و براون (Hubbard & Brown, 1943)، مقدار ویسکوزیته به دست آمد (رابطه ۲):

$$\mu = \frac{5\pi}{42} C \frac{d^2 \rho_L g \sin \theta}{u_i} \times \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L} \times \frac{D + d}{d} \quad (2)$$

که در آن،

1- Hoeppler Rolling Ball viscometer  
3- Response Surface Methodology

2- Central composite design

که در آن،  
 $Y =$  متغیر تابع یا پاسخ ( $\rho, \mu, L^*, a^*$  و  $b^*$ )؛  $X_2$   
 $X_1 =$  سطوح کدبندی شده متغیرهای مستقل؛  $T$  و  
 $F =$  به ترتیب اثرهای خطی چربی و دما؛  $F^2$  و  $T^2 =$   
 اثرهای درجه دوم و سایر ضریب‌ها اثرهای متقابل.  
 معنی‌دار بودن اثرهای خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح ۰/۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ بررسی گردید.

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل طرح مرکب مرکزی نمونه‌ها

تیمار	چربی (درصد)	دما (درجه سلسیوس)
۱	۱	۱۰
۲	۳	۲۰
۳	۳	۲۰
۴	۳	۲۰
۵	۵	۳۰
۶	۳	۲۰
۷	۵/۸	۲۰
۸	۳	۵
۹	۳	۳۵
۱۰	۵	۱۰
۱۱	۰/۲	۲۰
۱۲	۱	۳۰
۱۳	۳	۲۰

## نتایج و بحث

### دانسیته

کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است. با مقایسه دانسیته شیر شتر با دانسیته شیر گاو در منابع مختلف در شرایط یکسان دما و ماده خشک می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت چندانی بین این دو وجود ندارد.

یوگانندی و همکاران (Yoganandi *et al.*, 2015) نیز در بررسی‌های خود نتیجه گرفتند که دانسیته شیر شتر و شیر گاو با یکدیگر تفاوت ندارد. جدول ۲ ضریب‌های مدل رگرسیونی و نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای مستقل چربی و دما بر دانسیته شیر شتر را نشان می‌دهد.

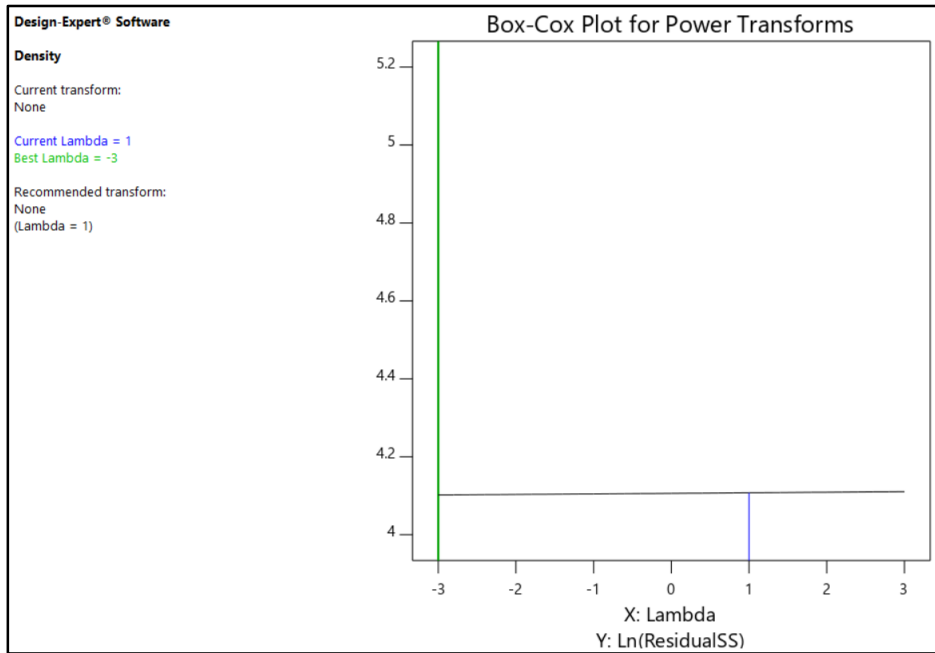
نتایج این تحقیق نشان داد که دانسیته نمونه‌های شیر شتر بین ۱۰۲۴ تا ۱۰۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است. فرح (Farah, 1966) نیز گزارش کرد که دانسیته شیر شتر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ۱۰۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب است. خان و رأی (Khanna & Rai, 1993) دانسیته شیر شتر هندی را ۱۰۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آوردند. ایرن (EI-Erian, 1979) نیز نشان داد که دانسیته شیر شتر عربستانی بین ۱۰۲۸ تا ۱۰۳۸

جدول ۲- ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای چربی و دما بر دانسیته شیر شتر

p-value Prob > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	ضریب‌های مدل رگرسیون	
< ۰/۰۱۸۶	۱۱/۳۱۶	۱۷۲/۶۹	۶۹۰/۷۶	۱۰۳۰/۸۰	مدل
< ۰/۰۴۱۹	۸/۷۱	۱۳۲/۳۵	۱۳۲/۳۵	-۵/۹۷	چربی
< ۰/۰۱۱۳	۱۹/۷۱	۲۹۹/۵۶	۲۹۹/۵۶	-۷۶/۱۲	دما
< ۰/۴۹۴۹	۰/۵۶	۸/۵۵	۸/۵۵	-۲/۱۳	چربی - دما
< ۰/۰۱۸۹	۱۴/۵۵	۲۲۱/۱۸	۲۲۱/۱۸	-۷/۶۸	چربی ۲
	۰/۱۴	۰/۰۴۵	۰/۷۲	-	باقیمانده
-	-	۱۵/۲۰	۶۰/۸۰	-	خطای خالص
-	-	-	۷۵۱/۵۶	-	کل

باکس-کاکس<sup>۱</sup> مدل برای پاسخ دانسیته رسم گردید (شکل ۱). نمودار باکس-کاکس ابزاری برای کمک به تشخیص مناسب‌ترین تابع انتقال توانی به منظور اعمال بر پاسخ است. در نمودار باکس-کاکس، بهترین مقدار لاندا که در آن حداقل مجموع مربعات مانده در مدل تبدیل شده ایجاد می‌شود، تعیین می‌گردد. هنگامی که نسبت حداکثر به حداقل مقدار پاسخ، بزرگ‌تر از سه باشد توانایی بیشتری در بهبود مدل با استفاده از تابع توانی وجود خواهد داشت (Landau & Everitt, 2003).

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تأثیر چربی و دما در سطح احتمال ۰/۰۵ بر دانسیته نمونه‌ها معنی‌دار است. در بین تمامی مدل‌ها، مدل چند جمله‌ای درجه سوم نیز به دلیل ضریب تبیین بالا (۰/۹۱) و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برآزش در سطح اطمینان ۹۵ درصد بهترین برآزش را بر داده‌های مورد آزمون دارد و نشان دهنده رفتار غیر خطی اثرهای چربی و دما بر دانسیته نمونه‌هاست. همچنین بعد از بررسی داده‌ها و استخراج مدل، برای بهبود عملکرد و صحت بیشتر مدل، منحنی

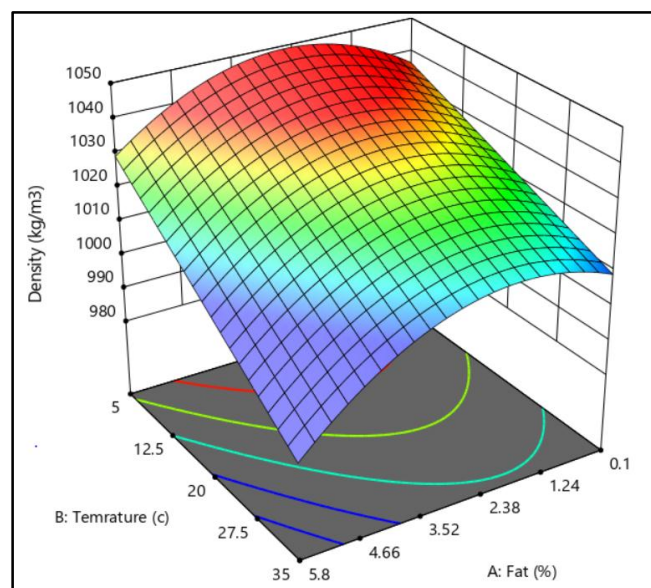


شکل ۱- نمودار منحنی باکس-کاکس مدل برای پاسخ دانسیته شیر شتر

$$\rho^{-3} = 9.13 \times 10^{-10} + 1.67 \times 10^{-11}F + 3.9 \times (\Delta) 10^{-11}T + 6.9 \times 10^{-12}FT - 2.14 \times 10^{-11}F^2$$

شکل ۲ تأثیر متغیرهای مستقل چربی و دما را بر دانسیته نمونه‌های شیر شتر با توجه به ضریب‌های رابطه ۵ نشان می‌دهد.

همان طور که در نمودار باکس-کاکس (شکل ۱) مشاهده می‌شود بهترین مقدار لاندا برای پاسخ دانسیته برابر (-۳) است، از این رو با تغییر مقدار لاندا مدل، مدل به دست آمده بهبود یافت (رابطه ۵):



شکل ۲- تأثیر چربی و دما بر دانسیته نمونه‌های شیر شتر

بالاتری است. هیلکر (Hilker, 1961) نیز با بررسی دانسیته چربی شیر گاو در بازه دمایی ۲ تا ۷۴ درجه سلسیوس نشان داد که بالاترین دانسیته در پایین‌ترین دما و پایین‌ترین دانسیته در بالاترین دماست.

### ویسکوزیته

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ویسکوزیته شیر کم‌چرب شتر (۰/۲ درصد چربی) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ۱/۲۰ سانتی پواز است که در مقایسه با ویسکوزیته گزارش شده از شیر گاو در منابع مختلف با شرایط یکسان چربی و دما کمتر است. کاروتو و همکاران (Kherouatou *et al.*, 2003) می‌گویند شیر شتر ویسکوزیته کمتری دارد تا شیر گاو. ویسکوزیته شیر پرچرب شتر (۵/۸ درصد چربی) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس برابر ۲/۷۲ سانتی پواز است که در مقایسه با ویسکوزیته گزارش شده شیر پرچرب گاو در منابع مختلف (در شرایط یکسان چربی و دما) و برخلاف ویسکوزیته شیر کم‌چرب، بالاتر است. بدین معنی که اگرچه ویسکوزیته سایر اجزای شیر شتر، نسبت به شیر گاو، کمتر است اما چربی آن دارای ویسکوزیته بالاتری است. چون چربی شیر شتر، در مقایسه با چربی شیر گاو، اسیدهای چرب کوتاه زنجیر کمتر و اسیدهای چرب بلند زنجیر بیشتری دارد (Hagrass *et al.*, 1987) و گلبول‌های چربی شیر شتر، در مقایسه با گلبول‌های چربی شیر گاو، اتصال محکم‌تری با پروتئین‌ها دارند (Khan & Appanna, 1967) شیر پرچرب شتر دارای ویسکوزیته بالاتری نسبت به شیر پرچرب گاو است. کاشانی نژاد و همکاران (Kashaninejad, *et al.* 2017a) گزارش داده‌اند که ویسکوزیته نمونه‌های چربی گاو (کره) دارای اسیدهای چرب بلند زنجیر،

با توجه به شکل ۲، پایین‌ترین میزان دانسیته به نمونه‌های حاوی چربی و دمای بالا و بالاترین میزان دانسیته به نمونه‌های کم‌چربی (پس چرخ) و دمای پایین تعلق گرفته است. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش میزان چربی شیر شتر از ۰/۲ تا ۵/۸ درصد، دانسیته نمونه‌ها در همه بازه‌های دمایی مورد آزمون کاهش می‌یابد. بدیهی است با توجه به اینکه دانسیته شیر از دانسیته تک تک اجزای آن ناشی می‌شود و دانسیته چربی شیر شتر نیز کمتر از دانسیته سایر اجزای آن است، کاهش دانسیته نمونه‌ها با افزایش میزان چربی قابل پیش‌بینی بود. شرت (Short, 1955)، فیپس (Phipps, 1969) و کسلر (Kessler, 1981) نیز در مورد شیر گاو نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. جنس (Jenness, 1988) نشان داد که دانسیته چربی شیر گاو وابسته به ترکیب چربی شیر و بین ۸۸۶ تا ۸۹۱ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است و افزودن چربی به شیر منجر به کاهش دانسیته آن می‌شود. همچنین باید در نظر داشت که دانسیته شیر علاوه بر اینکه از دانسیته تک تک اجزای آن ناشی می‌شود تابع عواملی مانند نسبت چربی جامد به مایع و میزان هیدراتاسیون پروتئین‌ها نیز هست. از این رو، حرارت دادن و فرآیندهای مختلف نیز باعث تغییر دانسیته شیر می‌شوند (Jenness, 1988). افزایش دما در بازه دمایی ۳۵-۵ درجه سلسیوس نیز منجر به کاهش دانسیته نمونه‌ها شد و شیب بیشتر منحنی در نمونه‌های حاوی چربی بالاتر نشان دهنده اثر بیشتر دما بر کاهش دانسیته در نمونه‌های حاوی چربی بالاست که می‌تواند به دلیل ضریب انبساط حرارتی بالای چربی شیر شتر در مقایسه با سایر ترکیبات آن باشد. ریچموند (Richmond, 1953) می‌گوید شیر پرچرب گاو در مقایسه با شیر کم‌چرب دارای ضریب انبساط حرارتی



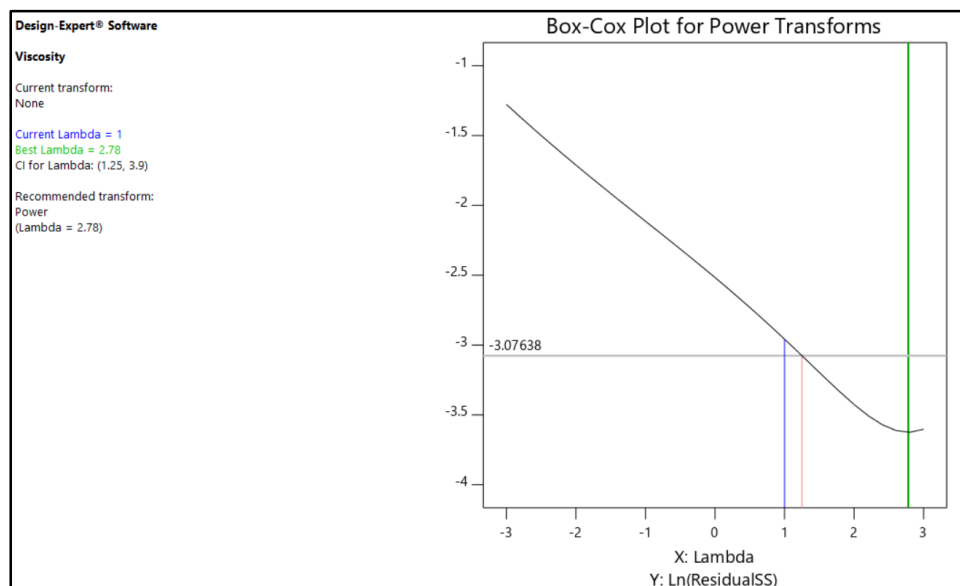
نسبت به کوتاه زنجیر، بیشتر است.

ضریب تبیین بالا (۰/۹۸) بهترین برازش را بر داده‌های مورد آزمون دارد که نشان دهنده رفتار غیر خطی اثرهای چربی و دما بر ویسکوزیته نمونه‌هاست. همچنین، بعد از بررسی داده‌ها و استخراج ضریب‌های مدل، برای بررسی و بهبود عملکرد و صحت بیشتر مدل، منحنی باکس-کاکس مدل رسم شد. شکل ۳ نمودار منحنی باکس-کاکس مدل را برای پاسخ ویسکوزیته نشان می‌دهد.

جدول ۳ ضریب‌های مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس را برای متغیرهای مستقل چربی و دما بر ویسکوزیته شیر شتر نشان می‌دهد. همان طور که از نتایج ارائه شده در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تأثیر درصد چربی و دما در سطح احتمال ۰/۰۰۰۱ بر ویسکوزیته نمونه‌ها معنی‌دار است. در بین تمامی مدل‌ها، مدل چند جمله‌ای درجه سوم به دلیل

جدول ۳- ضریب‌های مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای متغیرهای چربی و دما بر ویسکوزیته شیر شتر

p-value Prob > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	ضریب‌های مدل رگرسیون	
< ۰/۰۰۰۱	۱۵۴۵۴	۰/۱۸۱۷	۰/۷۲۶	۱/۸۶	مدل
< ۰/۰۰۴۵	۳۳/۱۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۶۱۵	چربی
< ۰/۰۰۰۱	۲۱۹۵	۰/۲۵۸۲	۲/۱۷	-۰/۳۹۳	دما
< ۰/۰۰۰۱	۲۹۲/۰۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳	۰/۰۶۲۵	چربی - دما
< ۰/۰۰۰۱	۳۵۷/۴۰	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۲	۰/۱۶۰	چربی ۲
			۰/۰۰۰۴		خطای خالص
			۰/۷۲۶		کل

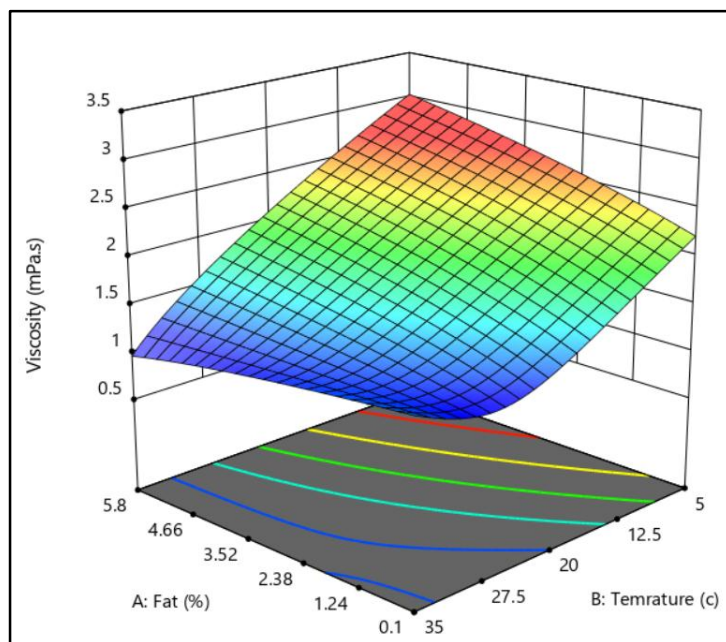


شکل ۳- نمودار منحنی باکس-کاکس مدل برای پاسخ ویسکوزیته شیر شتر

$$\mu^{2.78} = 5.58 + 2.08F - 5.02T - 1.75FT - 0.039F^2 + 1.59T^2 \quad (6)$$

شکل ۴ تأثیر چربی و دما را بر ویسکوزیته نمونه‌های شیر شتر با توجه به ضریب‌های رابطه ۶ نشان می‌دهد.

بر اساس نمودار باکس-کاکس ارائه شده در شکل ۳، بهترین مقدار لاندا برای متغیر پاسخ ویسکوزیته برابر ۲/۷۸ است، از این رو با تغییر لاندا مدل، مدل به دست آمده بهبود یافت (رابطه ۶):



شکل ۴- تأثیر چربی و دما بر ویسکوزیته نمونه‌های شیر شتر

حجم آزاد بیشتر در نمونه‌ها کاهش مقاومت درون مولکولی مربوط به ویسکوزیته را به دنبال خواهد داشت.

با مشاهده شکل ۴ می‌توان دریافت با افزایش میزان چربی از ۰/۲ تا ۵/۸ درصد، ویسکوزیته نمونه‌ها در همه بازه دمایی مورد آزمون افزایش یافته است که البته با توجه به میزان شیب بیشتر منحنی در دماهای پایین به ویژه دمای ۵ درجه سلسیوس می‌توان نتیجه گرفت که شدت افزایش ویسکوزیته با افزایش چربی در دماهای پایین بسیار بیشتر است تا در دماهای بالا، و با توجه به اینکه شیر شتر اغلب در دمای یخچال (۵ درجه سلسیوس) نگهداری

با توجه به شکل ۴، بالاترین میزان ویسکوزیته به نمونه شیر شتر حاوی ۵/۸ درصد چربی در دمای ۵ درجه سلسیوس تعلق دارد. افزایش دما منجر به کاهش ویسکوزیته نمونه‌ها شده است. ویسکوزیته هر سیال تابع نیروهای بین مولکولی است و این نیروها نیز وابسته به فضای بین مولکولی هستند. افزایش دما فضای بین مولکولی را افزایش می‌دهد که در نتیجه منجر به کاهش نیروهای بین مولکولی و نهایتاً کاهش ویسکوزیته می‌شود (Bakshi & Smith, 1984). وابستگی ویسکوزیته به دما با مفهوم حجم آزاد توصیف می‌شود یعنی افزایش دما باعث افزایش انرژی جنبشی و انرژی داخلی مولکول‌ها می‌شود و

ترتیب بین ۷۵/۵۵ تا ۸۷/۳۶، ۱۸/۴۰ تا ۱۶/۳۵- و ۷/۳۳- تا ۳/۶۰- متغیرند.

نتایج آنالیز واریانس نیز نشان می‌دهد در بین اثرهای خطی، متقابل و درجه دوم، تنها اثر خطی چربی در سطح ۹۹ درصد بر  $b^*$  نمونه‌ها معنی‌دار است، در حالی که دما هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر هیچ یک از آنها ندارد.

مدل چند جمله‌ای درجه سه (رابطه ۷) نیز به دلیل ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۰ و معنی‌دار نبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۰/۹۵، بهترین برازش را بر داده‌های مورد آزمون  $b^*$  دارد:

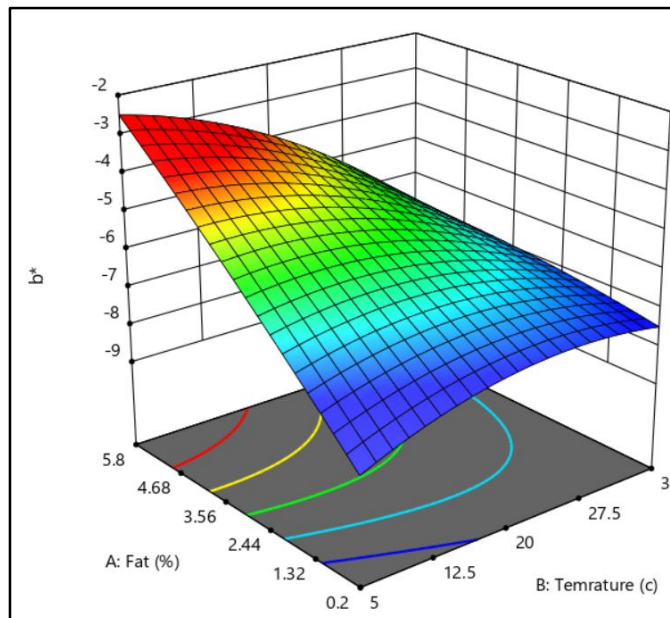
$$b^* = -5.50 + 1.19F - 0.57T - 0.661FT - 0.085F^2 - 0.323T^2 \quad (7)$$

شکل ۵ تأثیر دما و چربی را بر  $b^*$  نمونه‌ها با توجه به ضرایب رابطه ۷ نشان می‌دهد.

می‌شود، این موضوع می‌تواند از دیدگاه کاهش مصرف انرژی در صنعت بسیار بااهمیت باشد. بخشی و اسمیت (Bakshi & Smith, 1984) نیز نشان داده‌اند دماهای پایین اثر بیشتری بر افزایش ویسکوزیته ناشی از افزایش چربی در شیر گاو دارد. کاشانی نژاد و رضوی (Kashaninejad & Razavi, 2020) نیز با بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی خامه کم‌چرب تهیه شده از شیر شتر نشان دادند که افزایش چربی منجر به افزایش ویسکوزیته در درجه برش صفر و بی‌نهایت نمونه‌ها می‌شود.

#### شاخص‌های رنگی ( $L^*$ ، $a^*$ و $b^*$ )

شیر معمولاً سفید کدر یا به اصطلاح سفید چینی است که ناشی از انعکاس نور بر اثر گلبول‌های چربی و ذرات کلوئیدی کازئینات کلسیم و فسفات کلسیم است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  نمونه‌های شیر شتر به



شکل ۵- تأثیر دما و چربی بر  $b^*$  نمونه‌های شیر شتر

افزایش یافته است. پراکندگی نور در هر سیستمی به ناهمبستگی مولکولی یا حتی سطح اتم‌ها مرتبط

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش میزان چربی، مقدار  $b^*$  (زردی) نمونه‌ها

شرایطی محاسبه و بررسی شده که دبی حجمی شیر ۱۱/۳۵ لیتر بر دقیقه و قطر لوله ۲/۳ سانتی متر (استاندارد لوله بهداشتی) در نظر گرفته شده است. به منظور تعیین رژیم جریان، ابتدا عدد رینولدز (رابطه ۸) برای کلیه تیمارها محاسبه شد (Toledo, 2006).

$$Re = \frac{\rho D \bar{u}}{\mu} \quad (8)$$

که در آن،

$D$  = قطر لوله (متر)؛  $\bar{u}$  = سرعت متوسط (متر بر ثانیه)؛  $\rho$  = دانسیته (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ و  $\mu$  = ویسکوزیته (سانتی پواز).

با توجه به اینکه عدد رینولدز کلیه تیمارهای طرح بین ۲۱۰۰ و ۱۰۰۰۰ است (جدول ۴)، از این رو نوع رژیم جریان کلیه تیمارها اغتشاشی تشخیص داده شد. ضمن اینکه نتایج این تحقیق نشان داد که چربی و دما هیچ‌گونه اثر معنی‌داری ( $p > 0.05$ ) بر عدد رینولدز نمونه‌ها نداشته است.

رابطه فانینگ (رابطه ۹) افت فشار ناشی از اصطکاک به ازای واحد طول لوله (پاسکال بر متر) را برای مایعات نیوتنی در شرایط ایزوترمال نشان می‌دهد که تولدو (Toledo, 2006) آن را ارائه داده است:

$$\frac{\Delta P}{L} = 2f \bar{v}^2 \rho / D \quad (9)$$

که در آن،

$\Delta P$  = افت فشار (پاسکال)،  $D$  قطر لوله (متر)؛  $L$  = طول لوله؛  $\bar{v}$  = سرعت متوسط (متر بر ثانیه)؛ دانسیته (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ و  $f$  = ضریب اصطکاک فانینگ.

فاکتور اصطکاک برای جریان سیالات نیوتنی از درون لوله‌های بهداشتی با اعداد رینولدز بین ۱۰۰۰

است. تغییر در روشنایی شیر شتر با چربی می‌تواند ناشی از تغییرات ساختار ناشی از اثرهای تغییرات چربی باشد که منجر به تغییرات متفاوت پراکنش نور می‌شود (Truong *et al.*, 2016). در مقایسه با شیر گاو، چربی شیر شتر حاوی مقادیر کمتری از اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و کاروتن است که البته کاروتن کمتر منجر به رنگ سفیدتر چربی شیر شتر می‌شود. اهری و جوشی (Ohri & Joshi, 1961) می‌گویند رنگ آغوز شتر با رنگ آغوز گاو متفاوت و سفید متمایل به زرد است. ایندرا و اردن باتر (Indra & Erdenebaatar, 1998) نیز نشان دادند شیر شتر یک کوهانه هم مانند شتر دو کوهانه سفید است.

#### افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله

شیر به روش‌های مختلف در کارخانه فرآوری می‌شود که به‌طور عمده شامل این روش‌هاست: گرم کردن، سرد کردن، تغلیظ یا مخلوط کردن. جریان و جابه‌جایی سیال از یک مکان به مکان دیگر معمولاً با تأمین انرژی مکانیکی با پمپ صورت می‌گیرد. انرژی لازم برای پمپ کردن هر سیال با توجه به نوع آن و رژیم جریان متفاوت است؛ نوع جریان نیز تابع نیروهای مومنتم (انرژی جنبشی یا سرعت سیال) و ویسکوز (ویسکوزیته) است (Dennis & Daryl, 2019). از طرفی، با توجه به اینکه شیر شتر سیالی نیوتنی است و در محاسبات مربوط به انرژی پمپ، محاسبات افت فشار ناشی از اصطکاک مربوط به طول لوله یکی از مؤثرترین پارامترها است، از این رو در این تحقیق اثر تغییرات درصد چربی و دما بر افت فشار ناشی از اصطکاک به ازای واحد طول لوله انتقال شیر شتر در پنج سطح چربی و پنج سطح دمایی (تیمارهای جدول ۱) برای شیر شتر در

تا ۱۰۰۰۰ از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

در این رابطه  $Re$  عدد رینولدز است.

$$f = 0.193(Re)^{-0.35} \quad (10)$$

جدول ۴ - محاسبه افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله در چربی و دماهای مختلف

افت فشار ناشی از اصطکاک	ضریب اصطکاک فاینینگ	نوع رژیم جریان	عدد رینولدز	دما (درجه سلسیوس)	چربی (درصد)	تیمار
طول لوله (پاسکال بر متر)						
۱۷۱/۱۸	۰/۰۰۸۶۰	اغتشاشی	۷۲۴۳	۱۰	۱	۱
۱۹۲/۹۵	۰/۰۰۹۷۵	اغتشاشی	۵۰۵۹	۲۰	۳	۲
۱۵۹/۶۷	۰/۰۰۸۰۷	اغتشاشی	۸۶۸۹	۲۰	۳	۳
۲۱۲/۶۷	۰/۰۱۰۷۵	اغتشاشی	۳۸۳۱	۲۰	۳	۴
۲۱۲/۶۷	۰/۰۱۰۷۵	اغتشاشی	۳۸۳۱	۳۰	۵	۵
۱۸۵/۸۸	۰/۰۰۹۴۰	اغتشاشی	۵۶۰۹	۲۰	۳	۶
۱۸۳/۰۷	۰/۰۰۹۴۸	اغتشاشی	۵۴۷۹	۲۰	۵/۸	۷
۱۸۷/۰۹	۰/۰۰۹۳۶	اغتشاشی	۵۶۸۸	۵	۳	۸
۱۸۷/۰۰	۰/۰۰۹۳۸	اغتشاشی	۵۶۳۹	۳۵	۳	۹
۱۶۴/۰۷	۰/۰۰۸۳۰	اغتشاشی	۸۰۰۹	۱۰	۵	۱۰
۲۱۰/۲۵	۰/۰۱۰۶	اغتشاشی	۳۹۶۹	۲۰	۰/۲	۱۱
۱۶۴/۲۲	۰/۰۰۸۴	اغتشاشی	۷۷۲۱	۳۰	۱	۱۲
۱۹۶/۸۲	۰/۰۱۰۰	اغتشاشی	۴۶۷۲	۲۰	۳	۱۳

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود افت فشار ناشی از اصطکاک به ازای واحد طول لوله نمونه‌های مورد آزمون بین ۱۵۹/۶۷ تا ۲۱۲/۶۷ پاسکال بر متر متغیر است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد هیچ یک از اثرهای خطی، درجه دوم و متقابل اثر چربی و دما بر افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله نمونه‌ها معنی‌دار ( $p > 0.05$ ) نیست. از این رو با توجه به نتایج فوق می‌توان دریافت که افزایش چربی (۱/۰ تا ۵/۸ درصد) و دما (۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس) تأثیر چندانی بر افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله بهداشتی و در نتیجه انرژی مورد نیاز برای جابه‌جایی آن ندارد. بکشی و اسمیت (Bakshi & Smith, 1984) نشان داده‌اند که افزایش دمای شیر گاو از ۵ به ۲۵ درجه

سلسیوس به کاهش ۲۵ درصد در افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله می‌انجامد و کاهش چربی از ۱۵ به صفر درصد نیز منجر به کاهش ۵۰ درصد در افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله و نهایتاً انرژی مورد نیاز پمپ شیر شتر می‌شود.

### نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر شتر از جمله ویسکوزیته و دانسیته به عنوان شاخص‌های مهم برای بررسی رفتار جریان و توضیح بسیاری از خواص حسی و کیفی محصول با اهمیت‌اند و نیز با توجه به اینکه اطلاعاتی در مورد اثر عوامل مختلف از جمله دما و درصد چربی بر خواص فیزیکوشیمیایی شیر شتر وجود نداشت، در

این پژوهش به منظور درک صحیح از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر شتر و جمع‌آوری اطلاعات فیزیکی لازم برای طراحی و محاسبات کارخانه فرآوری شیر شتر مهمترین عوامل تأثیرگذار بر این ویژگی‌ها از جمله دما و میزان چربی نیز به صورت همزمان ارزیابی شدند.

تایج تحقیق نشان می‌دهد افزایش چربی و دما در محدوده مورد بررسی در این پژوهش تأثیر چندانی بر افت فشار ناشی از اصطکاک طول لوله بهداشتی و در نتیجه انرژی مورد نیاز برای جابه‌جایی آن ندارد و این موضوع می‌تواند در محاسبات مربوط به تأمین انرژی مکانیکی توسط پمپ در کارخانه‌های فرآوری مورد توجه قرار گیرد.

به طور کلی داده‌ها و مدل‌های به دست آمده در این تحقیق را می‌توان در صنعت برای طراحی خط تولید فرآوری شیر شتر و بهینه کردن پدیده‌های انتقال (مومنتم، جرم و حرارت) و کاهش هزینه تولید استفاده کرد.

### تعارض منافع

نویسندگان در انتشار این مقاله از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

### مراجع

- AOAC. 1975. Official Methods of Analysis. 12<sup>th</sup> Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Attia, H., Kherouatou, N., Nasri, M. and Khorchani, T. 2000. Characterization of the dromedary milk casein micelle and study of its changes during acidification. *Le Lait*. 80(5): 503-515.
- Bakshi, A.S. and Smith, D.E. 1984. Effect of Fat Content and Temperature on Viscosity in Relation to Pumping Requirements of Fluid Milk Products<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*. 67(6): 1157-1160.
- Dennis R. Heldman, Daryl B. L. and Cristina, S. 2019. Handbook of Food Engineering 3<sup>rd</sup> Ed. CRC Press.
- EI-Erian, A.F.M. 1979. Studies on camel milk in the Kingdom of Saudi Arabia. *Proceeding 2<sup>nd</sup> Arab Conference Food Science Technology, Saudi Arabia*.
- El-Agamy, E. I. 2000. Effect of heat treatment on camel milk proteins with respect to antimicrobial factors: A comparison with cows' and buffalo milk proteins. *Food Chemistry*. 68, 227-232.
- FAO. 2008. Camel milk. Available at: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/dairy/camel.html>.
- Farah, Z. 1996. Camel milk properties and products. St. Gallen, Switzerland: SKAT, Swiss Centre for Developments Cooperation in Technology and Management.
- Fox, P. F., Uniacke-Lowe P. T., McSweeney, L. H. and O'Mahony, J. A. 2015. Dairy Chemistry and Biochemistry. Springer International Publishing Switzerland.
- Hagrass, A. E., Hssan, A. A., Soryal, K. A., Mervat, A. S. and El-Shabrawy, S. A. 1987. Chemical composition of fat and butter of camel's milk. *Egyptian Journal of Food Sciences*. 15, 15-25.
- Hassan, A. A., Hagrass, A. E., Soryal, K. A. and El-Shabrawy, S. A. 1987. Physicochemical properties of camel milk during lactation period in Egypt. *Journal of Food Sciences*. 15, 1-14.

- Hilker, L.D. and Caldwell, W.R., 1961. A method for calculating the weight per gallon of fluid dairy products. *Journal of Dairy Science*. 44(1): 183-188.
- Hubbard, R. and Brown, G. 1943. Rolling ball viscometer. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*. 15(3): 212-218.
- Indra, R. and Erdenebaatar, B. 1998. Camel's milk processing and its consumption patterns in Mongolia. In: *Actes du colloque, Dromadaires et chameaux, animaux laitiers/Dromedaries and camels, milking animals*, P. Bonnet, CIRAD Publ., Nouakchott, Mauritania. pp. 257-261.
- Jeness, R. 1988. Composition of milk. In: Wong, NP., Jenness, R., Keeney, M. and Marth, E.H. (Eds.). *Fundamentals of Dairy Chemistry*. 3<sup>rd</sup> Ed. Chapter 1. Vm Nostrand Reinhold Company, New York.
- Kashaninejad, M., Razavi, S.M.A., Mazaheri Tehrani, M. and Kashaninejad, M. 2017a. Effect of extrusion conditions and storage temperature on texture, colour and acidity of butter. *International Journal of Dairy Technology*. 70(1): 102-109.
- Kashaninejad, M., Razavi, S. M. A., Mazaheri Tehrani, M. and Kashaninejad, M. 2017b. Fatty acid composition, rheological and thermal properties of butter from sheep's and omega-3 cow's milks. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 13(46): 735-4161.
- Kashaninejad, M. and Razavi, S. M. A. 2020. The effect of addition of sage seed gum, carboxyl methyl cellulose and fat content on low-fat camel milk cream properties. *Innovation in Food Science and Technology*. in press (in Persian).
- Kessler, H.G. 1981. *Food Engineering and Dairy Technology*. Verlag A. Kessler, Freising, Germany.
- Khan, M. K. U. and Appanna, T. C. 1967. Carotene and vitamin A in camel milk. *Indian Journal of Nutrition and Dietetics*. 4, 17.
- Khanna, N.D. and Rai, A.K. 1993. Milk production potential of Indian camel. *Asian Livestock* 18:19-21.
- Kherouatou, N., Nasri, M. and Attia, H. 2003. A study of the dromedary milk casein micelle and its changes during acidification. *Brazilian Journal of Food Technology*. 6, 237e244.
- Landau, S. and Everitt, B.S. 2003. *Handbook of Statistical Analyses Using SPSS*. Taylor and Francis
- Mehaia, M. A., Hablas, M. A., Abdel-Rahman, K. M. and El-Mougy, S. A. 1995. Milk composition of Majaheim, Wadha and Hamra camels in Saudi Arabia. *Food Chemistry*. 52, 115-122.
- Ohri, S. P. and Joshi, B. K. 1961. Composition of milk of camel. *The Indian Veterinary Journal* 38, 514-516.
- Omar, A. Al haj and Hamad, A. Al Kanhal. 2010. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal* 20(12): 811-821.
- Paquot, C. and Hautfenne, A. 1987. *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and derivatives*, 7<sup>th</sup> Edn., Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Phipps, L. W. 1969. The interrelationships of the viscosity, fat content and temperature of cream between 40 ° and 80°C. *Journal of Dairy Research*. 36(3): 417-426.
- Richmond, H.D. 1953. "De Chemistry". p. 110. C. Griffin and Co. Ltd., London
- Short, A.L. 1955. The temperature coefficient of expansion of raw milk. *Journal of Dairy Research*. 22 (1): 69-73.
- Toledo, R. T. 2006. *Fundamentals of Food Process Engineering*. Third Edition, Springer.
- Truong, T., Palmer, M., Bansal, N. and Bhandari, B. 2016. Effect of milk fat globule size on the physical functionality of dairy products. Cham, Switzerland: Springer.
- Yoganandi, J, Mehta, B., Wadhvani, K., Darji, V and Aparnathi, K. 2015. Comparison of physico-chemical properties of camel milk with cow milk and buffalo milk. *Journal of Camel Practice and Research*. 21(2): 253-258.



Original Research

## Modeling the Physical Properties (Viscosity, Density and Color) of Camel Milk as a Function of Fat Content and Temperature

M. Kashaninejad and S. M. A. Razavi \*

\* Corresponding Author: Professor, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. E-mail: [s.razavi@um.ac.ir](mailto:s.razavi@um.ac.ir)

Received: 23 October 2019, Accepted: 21 December 2020

<http://doi: 10.22092/fooder.2020.128195.1242>

### Abstract

In this study, the effects of fat content (0.2-5.8%) and temperature (5-35°C) on viscosity, density, color, and the friction pressure drop per unit length of pipe flow of camel milk were investigated by using response surface methodology (RSM) based on the central composite design (CCD). The results showed that increasing the fat content decreased the density of samples with high-fat content, while increasing the temperature decreased the density, but it had no effect on samples with 0.2% fat. The results of the viscosity analysis also showed that increasing the temperature decreased the viscosity of samples containing high-fat. Also, the viscosity of the samples increased with increasing the fat content, although the increase in viscosity by increase in fat at low temperatures was much higher than that at high temperatures. The results of color measurement also showed that increasing in fat content increased only b\* parameter and temperature had no significant effect on other color parameters. According to the results of ANOVA, none of the linear, quadratic and interaction effects of fat and temperature on the friction pressure drop per unit length of pipe were significant ( $p > 0.05$ ).

**Keywords:** Camel milk, Density, Modeling, Pressure loss, Viscosity