

## مدل سازی ویژگی های فیزیکی شورتینگ های اینتراستریفیه شده به روش شیمیایی از روغن ارده کنجد و پالم استئارین

مهدیس طورچی رودسری<sup>۱</sup>، لیلا نجفیان<sup>۲\*</sup>، سید احمد شهیدی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

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

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ... املی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۹)

### چکیده

یکی از فرآیندهای موفق در زمینه تولید چربی های بدون ترانس، اینتراستریفیکاسیون شیمیایی می باشد. در این پژوهش تأثیر واکنش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی روی نقطه ذوب لغزشی (SMP) و درصد چربی جامد (SFC) در تیمارهای دوتایی از روغن ارده کنجد و پالم استئارین بانسبت های وزنی/وزنی (۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰، ۶۰:۴۰) بررسی شد. واکنش اینتراستریفیکاسیون در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  تحت شرایط خلأ در حضور ۰/۵ درصد کاتالیزور متوکسید سدیم انجام شد. پس از اعمال مراحل خاص (گرم کردن، سرد کردن، ورز دادن) شورتینگ بدون ترانس چند منظوره از مخلوط ۶۰:۴۰ و شورتینگ مخصوص شیرینی های لایه ای از مخلوط ۵۰:۵۰ حاصل شد. مدل سازی درصد SFC ترکیبات دوجزئی روغن ارده کنجد و پالم استئارین به روش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی با استفاده از مدل های رگرسیونی انجام شد. منحنی SFC چربی های اینتراستریفیه شده به عنوان تابعی از دما ( $SFC_{(T)}$ ) و به عنوان تابعی از SFA ( $SFC_{(SFA)}$ ) و مدل SMP تابع SFA ( $SMP_{(SFA)}$ )، با ضریب همبستگی بالا به شکل سیگموئیدی (S شکل) بوده است و می توان با استفاده از مدلی مانند گمپرتز آن را توصیف کرد. مدل های ارائه شده می توانند نیاز به دستگاه های پیشرفته را مرتفع سازند و در فرمولاسیون محصولات جدید مفید واقع شوند.

کلید واژگان: اینتراستریفیکاسیون شیمیایی، شورتینگ، مدل سازی، گمپرتز

\*مسئول مکاتبات: najafian\_5828@yahoo.com

## ۱- مقدمه

درصد SFC و SMP به‌عنوان تابعی از ترکیب اسید چرب و دما به ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی روغن اینتراستریفیه و ساختار اسیدهای چرب سازنده آن پی برد [۴]. اگرچه اطلاعات زیادی در ارتباط با ویژگی‌های چربی‌های اینتراستریفیه موجود است اما تاکنون مطالعه‌ای پایه‌ای در خصوص مدل‌سازی درصد چربی جامد و نقطه ذوب مخلوط‌های دوجزئی روغن ارده کنجد و پالم استتارین به روش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی انجام نشده است. از مدل ارائه‌شده در این تحقیق می‌توان به‌عنوان ابزار قدرتمندی برای پیش‌بینی SMP و SFC چربی‌های اینتراستریفیه شده استفاده کرد که برای تهیه فرمولاسیون‌های جدید چربی قبل از انجام هرگونه آزمایش هزینه بر و وقت‌گیر، مفید و بسیار مؤثر است.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد

روغن ارده کنجد از کارخانه شیررضا (یزد-ایران) و روغن پالم استتارین تصفیه شده از شرکت روغن نباتی بهشهر (تهران-ایران) تهیه شد. متوکسیدسیم از شرکت مرک آلمان خریداری شد. استانداردهای متیل‌استراسیدهای چرب و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از درجه کروماتوگرافی بوده و از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

## ۲-۲- روش تولید روغن ارده کنجد

دانه‌های کنجد به‌کار رفته برای تولید روغن ارده از وارسته پاکستانی (*Sesamu indicum L.*) که از کارخانه‌های تولید روغن شهر یزد تهیه شد. برای تهیه روغن ارده، ابتدا دانه‌های کنجد بوجاری شده یک مرحله خیساندن را به مدت ۸ ساعت یا یک شب طی می‌نماید. پس از خارج کردن آب، دانه‌های خیس‌خورده وارد دستگاه پوست‌گیری شده که عمل آن سایشی\_ضربه‌ای است و پوست دانه‌ها که در اثر خیس خوردن، قابل انعطاف شده از مغز دانه جدا می‌شود. مرحله بعد جداسازی پوست دانه است، برای این کار از آب‌نمک اشباع استفاده شد و بر اساس چگالی نسبی، پوسته‌ها در آب‌نمک جدا شدند. در این مرحله لازم است دانه‌ها شوری‌زدایی شوند، بنابراین دانه‌های کنجد چندین دفعه با آب

اهمیت چربی‌ها و روغن‌ها نه‌تنها از دیدگاه سلامت بلکه از جنبه تجارت چنان است که ضرورت بررسی تولید و مصرف چربی‌ها و روغن‌های خوراکی را ایجاب می‌نماید و از دیرباز علاوه بر جنبه تغذیه‌ای، مسائل تولیدی و صنعتی روغن‌های خوراکی نیز حائز اهمیت بوده است [۱]. چربی‌ها و روغن‌های خام تحت فرآیند قرار می‌گیرند تا کیفیت ثابتی پیدا کنند و قابلیت خوراکی، پایداری و ایمنی آنها افزایش یابد و فرآورده‌های متنوعی با کاربردهای متفاوت تولید شود. نگرانی‌های موجود درباره آثار نامطلوب اسیدهای چرب ترانس و همچنین الزامات قانونی برای درج میزان اسیدهای چرب ترانس در برچسب مواد غذایی باعث توجه بیشتر محققان و صاحبان صنعت به روش‌های جایگزین هیدروژنه کردن شده است [۲].

در اینتراستریفیکاسیون شیمیایی، برعکس هیدروژناسیون بدون تشکیل اسیدهای چرب ترانس و تغییر در ساختمان شیمیایی آنها، تنها ترتیب اسیدهای چرب بر روی مولکول گلیسرول به‌صورت تصادفی تغییر می‌کند؛ به عبارت دیگر، ویژگی‌های فیزیکی مخلوط‌های اینتراستریفیه شده مانند نقطه ذوب لغزشی و درصد چربی جامد می‌تواند تابعی از پروفایل اسیدهای چرب آنها باشد. این مسئله امکان پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی چربی‌ها را با دانستن پروفایل اسید چرب آنها فراهم می‌سازد [۳]. از سوئی به واسطه‌ی توجه و علاقه مصرف‌کنندگان به ویژگی‌های تغذیه‌ای مواد غذایی، درخواست برای تولید مواد غذایی فراسودمند و طبیعی افزایش یافته و صنعت غذا برای بهینه کردن ارزش تغذیه‌ای در کنار حفظ و بهبود طعم محصول نیاز به طراحی مجدد مواد غذایی سنتی دارد. روغن ارده کنجد به دلیل دارا بودن میزان قابل توجهی ترکیبات ریزمغذی شامل آنتی‌اکسیدان‌ها، توکوفرول‌ها، یون‌های فلزی و اسیدهای آمینه ضروری و نیز اسیدهای چرب غیراشباع در جهت رسیدن به این هدف مؤثر می‌باشد.

با استفاده از مدل‌های رگرسیونی (با استفاده از تابع سیگموئیدی S شکل مانند گمپرتز و از طریق نرم‌افزار سیگماپلات<sup>۱</sup> ویژگی‌های فیزیکی محصول اینتراستریفیه شده را به‌منظور تولید چربی مطلوب می‌توان پیش‌بینی نمود و با دستیابی به مدل مناسب برای

1. SigmaPlot

نمونه های شورتینگ به خوبی ورز داده شدند تا بافت مطلوبی حاصل شود. بعد از خاتمه مرحله کریستالیزاسیون، عمل tempering بمدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۷-۲۹ °C انجام شد، سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. از شورتینگ جهت اندازه گیری عدد پراکسید، صابون، اسید چرب آزاد، اندیس یدی، نقطه ذوب، درصد اسیدهای چرب SFC، و پایداری اکسیداتیو نمونه‌گیری شد [۷].

## ۲-۶- پروفایل اسیدهای چرب

آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب مطابق روش AOCS Ce 2-66 method:1997 و آنالیز آنها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل (SHIMADZU model Nexis) 2030 انجام شد. مقدار ۰/۳۵ گرم نمونه روغن و ۶ میلی‌لیتر سود متانولی ۰/۵ نرمال در یک ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. یک مبرد به آن وصل شد و بمدت ۱۰ دقیقه روی هیتر حرارت داده شد. سپس ۷ میلی‌لیتر محلول (تری فلورید برم) BF3 متانولی (۱۲۵ گرم BF3 در یک لیتر متانول) از بالای مبرد اضافه گردید و ۲ دقیقه دیگر عمل حرارت دهی انجام شد. سپس، ۵ میلی‌لیتر هپتان نرمال از بالای مبرد ریخته شد و حرارت دهی یک دقیقه دیگر ادامه یافت. بعد از این مرحله، حرارت دهی قطع گردید. ارلن از مبرد جدا شده و به آن حدود ۱۵ میلی‌لیتر آب نمک اشباع اضافه شد و به مدت ۱۵ ثانیه شدیداً به هم زده شد. سپس مقدار لازم آب نمک اشباع اضافه شده تا فاز آلی به خوبی جدا شود. یک میلی‌لیتر از لایه آلی برداشته شد، مقدار کمی سولفات سدیم به آن اضافه گردید و پس از هم زدن با کاغذ صافی (واتمن شماره ۴) صاف شد. یک میلی‌لیتر هپتان نرمال به محلول صاف شده اضافه شد و پس از هم زدن، یک میکرولیتر از آن به تزریق گاه کروماتوگرافی گاز-مایع تزریق گردید. دستگاه، مجهز به آشکارکننده شعله ای (FID) با دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد با ستون موئین به طول ۶۰ متر و گاز حامل هیدروژن با فشار ۲۰ پاسکال و خلوص ۹۹/۹٪، دمای تزریق و آشکارساز ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای آون ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار تزریق ۱ میلی‌لیتر بود [۸].

## ۲-۷- نقطه ذوب لغزشی

شیرین شسته شده و در مرحله بعد با استفاده از دستگاه ساتریفورژ آب اضافی از دانه جدا گشته سپس دانه‌های کنجد وارد فر شدند. مرحله بو دادن حدود ۱/۵ تا ۲ ساعت در دمای ۹۰-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد طول کشیده و در ادامه کنجدهای خشک و برشته شده روی میزهایی برای چندین ساعت پهن شده تا سرد شوند. بعد از سرد شدن دانه کنجد، بو جاری ثانویه صورت گرفته تا بقایای پوست و مواد زائد و سوخته‌های حاصل از پخت در فر حذف شود. آخرین مرحله آسیاب کردن است. ضمن آسیاب روغن و ارده حاصل می‌شود [۵].

## ۲-۳- تهیه مخلوط روغن‌ها

مخلوط دو تایی از روغن ارده کنجد و پالم استارین با ۳ نسبت ۵۰:۵۰:۴۰ و ۷۵:۲۵ تهیه شد. مخلوط‌ها با سه بار تکرار به روش شیمیایی استریفیه شدند و تغییرات شیمیایی و فیزیکی در هر کدام مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲-۴- واکنش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی

اینتراستریفیکاسیون به روش شیمیایی طبق روش داسیلوا و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد. ۲۵۰ میلی‌لیتر نمونه در یک فلاسک که تحت فشار کمتری قرار گرفته بود مجهز به یک تبخیرکننده دوار در یک حمام آب در حدود ۹۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس، ۰/۵ گرم متوکسید سدیم به ازای ۱۰۰ گرم نمونه به مخلوط اضافه شد. با استفاده از یک فلاسک سوسپانسیون ۵۰۰ میلی‌لیتر در حمام آب با تحریک ثابت و تحت فشار کاهش در ۷۰ درجه سانتی‌گراد، واکنش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی بمدت ۶۰ دقیقه انجام شد. برای پایان دادن به واکنش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. برای حذف آب باقی‌مانده، سولفات سدیم بی آب اضافه شد؛ بعد، مخلوط با استفاده از یک فیلتر کاغذی واتمان شماره ۲ صاف شد [۶].

## ۲-۵- فرموله کردن و تولید نمونه‌های شورتینگ

برای حصول نقطه ذوب و میزان چربی جامد مورد نظر برای تولید شورتینگ، مخلوط اینتراستریفیه شده نهایی ابتدا تا دمای ۶۰ °C حرارت داده شدند، سپس تا بالای نقطه ذوبشان (حدود ۸ °C) سرد شدند. نمونه‌ها به ظرف استیل مجهز به همزن که درون یخ و نمک قرار داشت، منتقل و دمای آنها به ۱۸ °C رسانده شد. این سیستم مانند Votator عمل کرده و

اسیدهای چرب به عنوان مؤثرترین متغیرهای مستقل انتخاب شدند و در مدلسازی درصد چربی جامد و نقطه ذوب لغزشی (متغیرهای وابسته) چربی‌های اینتراستریفیه شده به طریق شیمیایی، به کار گرفته شدند. درصد چربی جامد به‌عنوان تابعی از دما، محتوای اسیدهای چرب اشباع (از مدل گمپرتز) و همچنین نقطه ذوب لغزشی به صورت تابعی از اسیدهای چرب سازنده مخلوط‌های اینتراستریفیه شده با به کارگیری آنالیزهای رگرسیونی یگانه شامل توابع ساده، درجه ۲، سیگموئیدی و گمپرتز با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات نسخه ۱۲ مدل شد. کفایت و دقت مدل های رگرسیونی به دست آمده توسط مقایسه مقادیر برآورد شده و مشاهده شده با استفاده از فاکتور کفایت مدل محاسبه گردید. در برازش بین داده‌های تجربی و مدل‌ها، از معیارهای سنجش دقت از جمله ضریب همبستگی (میزان ضریب همبستگی بین +۱ و -۱- در نوسان است. +۱ نشان‌دهنده همبستگی کامل و مستقیم می باشد)، ضریب تعیین (مقدار آن بین -۱- می‌باشد. هر چه ضریب تعیین بالاتر باشد نشان‌دهنده آن است که سهم بیشتری از تغییرات متغیر وابسته مربوط به متغیر مستقل است)، خطای استاندارد (کمتر بودن مقدار این شاخص نشان‌دهنده توان توضیح‌دهندگی بیشتر مدل می‌باشد) و میانگین خطای مطلق (این شاخص نزدیکی پیش بینی به نتایج تجربی را ارزیابی می‌کند) استفاده شد. و  $p$  value حداکثر ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. جهت اعتبار بخشی<sup>۳</sup> مدل‌های ارائه شده، مقادیر SFC و SMP سایر مخلوط‌های اینتراستریفیه شده با استفاده از مدل‌ها پیش‌بینی و با داده‌های SFC و SMP به دست آمده از روش‌های آزمایشی برآزش شد [۴].

## ۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تهیه نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با ۳ تکرار، انجام گرفت. از نرم‌افزار آماری SPSS ۱۲ استفاده شد. برای تعیین معنی‌داری تأثیر متغیرها بر هر یک از صفات مورد آزمون، روش ANOVA استفاده و در صورت وجود معنی داری، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan) در سطح اطمینان ۹۵٪ ( $p < 0.05$ ) انجام گرفت.

نقطه ذوب لغزشی به روش لوله موئین باز طبق روش Cc 3b-92 AOCS: (۱۹۹۷) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در ۱۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از نقطه ذوب‌شان حرارت داده شدند تا کاملاً ذوب گردند. در مورد هر نمونه، سه لوله موئینه در روغن فرو برده شد تا روغن به ارتفاع یک سانتی‌متر از آن بالا رود. لوله‌ها با پنبه تمیز شده و سریعاً به یک حمام آب یخ انتقال داده شدند تا جامد شوند. سپس لوله‌ها بمدت ۱۶ ساعت در یخچال (دمای  $1 \pm 6$  درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. پس از سپری شدن زمان مورد نظر، لوله‌ها به کمک بند لاستیکی به دماسنج متصل شده و داخل یک بشر ۶۰۰ میلی‌لیتری حاوی آب (با دمای ۱۰-۸ درجه سانتی‌گراد کمتر از نقطه ذوب لغزشی احتمالی نمونه) قرار داده شدند و سپس با سرعت یک درجه سانتی‌گراد به ازای هر دقیقه حرارت دهی شد. سرعت حرارت دهی با نزدیک شدن به نقطه ذوب لغزشی به ۰/۵ درجه سانتی‌گراد به ازای هر دقیقه کاهش یافت. دمایی که در آن نمونه شروع به بالا رفتن در لوله موئین کرد، به‌عنوان نقطه ذوب لغزشی گزارش شد [۸].

## ۲-۸- میزان چربی جامد (SFC)

میزان چربی جامد با استفاده از یک دستگاه رزونانس مغناطیس هسته‌ای متناوب<sup>۲</sup> مدل (Bruker Spectrospin Ltd, Conventry, UK) به روش AOCS.cd 16b-93 اندازه‌گیری شد. ابتدا نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در گرمخانه حرارت‌دهی شدند تا کاملاً ذوب شوند. سپس به ارتفاع ۴ سانتی‌متر در لوله‌ها پر شدند. بعد از آن بمدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، یک ساعت در دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در دمای صفر درجه سانتی‌گراد میزان چربی جامد نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن هر یک از نمونه‌ها به‌طور مجزا بمدت ۴۵ دقیقه در دمای ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس اندازه‌گیری میزان چربی جامد بر روی هر کدام از نمونه‌ها در دماهای مورد نظر انجام شد [۹].

## ۲-۹- مدلسازی

بر اساس آنالیزهای ضریب همبستگی پیرسون، دما و ساختار

دوتایی روغن‌های ارده کنجد و پالم استتارین مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۱ شرح داده شده است. از مخلوط ۵۰:۵۰ به ۷۵:۲۵ کاهش در میزان اسیدپالمیتیک و افزایش در اسید اولئیک و لینولئیک مشاهده می‌شود. میزان اسید ترانس در حد قابل قبول برای شورتینینگ بدون ترانس است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- پروفایل اسیدهای چرب و نقطه ذوب

#### لغزشی

پروفایل اسیدهای چرب و نقطه ذوب لغزشی در مخلوط‌های

**Table 1** Fatty acid profile and SMP of baking-shortening samples made from Ardeh oil and Palm stearin .

Fatty acids (%)	(Ardeh/PS) ratio			
	50:50	60:40	75:25	
		ND	ND	
C10:0	ND	0.09±0.00	0.09±0.01	
C12:0	0.08±0.00	0.56±0.04	0.36±0.04	
C14:0	0.71±0.04	0.03±0.00	0.04±0.00	
C15:0	ND	31.1±0.4	23.78±0.1	
C16:0	37.91±00.1	0.20 ±0.01	0.24±0.1	
C16:1	0.29±0.1	0.09±0.1	0.08±0.00	
C17:0	0.05±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	
C17:1	0.03±0.00	4.87±0.01	4.61±0.1	
C18:0	4.51±0.01	33.06±0.5	34.51±0.04	
C18:1	31.82±0.4	26.70±0.04	33.47±0.01	
C18:2	23.25±0.03	0.41±0.04	0.35±0.00	
C18:3	0.21±0.01	0.46±0.01	0.38±0.00	
C20:0	0.24±0.01	0.18±0.00	0.19±0.01	
C20:1	0.22±0.01	0.14±0.00	0.07±0.00	
C22:0	0.06±0.00	0.04±0.01	ND	
C22:2	0.12±0.01	0.05±0.00	0.06±0.00	
C24:0	0.05±0.00	0.04±0.01	0.02±0.00	
C24:1	0.05±0.00			
Total trance	0.2	0.3	29.47	
ΣSFA (%)	43.61	37.39	2.34	
UFA/SFA	1.28	1.63		
SMP(°C)	before	52.66 <sup>a</sup> ±0.305	51.4 <sup>a</sup> ±0.360	45 <sup>a</sup> ±0.000
	after	48 <sup>b</sup> ±0.001	46 <sup>b</sup> ±0.001	42.3 <sup>b</sup> ±0.250

SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; UFA: unsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; ND: not detected

پیدا کرده است که به علت میزان بالاتر اسید چرب اشباع پالمیتیک در روغن پالم می‌باشد، بنابراین پالم استتارین به عنوان جزء جامد برای تهیه شورتینینگ مناسب بود [۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۳]. بیشترین درصد اسیدهای چرب غیر اشباع در مخلوط ۷۵:۲۵ مشاهده شد که عمدتاً شامل اسید اولئیک و لینولئیک بود [۱۴]. بنابراین از نسبت ۵۰:۵۰ به ۷۵:۲۵ میزان اسید پالمیتیک کاهش و اسید اولئیک و لینولئیک افزایش می‌یابد. اسید چرب ترانس در

فرآیند اینتراستریفیکاسیون، ترکیب شیمیایی اسیدهای چرب موجود را تغییر نمی‌دهد. عدم تأثیر پذیری ترکیب اسیدهای چرب سازنده چربی‌ها از واکنش اینتراستریفیکاسیون، در نتایج مطالعات بهمدی و همکاران (۱۳۷۸)، روسو و مارانگنی (۲۰۰۲)، فرمانی و همکاران (۲۰۰۸)، کوچک یزدی و عالم زاده (۱۳۹۱) گزارش شده است. هرچه نسبت روغن پالم استتارین در مخلوط‌ها افزایش یافته است، مجموع اسیدهای چرب اشباع نیز افزایش

روی آن نداشته باشد. همان‌طور که فرمانی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند، نقطه ذوب مخلوط روغن کانولا و پالم بعد از اینتراستریفیکاسیون شیمیایی افزایش می‌یابد ( $p < 0.05$ ) [۱۵]. همچنین در مورد اینتراستریفیکاسیون مخلوط روغن‌های پالم، آفتابگردان و کانولا نیز افزایش نقطه ذوب مشاهده شد. فرمانی و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۹) دلیل این امر را تشکیل تری‌آسیل گلیسرول‌های (PPP) با نقطه ذوب بالا ذکر نمودند [۱۵ و ۱۸].

### ۳-۲- درصد چربی جامد (SFC)

میزان چربی جامد مخلوط دوتایی روغن ارده کنجد و پالم استتارین در نسبت‌ها و دماهای مختلف قبل و پس از اینتراستریفیکاسیون شیمیایی نیز اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۱ قابل مشاهده است. با افزایش نسبت روغن پالم استتارین در مخلوط‌های دوتایی مقدار چربی جامد افزایش می‌یابد ( $p < 0.05$ ) که به علت وجود تری‌آسیل گلیسرول‌های اشباع شده بیشتری می‌باشد. ثقفی و همکاران (۲۰۱۸) از مخلوط پالم استتارین و روغن کانولا نوعی شورتینگ مخصوص کیک تهیه نمودند، تغییرات SFC و SMP طی فرآیند اینتراستریفیکاسیون شیمیایی به‌طور مشابهی روند کاهشی داشت [۱۷]. واکنش اینتراستریفیکاسیون موجب کاهش در میزان SFC می‌شود ( $p < 0.05$ ) زیرا ساختار بلورها از  $\beta$  (کریستال‌های درشت) به شکل  $\beta'$  (کریستال‌های کوچک) تغییر کرده است؛ از این رو، کریستالها با استفاده از دماهای بالا، سریع‌تر ذوب می‌شوند [۱۹]. در واقع نقطه ذوب و میزان چربی جامد دویژگی مهم در طبقه بندی شورتینگ‌ها هستند که بر خواص ارگانولپتیکی، هوادهی و پخش بهتر خمیر و سهولت در بسته بندی تاثیر گذارند [۲۰].

همه نمونه‌ها کمتر از ۲٪ (استاندارد تعیین شده توسط WHO, FAO) بود بنابراین بدون ترانس محسوب می‌شود.

محدوده نقطه ذوب لغزشی در مخلوط‌های دوتایی با نسبت‌های مختلف قبل از اینتراستریفیکاسیون ۴۵ تا ۵۲/۶ درجه سانتی‌گراد بود در حالی‌که در نمونه‌های اینتراستریفیه شده ۴۲/۳ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد رسید. هر چه میزان روغن ارده کنجد در مخلوط‌ها بیشتر باشد در نتیجه نقطه ذوب کاهش می‌یابد که این به دلیل درصد بالاتر اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد. از سوی دیگر، همان‌طور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، اینتراستریفیکاسیون شیمیایی سبب کاهش نقطه ذوب آنها گردید ( $p < 0.05$ ) که به علت تشکیل تری‌آسیل گلیسرول‌های با نقطه ذوب پایین می‌باشد. مخلوط‌های دوتایی با مقدار اسید چرب غیراشباع بالاتر، بیشترین کاهش را در نقطه ذوب نشان دادند. کاهش نقطه ذوب به دلیل از بین رفتن بخشی از تری‌گلیسیریدهای با نقطه ذوب بالاتر طی واکنش‌های تغییر استری می‌باشد. بنابراین تغییر ساختمان تری‌گلیسیریدها در اثر فرآیند استریفیکاسیون بر نقطه ذوب مخلوط در جهت مطلوب تأثیر می‌گذارد. فرمانی و همکاران (۲۰۰۹) کاهش نقطه ذوب مخلوط اینتراستریفیه شده روغن کانولا و روغن سویای کاملاً هیدروژنه پس از اینتراستریفیکاسیون را مشاهده نمودند. این کاهش به علت کاهش مقدار تری‌آسیل گلیسرول‌های با نقطه ذوب بالا به وسیله اینتراستریفیکاسیون است [۱۵]. کاستلز و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی که بر روی پالم استتارین و روغن سویا انجام دادند کاهش چشم‌گیر نقطه ذوب لغزشی را مشاهده نمودند [۱۶].

دسیلوا و همکاران (۲۰۱۰) که بر روی اینتراستریفیکاسیون مخلوط‌های دوتایی روغن پالم استتارین و روغن زیتون تحقیق کردند به این نتیجه رسیدند که اینتراستریفیکاسیون سبب کاهش نقطه ذوب این مخلوط‌های دوتایی می‌گردد که دلیل آن را به کاهش مقادیر  $S_3+S_2U$  تری‌آسیل گلیسرول‌ها بعد از اینتراستریفیکاسیون نسبت داده شد [۶]. ثقفی و همکاران (۲۰۱۸) از پالم استتارین و روغن کانولا برای تولید شورتینگ مخصوص کیک استفاده نمودند. کاهش در نقطه ذوب را به کم شدن میزان تری‌گلیسرول‌ها با نقطه ذوب بالا مرتبط دانستند [۱۷].

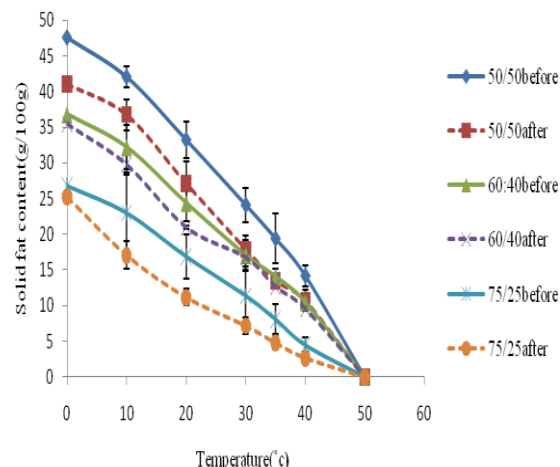
با تمام این اوصاف باید متذکر شد که، اینتراستریفیکاسیون ممکن است موجب افزایش یا کاهش نقطه ذوب شود و یا هیچ اثری بر

دوتایی روغن ارده کنجد و پالم استئارین در نسبت‌های مختلف می‌باشند. در بین اسیدهای چرب اشباع، اسید پالمیتیک و استئاریک بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. اسیدهای چرب اشباع (متغیرهای پالمیتیک، استئاریک و کل اسیدهای چرب اشباع) نقطه ذوب بالاتری دارند و یک همبستگی مثبت معنی داری بین اسیدهای چرب اشباع و SFC مشاهده شد ( $p < 0.05$ ). نتایج به دست آمده از ارزیابی همبستگی‌ها با نتایج حاصل از مطالعات نیکلاس<sup>۴</sup> و ساندرسون<sup>۵</sup> (۲۰۰۳) و فرمانی (۱۳۹۳) مطابقت دارد [۲۳ و ۲۲]. در این بررسی به منظور تعیین بهترین مدل توصیفی SFC به صورت تابعی از ساختار اسید چرب، از مدل گمپرتز که اثر همزمان اسیدهای چرب سازنده را بر روی متغیر پاسخ بررسی می‌کند، استفاده شده است. همچنین نیکوئی برازش مدل‌های ارائه شده توسط رگرسیون گمپرتز مورد ارزیابی قرار گرفت که در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل ۲، منحنی های SFC چربی‌های ایتراستریفیه را به صورت تابعی از SFA ( $SFC_f(SFA)$ ) نشان می‌دهد. SFC چربی‌ها برخلاف تأثیر دما که با افزایش دما کاهش می‌یافت، با افزایش محتوای SFA، افزایش می‌یابد. منحنی  $SFC_f(SFA)$  از مجانب پائین صفر، شروع می‌شود و در نهایت به حد بالایی SFC می‌رسد. همچنین منحنی های  $SFC_f(SFA)$ ، به شکل سیگموئیدی بودند که با استفاده از توابع سیگموئیدی مدل شدند (معادله ۱). انتخاب SFA به عنوان تنها متغیر مستقل به منظور به حساب آوردن تأثیر هر دو اسیدهای چرب استئاریک و پالمیتیک که دارای بیشترین مقدار در بین اسیدهای چرب بوده و همچنین به منظور داشتن مدلی ساده تر می باشد.

معادله ۱

$$SFC = \alpha e^{-\frac{(SFA-C)}{b}}$$

که در آن:  $\alpha$ : مجانب بالایی،  $b$ : تغییر مکان  $c, Y$ : میزان رشد (در محور  $Y$ ) و  $e$ : عدد اولیر<sup>۶</sup> ( $e=2.71828$ ) می‌باشد. ضرایب  $\alpha$  و  $b$  در هر مخلوط با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات محاسبه و در جداول نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همه مدل‌هایی که برای پیش‌بینی  $SFC_f(SFA)$  به دست



**Fig 1** SFC of Ardeh oil and palm stearin blends before and after interesterification reaction

مخلوط ایتراستریفیه شده از ۶۰٪ ارده کنجد و ۴۰٪ پالم استئارین می‌تواند برای تولید شورتینگ چند منظوره به کار رود. درصد مواد جامد (SFC) در دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده ۲۹/۷۵٪، ۲۱٪، ۱۶/۷٪ و ۹/۵٪ و نقطه ذوب لغزشی ۴۶ درجه سانتی‌گراد بود. این شورتینگ‌ها در دمای مابین ۱۰ تا ۱۵/۶ تا ۳۲/۲ درجه سانتی‌گراد خیلی سخت و در محدوده دمایی مابین ۳۲/۲ تا ۳۷/۸ درجه سانتی‌گراد خیلی نرم نیستند [۲۱].

مخلوط ایتراستریفیه شده از ۵۰٪ روغن ارده کنجد و ۵۰٪ پالم استئارین می‌تواند برای تهیه شورتینگ pie crust که نوعی شیرینی مخصوص است به کار رود. نقطه ذوب لغزشی این شورتینگ ۴۸ درجه سانتی‌گراد و درصد مواد جامد (SFC) در دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده ۳۶/۷٪، ۲۷/۱٪، ۱۷/۹٪ و ۱۰/۷٪ بود. این شورتینگ‌ها به منظور ایجاد انعطاف پذیری ۳۵/۵۰۵٪، ۴۴/۸۷٪، تردی و ایجاد حالت پوسته در شیرینی به کار می‌رود [۲۱].

### ۳-۳-۳ مدل سازی ویژگی‌های فیزیکی چربی‌های

#### ایتراستریفیه شده

### ۳-۳-۱ مدل سازی درصد SFC چربی‌های ایتراستریفیه

#### شده به عنوان تابعی از ترکیب اسید چرب اشباع

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، پالمیتیک، استئاریک، اولئیک و لینولئیک اسید از اسیدهای چرب اصلی در مخلوط‌های

4. Nicholas

5. Sanderson

6. Euler's Number

تمام مدل‌هایی که برای پیش‌بینی درصد SFC به عنوان تابعی از SFA ارائه شد،  $R^2$  بالا ( $>0.97$ ) داشته و در سطح اطمینان ( $p < 0.01$ ) معنی‌دار بودند. همچنین گزارش شد که ضریب همبستگی مقادیر آزمایشی و پیش‌بینی‌شده بالاتر از  $0.99$  بوده است و مدل‌ها توانستند درصد SFC چربی‌های ایتراستریفیه شده را با دقت بالایی پیش‌بینی کنند [۲۳].

آمدند،  $R^2$  بالایی ( $>0.98$ ) داشتند. همان‌گونه که در این تحقیق مطرح شد، منحنی  $SFC_{(SFA)}$  یک منحنی سیگموئیدی می‌باشد و مدل‌های سیگموئیدی می‌توانند آن را به درستی توصیف کنند. فرمانی (۱۳۹۳) در مدل‌سازی درصد SFC مخلوط دوتایی روغن سویای کاملاً هیدروژنه و روغن کانولای ایتراستریفیه شده به عنوان تابعی از دما و SFA، منحنی سیگموئیدی را گزارش داد و

**Table 2** Coefficients of Gompertz models describing SFC as a function of SFA ( $SFC_{(SFA)}$ ) and evaluation of goodness of fit of models

Models $SFC_{(SFA)}$	Coefficients of Gompertz model			Goodness of fit				
	$\alpha$	b	c	$R^2$	P	SE	r	MAE
0	39.093 (2.900)	3.955 (1.487)	24.077 (0.857)	0.981	0.1386	3.407	0.990	1.395
10	40.282 (9.966)	8.040 (4.791)	26.805 (2.885)	0.984	0.1276	2.991	0.992	1.469
20	35.848 (18.198)	11.168 (8.223)	30.103 (7.223)	0.984	0.1258	2.242	0.992	1.085
30	18.834 (0.231)	5.463 (0.242)	26.680 (0.139)	1.000	0.0110	0.144	1.000	0.069
40	11.468 (0.088)	5.321 (0.122)	29.119 (0.088)	1.000	0.0043	0.038	1.000	0.018

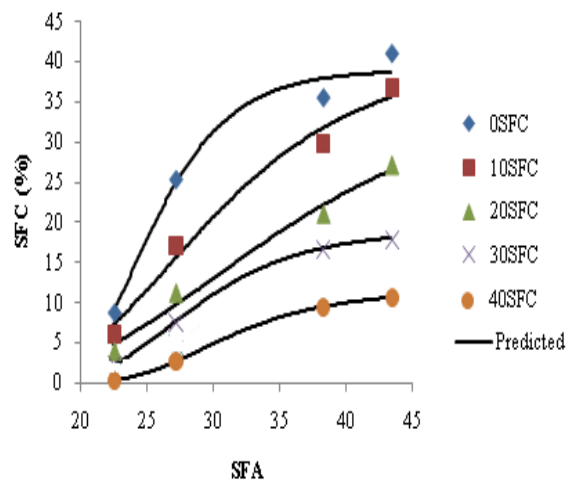
Abbreviations: P, Probability level of model; SE, standard error; r, Correlation coefficient between experimental and predicted values; MAE, Mean absolute error. P value of each coefficient is written within the parenthesis

درصد SFC به عنوان متغیر وابسته و دما به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. برای مدل‌سازی، منحنی SFC به صورت تابعی از دما ترسیم شد و سپس با مدل تجربی گمپرتز برازش داده شد. برای برازش داده‌های تجربی با مدل، از نرم‌افزار سیگماپلات استفاده شد. تأثیر دما بر SFC را می‌توان با فرمول ریاضی با استفاده از مدل گمپرتز به صورت زیر نشان داد:

$$SFC = \alpha e^{-\frac{(T-C)}{b}}$$

معادله ۲

ضرایب  $\alpha$ ،  $b$  و  $c$  در هر مخلوط با استفاده از نرم‌افزار سیگما پلات محاسبه و در جدول ۳ نشان داده شده است. ضریب تعیین ( $R^2$ ) بین  $0.99$  -  $0.98$  برای مدل‌ها به دست آمد. مدل‌ها در حالت کلی مقدار  $p$  کمتر از  $0.0001$  داشتند. به این معنی که این مدل توان خوبی در پیش‌بینی SFC به عنوان تابعی از دما دارد و می‌توان از آن برای پیش‌بینی SFC ترکیبات دوتایی ایتراستریفیه شده روغن ارده و پالم استتارین استفاده کرد. این تحقیق با نتایج حاصل از فرمانی (۱۳۹۳) و آگوستو و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت [۲۳ و ۲۴].



**Fig 2** The effect of Saturated Fatty Acid (SFA) on the Solid Fat Content (SFC) of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin

۳-۳-۲- مدل‌سازی درصد SFC چربی‌های ایتراستریفیه

شده به عنوان تابعی از دما

در مخلوط دوتایی روغن ارده و پالم استتارین، با افزایش دما، میزان چربی جامد (SFC) کاهش یافت. به عبارت دیگر، دو عامل SFC و دما با یکدیگر رابطه عکس دارند می‌توان گفت ضریب همبستگی منفی بین این دو متغیر وجود دارد (شکل ۳).

**Table 3** Coefficients of Gompertz models describing solid fat content (SFC) as a function of temperature



of chemical interesterified blends of Ardeh oil/Palm Stearin

Models SFC <sub>f(T)</sub>	Coefficients of Gompertz model			Goodness of fit				
	$\alpha$	b	c	R <sup>2</sup>	P	SE	r	MAE
50:50	49.242 (5.377)	-17.648 (3.432)	30.272 (2.518)	0.991	<0.0001	1.695	0.996	1.004
60:40	44.525 (9.254)	-20.770 (6.636)	29.076 (5.351)	0.979	0.0004	2.145	0.989	1.353
75:25	76.841 (44.585)	-37.801 (12.802)	-4.414 (20.420)	0.993	<0.0001	0.904	0.997	0.578

Abbreviations: P, Probability level of model; SE, standard error; r, Correlation coefficient between experimental and predicted values; MAE, Mean absolute error. P value of each coefficient is written within the parenthesis

۳-۳-۳- مدل سازی نقطه ذوب لغزشی به عنوان تابعی از

اسیدهای چرب اشباع کل

اسید پالمیتیک و استئاریک جزء اصلی اسیدهای چرب اشباع در مخلوط های مورد تحقیق می باشند. بنابراین مجموع این دو اسید (SFA) به عنوان متغیر مستقل و SMP به عنوان متغیر وابسته با کمک مدل های یگانه مورد تحلیل قرار گرفتند (توابع ساده، درجه ۲، سیگموئیدی و گمپرتز).

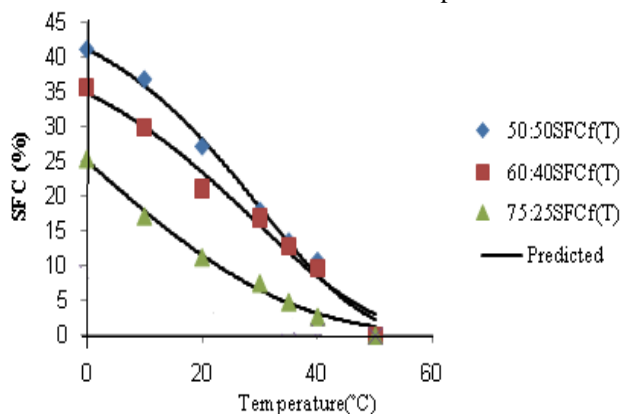


Fig 3 The effect of Temperature (°C) on the Solid Fat Content (SFC) of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin

Table 4 Evaluation of different models for prediction of slip melting point (SMP) of chemically interesterified blends of Ardeh oil and palm stearin

Goodness of Fit Index				Correlation coefficients of models					proposed models	
r	SE	MAE	R <sup>2</sup>	f	e	d	c	b	$\alpha$	
models (Simple Line)										
0.917	3.209	1.858	0.840	-	-	-	21.896	-	0.623	$SMP = a(SFA) + c$
0.970	2.776	1.324	0.940	-	-	-	-24.90	3.657	-0.046	(Quadratic) $SMP = a(SFA)^2 + b(SFA) + c$
0.994	1.277	0.493	0.987	-	-	-	19.372	3.680	47.222	(Sigmoid function) $SMP = \frac{\alpha}{1 + e^{-\frac{(SFA-c)}{b}}}$
(Gompertz)										
0.994	1.241	0.485	0.988	-	-	-	18.251	4.134	47.298	$SMP = \alpha e^{-e^{-\frac{(SFA-c)}{b}}}$

Abbreviations: P, Probability level of model; SE, standard error; r, Correlation coefficient between experimental and predicted values; MAE, Mean absolute error. P value of each coefficient is written within the parenthesis

توجه به ضریب همبستگی و میانگین خطای مطلق بهترین شاخص نیکویی برازش را از خود نشان داد.

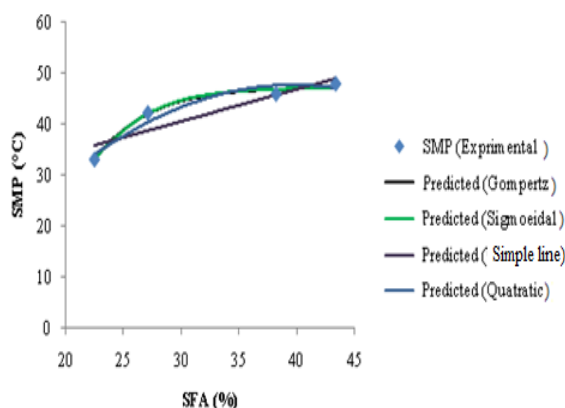
با توجه به جدول ۴، تمامی مدل های یگانه توانایی خوبی در پیش بینی SMP نسبت به SFA دارند اما از این میان مدل گمپرتز با

[۲۵]. فاسینا و همکاران (۲۰۰۸) یک رابطه خطی با همبستگی خوب ( $R^2 > 0/95$ ) بین خصوصیات ذوب ۱۲ نوع روغن گیاهی که توسط گرماسنجی پوشی افتراقی مورد بررسی قرار گرفته بودند و مقدار اسیدهای چرب تک غیراشباع و چند غیراشباع دست یافتند [۲۶].

#### ۴- نتیجه گیری

واکنش اینترستریفیکاسیون بدون تأثیر بر پروفایل اسیدهای چرب موجب بهبود خواص روغن ها و حفظ ارزش تغذیه ای آنها از طریق تولید محصولات بدون ترانس می شود. مخلوط های اینترستریفیه شده از روغن ارده کنجد و پالم استتارین با نسبت ۶۰:۴۰ خصوصیتی مشابه ۶۰:۴۰ شورتینگ چند منظوره (all-purpose) و نمونه ۵۰:۵۰ مشابه با شورتینگ مخصوص شیرینی های لایه ای (pie crust shortening) از خود نشان دادند.

مدلسازی درصد چربی جامد در مخلوط های دوتایی روغن ارده کنجد و پالم استتارین به صورت تابعی از دما ( $SFC_{f(T)}$ )، اسید چرب اشباع ( $SFC_{f(SFA)}$ ) و همچنین نقطه ذوب لغزشی در مخلوط های اینترستریفیه شده به صورت تابعی از SFA با استفاده از توابع سیگموئیدی گمپرتز انجام شد. بررسی معیارهای برازش مدل از جمله ضریب تعیین و ضریب همبستگی بالا بین مقادیر آزمایشی و پیش بینی شده، خطای استاندارد و میانگین خطای مطلق کمتر، نشان داد که تمامی مدل های ارائه شده از قدرت بالایی در پیش بینی مقادیر SFC و SMP مخلوط های اینترستریفیه شده برخوردار هستند. پیشنهاد چنین مدلهایی جهت پیش بینی مقادیر SFC، نیاز به دستگاه های پیشرفته ای نظیر رزونانس مغناطیسی هسته ای را رفع کرده و در توسعه فرمولاسیون جدید محصولات می تواند بسیار سودمند واقع شود و نیز با توجه به اینکه اندازه گیری مقدار نقطه ذوب روغن ها به روش های آزمایشگاهی زمان بر است، پیش بینی این خصوصیات فیزیکی از طریق مدل های ارائه شده می تواند در کاهش زمان، هزینه واکنش و همچنین مصرف مواد اولیه مؤثر واقع گردد.



**Fig 4** The effect of Saturated Fatty Acid (SFA) on the Slip melting point (SMP) of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin

همان طور که در شکل ۴ قابل مشاهده است به منظور ارزیابی توانایی مدل های یگانه  $SMP_{f(SFA)}$  در مخلوط اینترستریفیه شده روغن ارده و پالم استتارین داده های آزمایشی با مدل های خطی، درجه ۲، سیگموئیدی و گمپرتز مورد برداش قرار گرفت. این تغییرات رفتار صعودی و به شکل سیگموئیدی یا S شکل دارند و نیز برازش خوبی با داده های تجربی در آنها مشاهده می شود. در بین مدل های یگانه، مدل گمپرتز دارای بهترین شاخص نیکویی برازش بوده و آن را می توان به عنوان یک مدل مناسب و جامع جهت پیش بینی SMP چربی های اینترستریفیه شده در نظر گرفت. فرمانی و همکاران همبستگی خطی خوبی را بین میزان کل اسیدهای چرب اشباع و SMP مخلوط های سه تایی سویای کاملاً هیدروژنه، روغن کانولا و آفتابگردان اینترستریفیه شده بودند، گزارش دادند ( $R^2 > 0/9$ ).

فرمانی و همکاران (۲۰۱۶) از مدل رگرسیونی (به منظور بررسی تأثیر همزمان اسیدهای چرب بر روی متغیر پاسخ) و چندین نوع از توابع سیگموئیدی به صورت تابعی از نقطه ذوب لغزشی اسیدهای چرب اشباع جهت پیش بینی مقادیر مخلوط های دوتایی پالم اولئین کاملاً هیدروژنه شده و روغن سویا اینترستریفیه شده، استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل سیگموئیدی گمپرتز دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین میانگین خطای مطلق نسبت به داده های آزمایشگاهی در راستای پیش بینی چربی های اینترستریفیه به صورت تابعی از ترکیب اسیدهای چرب بود

۵- منابع

- [11] Rousseau, D., & Marangoni, A. G. 2008. 10: Chemical interesterification of food lipids: Theory and practice. Food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology, 267, 267.
- [12] Farmani J, Hamed M, Safari M. 2008. Production of zero *trans* Iranian vanaspati using chemical transesterification and blending techniques from palm olein, rapeseed and sunflower oil. International Journal of Food Science Technology, 43, 393–399.
- [13] Kochak yazdiz ,Z., Alamzadeh ,A., 2012. Investigation of Qualitative Characteristics of Sunflower Oil and Palm Oil Mixtures by Lipase Enzyme Reaction. Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology. Vol. 1, No. 1: 31-22.
- [14] Oliveira, P. D., Rodrigues, A. M., Bezerra, C. V., & Silva, L. H. 2017. Chemical interesterification of blends with palm stearin and patawa oil. Food chemistry, 215, 369-376.
- [15] Farmani, J., Safari, M., & Hamed, M. (2009). Trans - free fats through interesterification of canola oil/palm olein or fully hydrogenated soybean oil blends. European journal of lipid science and technology, 111(12), 1212-1220.
- [16] Costales-Rodríguez R, Gibon V, Verhé R, Greyt W D. 2009. Chemical and Enzymatic Interesterification of a Blend of Palm Stearin: Soybean Oil for Low *trans*-Margarine Formulation. Journal of the American Oil Chemists' Society, 86(7), 681–697.
- [17] Saghafi, Z., Naeli, M. H., Tabibiazar, M., & Zargaraan, A. 2018. Zero - Trans Cake Shortening: Formulation and Characterization of Physicochemical, Rheological, and Textural Properties. Journal of the American Oil Chemists' Society, 95(2), 171-183.
- [18] Farmani J, Safari M, Hamed, M. 2006. Application of palm olein in the production of zero trans Iranian vanaspati through enzymatic transesterification. European Journal of Lipid Science Technology, 108(8), 638-643.
- [19] Fauzi, S. H. M., Rashid, N. A., & Omar, Z. 2013. Effects of chemical interesterification on the physicochemical, microstructural and thermal properties of palm stearin, palm kernel oil and soybean oil blends. Food chemistry,
- [1] Bolourian, Sh., Goli Movahed, Gh., Afshari ,M., Firouz Madadounei ,F., and Karami, F. 2010. Evaluation of Heat Stability and Performance of Palm Olein and Colza Oils Blends in Frying of Potato Chips. 3:32-46.
- [2] Hemalatha, S. 2007. Sesame lignans enhance the thermal stability of edible vegetable oils. Food chemistry, 105(3), 1076-1085.
- [3] Gibon, V. 2011. Enzymatic intersterification of oils .Lipid Technology, 23(12):274-277.
- [4] Mahjoob,R., Nafchi, A. M., Amiri, E. O., & Farmani, J. 2018. An investigation on the physicochemical characterization of interesterified blends of fully hydrogenated palm olein and soybean oil. Food science and biotechnology, 27(2), 343-352.
- [5] Shaker, A., Shahedi, M and GH. Kabir. 2008. The study and comparison of traditional and industrial halva tahini production condition in Iran. Eighteenth National Congress of Food Science and Technology, 24-25.
- [6] da Silva, R. C., Soares, D. F., Lourenço, M. B., Soares, F. A., da Silva, K. G., Gonçalves, M. I. A., & Gioielli, L. A. 2010. Structured lipids obtained by chemical interesterification of olive oil and palm stearin. LWT-Food Science and Technology, 43(5), 752-758.
- [7] Heydarzadeh, Zandi P., Safafar ,H. 2008. Application of chemical intertransfection of vegetable oils for the production of non-transient multipurpose shortening. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 4, 38-29.
- [8] Brühl, L. 1997. Official methods and recommended practices of the American oil chemist's society, physical and chemical characteristics of oils, fats and waxes, section I. Ed. The AOCS methods editor and the AOCS technical department. 54 pages. AOCS Press, Champaign, 1996.
- [9] 16b - 93, A. O. C. S. 1999 . Solid fat content (SFC) by low - resolution nuclear magnetic resonance—The direct method.
- [10] Behmadi, H., Zandi, P., Goldani, M., Qavami, M., 2007. Production of fat-soluble from sunflower oil and soybean blend, Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 4, 20-11.

- University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- [24] Augusto P.E.D, Soares B.M.C, Chiu M.C, Gonçalves L.A.G.2012. Modeling the effect of temperature on the lipid solid fat content (SFC).Food Research International,45, 132-135.
- [25] Farmani, J., Ebrahimi, L&Bahmaei, M.,2016. Description of melting curves of enzymatically interesterified blends of fully hydrogenated palm olein and soybean oil by sigmoidal functions. Food Bioscience .PII:S2212-4292(16)30199-7
- [26] Fasina, O., Craig-Schmidt, M., Colley, Z., & Hallman, H. 2008. Predicting melting characteristics of vegetable oils from fatty acid composition. LWT-Food Science and Technology, 41(8), 1501-1505.
- 137(1-4), 8-17.
- [20] Samuel, C. B., Joy, E.-E., & Barine, K.-K. D. 2018. Effect of Chemical Interesterification on the Physicochemical Characteristics and Fatty Acid Profile of Bakery Shortening Produced from Shea Butter and Fluted Pumpkin Seed Oil Blend. American Journal of Food Science and Technology, 6(4), 187-194.
- [21] O'brien, R. D. 2008. Fats and oils: formulating and processing for applications: CRC press.
- [22] Nicholas DS, and Sanderson K. 2003.The nomenclature,structure and properties of food lipids. In Sikorski ZE, Kolakowska A (eds), Chemical and functional properties of food lipids. CRC Press, Boca Raton, pp 31-62.
- [23] Farmani, J.2014. Prediction of Solid Fat Percentage and Melting Point of Chemical Interstitial Fat Based on their Fatty Acid Composition .Research Project No. 08-02, Sari

## Modeling the Physical Properties of Chemically Interesterified Shortenings of Ardeh Oil and Palm Stearin

Tourchi Rudsari, M. <sup>1</sup>, Najafian, L. <sup>2\*</sup>, Shahidi, S. A. <sup>3</sup>

1. PhD. graduated, Department of Food Science and Technology, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

(Received: 2019/11/13 Accepted:2020/03/09)

One of the successful processes in the production of trans-free-fats is chemical interesterification. In this study, the effects of chemical interesterification reaction on slip melting point (SMP) and solid fat percentage (SFC) in the blends of Ardeh oil and Palm stearin as a solid component with a weight / weight ratio (50:50 to 60:40 and 75: 25) was investigated. The interesterification reaction was carried out at a temperature of 70 ° C under vacuum conditions in the presence of 0.5% wt sodium methoxied catalyst. To achieve the suitable SMP and SFC, special operations such as (heating, chilling and stirring) were carried on shortening. As a result, trans free shortenings were produced such as all-purpose shortening and pie crust shortening. Modeling of SFC% of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin was also performed using regression models. Preliminary studies showed that significant correlation exist between SFC and temperature or saturated fatty acids (SFA) content. The SFC curve of interesterified fats as a function of temperature ( $SFC_{f(T)}$ ) or SFA ( $SFC_{f(SFA)}$ ) and the SMP as a function of SFA ( $SMP_{f(SFA)}$ ) had S shape and could be described using the sigmoidal Gompertz model. The presented models can obviate the need for advanced instrumentation and can be especially helpful in development of new fat formulations.

**Keywords:** Chemical interestrification, Shortening, Modeling, Gompertz

---

\* Corresponding Author Email Address: najafian\_5828@yahoo.com