

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

مهندس طورچی رودسری^۱، لیلا نجفیان^{۲*}، سید احمد شهیدی^۳

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 الله امین، 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°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 ($\text{SFC}_{(T)}$) و به عنوان تابعی از SFA ($\text{SFC}_{(SFA)}$) و مدل SMP تابع SFA ($\text{SMP}_{(SFA)}$)، با ضریب همبستگی بالا به شکل سیگموئیدی (S شکل) بوده است و می توان با استفاده از مدلی مانند گمپرت 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، گمپرت

*مسئول مکاتبات: najafian_5828@yahoo.com

۱- مقدمه

اهمیت چربی ها و روغن ها نه تنها از دیدگاه سلامت بلکه از جنبه تجارت چنان است که ضرورت بررسی تولید و مصرف چربی ها و روغن های خوراکی را ایجاب می نماید و از دیرباز علاوه بر جنبه تغذیه ای، مسائل تولیدی و صنعتی روغن های خوراکی نیز حائز اهمیت بوده است [۱]. چربی ها و روغن های خام تحت فرآیند قرار می گیرند تا کیفیت ثابتی پیدا کنند و قابلیت خوراکی، پایداری و ایمنی آنها افزایش یابد و فرآورده های متنوعی با کاربردهای متفاوت تولید شود. نگرانی های 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 روش های جایگزین هیدروژنه کردن شده است [۲].

در ایتراستریفیکاسیون شیمیایی، برعکس هیدروژناسیون بدون تشکیل اسیدهای چرب ترانس و تغییر در ساختمان شیمیایی آنها، تنها ترتیب اسیدهای چرب بر روی مولکول گلیسرول به صورت تصادفی تغییر می کند؛ به عبارت دیگر، ویژگی های فیزیکی مخلوط های ایتراستریفیه شده مانند نقطه ذوب لغزشی و درصد چربی جامد می تواند تابعی از پروفایل اسیدهای چرب آنها باشد. این مسئله امکان پیش بینی ویژگی های فیزیکی چربی ها را با دانستن پروفایل اسید چرب آنها فراهم می سازد [۳]. از سوئی به واسطه ی توجه و علاقه مصرف کنندگان به ویژگی های تغذیه ای مواد غذایی، درخواست برای تولید مواد غذایی فراسودمند و طبیعی افزایش یافته و صنعت غذا برای بهینه کردن ارزش تغذیه ای در کنار حفظ و بهبود طعم محصول نیاز به طراحی مجدد مواد غذایی سستی دارد. روغن ارده کنجد به دلیل دارا بودن میزان قابل توجهی ترکیبات ریزمغذی شامل آنتی اکسیدان ها، توکوفرول ها، یون های فلزی و اسیدهای آمینه ضروری و نیز اسیدهای چرب غیراشباع در جهت رسیدن به این هدف مؤثر می باشد.

با استفاده از مدل های رگرسیونی (با استفاده از تابع سیگموئیدی S شکل مانند گمپرتز و از طریق نرم افزار سیگماپلات^۱ ویژگی های فیزیکی محصول ایتراستریفیه شده را به منظور تولید چربی مطلوب می توان پیش بینی نمود و با دستیابی به مدل مناسب برای

درصد SFC و SMP به عنوان تابعی از ترکیب اسید چرب و دما به ارتباط بین ویژگی های فیزیکی روغن ایتراستریفیه و ساختار اسیدهای چرب سازنده آن پی برد [۴]. اگرچه اطلاعات زیادی در ارتباط با ویژگی های چربی های ایتراستریفیه موجود است اما تاکنون مطالعه ای پایه ای در خصوص مدل سازی درصد چربی جامد و نقطه ذوب مخلوط های دوجزئی روغن ارده کنجد و پالم استتارین به روش ایتراستریفیکاسیون شیمیایی انجام نشده است. از مدل ارائه شده در این تحقیق می توان به عنوان ابزار قدرتمندی برای پیش بینی SMP و SFC چربی های ایتراستریفیه شده استفاده کرد که برای تهیه فرمولاسیون های جدید چربی قبل از انجام هرگونه آزمایش هزینه بر و وقت گیر، مفید و بسیار مؤثر است.

۲- مواد و روش ها

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. متوکسیدسیدیم از شرکت مرک آلمان خریداری شد. استانداردهای متیل استراسیدهای 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

دانه های کنجد به کار رفته برای تولید روغن ارده از وارسته پاکستانی (*Sesamu indicum* L.) که از کارخانه های تولید روغن شهر یزد تهیه شد. برای تهیه روغن ارده، ابتدا دانه های کنجد بوجاری شده یک مرحله خیساندن را به مدت ۸ ساعت یا یک شب طی می نماید. پس از خارج کردن آب، دانه های خیس خورده وارد دستگاه پوست گیری شده که عمل آن سایشی_ضربه ای است و پوست دانه ها که در اثر خیس خوردن، قابل انعطاف شده از مغز دانه جدا می شود. مرحله بعد جداسازی پوست دانه است، برای این کار از آب نمک اشباع استفاده شد و بر اساس چگالی نسبی، پوست ها در آب نمک جدا شدند. در این مرحله لازم است دانه ها شوری زدایی شوند، بنابراین دانه های کنجد چندین دفعه با آب

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 $27-29^{\circ}\text{C}$ انجام شد، سپس در دمای 4°C درجه سانتی گراد نگهداری شد. از شورتینگ جهت اندازه گیری عدد پراکسید، صابون، اسید چرب آزاد، اندیس یدی، نقطه ذوب، درصد اسیدهای چرب SFC، و پایداری اکسیداتیو نمونه گیری شد [۷].

۲-۶- پروفایل اسیدهای چرب

آماده سازی 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 0.35 گرم نمونه روغن و 6 میلی لیتر سود متانولی 0.5 نرمال در یک ارلن 50 میلی لیتری ریخته شد. یک مبرد به آن وصل شد و بمدت 10 دقیقه روی هیتر حرارت داده شد. سپس 7 میلی لیتر محلول (تری فلورید برم) BF3 متانولی (125 گرم BF3 در یک لیتر متانول) از بالای مبرد اضافه گردید و 2 دقیقه دیگر عمل حرارت دهی انجام شد. سپس، 5 میلی لیتر 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 15 میلی لیتر آب نمک اشباع اضافه شد و به مدت 15 ثانیه شدیداً به هم زده شد. سپس مقدار لازم آب نمک اشباع اضافه شده تا فاز آلی به خوبی جدا شود. یک میلی لیتر 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 میلی لیتر 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 220 درجه سانتی گراد با ستون موئین به طول 60 متر و گاز حامل هیدروژن با فشار 20 پاسکال و خلوص 99.9% ، دمای تزریق و آشکارساز 250 درجه سانتی گراد و دمای آون 200 درجه سانتی گراد و مقدار تزریق 1 میلی لیتر بود [۸].

۲-۷- نقطه ذوب لغزشی

شیرین شسته شده و در مرحله بعد با استفاده از دستگاه سانتیفرژ آب اضافی از دانه جدا گشته سپس دانه های کنجد وارد فر شدند. مرحله بو دادن حدود $1/5$ تا 2 ساعت در دمای $90-110$ درجه سانتی گراد 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 سوخته های حاصل از پخت در فر حذف شود. آخرین مرحله آسیاب کردن است. ضمن آسیاب روغن و ارده حاصل می شود [۵].

۲-۳- تهیه مخلوط روغن ها

مخلوط دوتایی از روغن ارده کنجد و پالم استتارین با 3 نسبت $50:50:40$ و $70:25$ تهیه شد. مخلوط ها 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. 250 میلی لیتر نمونه در یک فلاسک که تحت فشار کمتری قرار گرفته بود مجهز به یک تبخیرکننده دوار در یک حمام آب در حدود 95 درجه سانتی گراد خشک شد. سپس، 0.5 گرم متوکسید سدیم به ازای 100 گرم نمونه به مخلوط اضافه شد. با استفاده از یک فلاسک سوسپانسیون 500 میلی لیتر در حمام آب با تحریک ثابت و تحت فشار کاهش در 70 درجه سانتی گراد، واکنش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی بمدت 60 دقیقه انجام شد. برای پایان دادن به واکنش 5 میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. برای حذف آب باقی مانده، سولفات سدیم بی آب اضافه شد؛ بعد، مخلوط با استفاده از یک فیلتر کاغذی واتمان شماره 2 صاف شد [۶].

۲-۵- فرموله کردن و تولید نمونه های شورتینگ

برای حصول نقطه ذوب و میزان چربی جامد مورد نظر برای تولید شورتینگ، مخلوط اینتراستریفیه شده نهایی ابتدا تا دمای 60°C حرارت داده شدند، سپس تا بالای نقطه ذوبشان (حدود 48°C) سرد شدند. نمونه ها به ظرف استیل مجهز به همزن که درون یخ و نمک قرار داشت، منتقل و دمای آنها به 18°C رسانده شد. این سیستم مانند Votator عمل کرده و

اسیدهای چرب به عنوان مؤثرترین متغیرهای مستقل انتخاب شدند و در مدل سازی درصد چربی جامد و نقطه ذوب لغزشی (متغیرهای وابسته) چربی های اینتراستریفیه شده به طریق شیمیایی، به کار گرفته شدند. درصد چربی جامد به عنوان تابعی از دما، محتوای اسیدهای چرب اشباع (از مدل گمپرتز) و همچنین نقطه ذوب لغزشی به صورت تابعی از اسیدهای چرب سازنده مخلوط های اینتراستریفیه شده با به کارگیری آنالیزهای رگرسیونی یگانه شامل توابع ساده، درجه ۲، سیگموئیدی و گمپرتز با استفاده از نرم افزار 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 داده های تجربی و مدل ها، از معیارهای سنجش دقت از جمله ضریب همبستگی (میزان ضریب همبستگی بین ۱+ و ۱- در نوسان است. ۱+ نشان دهنده همبستگی کامل و مستقیم می باشد)، ضریب تعیین (مقدار آن بین ۱- می باشد. هر چه ضریب تعیین بالاتر باشد نشان دهنده آن است که سهم بیشتری از تغییرات متغیر وابسته مربوط به متغیر مستقل است)، خطای استاندارد (کمتر بودن مقدار این شاخص نشان دهنده توان توضیح دهنده گوی بیشتر مدل می باشد) و میانگین خطای مطلق (این شاخص نزدیکی پیش بینی به نتایج تجربی را ارزیابی می کند) استفاده شد. و p value حداکثر ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. جهت اعتبار بخشی^۳ مدل های ارائه شده، مقادیر SFC و SMP سایر مخلوط های اینتراستریفیه شده با استفاده از مدل ها پیش بینی و با داده های SFC و SMP به دست آمده از روش های آزمایشی برازش شد [۴].

۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تهیه نمونه ها و تجزیه و تحلیل داده های حاصل از آزمایش ها با ۳ تکرار، انجام گرفت. از نرم افزار آماری SPSS ۱۲ استفاده شد. برای تعیین معنی داری تأثیر متغیرها بر هر یک از صفات مورد آزمون، روش ANOVA استفاده و در صورت وجود معنی داری، مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای 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) اندازه گیری شد. نمونه ها در ۱۰ درجه سانتی گراد بالاتر از نقطه ذوب شان حرارت داده شدند تا کاملاً ذوب گردند. در مورد هر نمونه، سه لوله موئینه در روغن فرو برده شد تا روغن به ارتفاع یک سانتی متر از آن بالا رود. لوله ها با پنبه تمیز شده و سریعاً به یک حمام آب یخ انتقال داده شدند تا جامد شوند. سپس لوله ها بمدت ۱۶ ساعت در یخچال (دمای 1 ± 6 درجه سانتی گراد) قرار داده شدند. پس از سپری شدن زمان مورد نظر، لوله ها به کمک بند لاستیکی به دماسنج متصل شده و داخل یک بشر ۶۰۰ میلی لیتری حاوی آب (با دمای ۸-۱۰ درجه سانتی گراد کمتر از نقطه ذوب لغزشی احتمالی نمونه) قرار داده شدند و سپس با سرعت یک درجه سانتی گراد به ازای هر دقیقه حرارت دهی شد. سرعت حرارت دهی با نزدیک شدن به نقطه ذوب لغزشی به ۰/۵ درجه سانتی گراد به ازای هر دقیقه کاهش یافت. دمایی که در آن نمونه شروع به بالا رفتن در لوله موئین کرد، به عنوان نقطه ذوب لغزشی گزارش شد [۸].

۲-۸- میزان چربی جامد (SFC)

میزان چربی جامد با استفاده از یک دستگاه رزونانس مغناطیس هسته ای متناوب^۲

مدل (Bruker Spectrospin Ltd, Conventry, UK) به روش AOCS.cd 16b-93 اندازه گیری شد. ابتدا نمونه ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد در گرمخانه حرارت دهی شدند تا کاملاً ذوب شوند. سپس به ارتفاع ۴ سانتی متر در لوله ها پر شدند. بعد از آن بمدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد، ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد، یک ساعت در دمای صفر درجه سانتی گراد نگهداری شد. در دمای صفر درجه سانتی گراد میزان چربی جامد نمونه ها اندازه گیری شد. بعد از آن هر یک از نمونه ها به طور مجزا بمدت ۴۵ دقیقه در دمای ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰ درجه سانتی گراد نگهداری شدند و سپس اندازه گیری میزان چربی جامد بر روی هر کدام از نمونه ها در دماهای مورد نظر انجام شد [۹].

۲-۹- مدل سازی

بر اساس آنالیزهای ضریب همبستگی پیرسون، دما و ساختار

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پروفایل اسیدهای چرب و نقطه ذوب

لغزشی

پروفایل اسیدهای چرب و نقطه ذوب لغزشی در مخلوط‌های

دوتایی روغن‌های ارده کنجد و پالم استئارین 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 شورتینگ بدون ترانس است.

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
C10:0	ND	ND	ND
C12:0	0.08±0.00	0.09±0.00	0.09±0.01
C14:0	0.71±0.04	0.56±0.04	0.36±0.04
C15:0	ND	0.03±0.00	0.04±0.00
C16:0	37.91±00.1	31.1±0.4	23.78±0.1
C16:1	0.29±0.1	0.20 ±0.01	0.24±0.1
C17:0	0.05±0.00	0.09±0.1	0.08±0.00
C17:1	0.03±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00
C18:0	4.51±0.01	0.04±0.00	4.61±0.1
C18:1	31.82±0.4	4.87±0.01	34.51±0.04
C18:2	23.25±0.03	33.06±0.5	33.47±0.01
C18:3	0.21±0.01	26.70±0.04	0.35±0.00
C20:0	0.24±0.01	0.41±0.04	0.38±0.00
C20:1	0.22±0.01	0.46±0.01	0.19±0.01
C22:0	0.06±0.00	0.18±0.00	0.07±0.00
C22:2	0.12±0.01	0.14±0.00	ND
C24:0	0.05±0.00	0.04±0.01	0.06±0.00
C24:1	0.05±0.00	0.05±0.00	0.02±0.00
Total trance	0.2	0.3	0.3
ΣSFA (%)	43.61	37.39	29.47
UFA/SFA	1.28	1.63	2.34
SMP(°C)	before 52.66 ^a ±0.305	51.4 ^a ±0.360	45 ^a ±0.000
	after 48 ^b ±0.001	46 ^b ±0.001	42.3 ^b ±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 استئارین به عنوان جزء جامد برای تهیه شورتینگ مناسب بود [۱۰، ۱۱، ۱۲]. 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 استئارین در مخلوط‌ها افزایش یافته است، مجموع اسیدهای چرب اشباع نیز افزایش

همه نمونه ها کمتر از ۲٪ (استاندارد تعیین شده توسط WHO, FAO) بود بنابراین بدون ترانس محسوب می شود.

محدوده نقطه ذوب لغزشی در مخلوط های دوتایی با نسبت های مختلف قبل از اینتراستریفیکاسیون ۴۵ تا ۵۲/۶ درجه سانتی گراد بود در حالی که در نمونه های اینتراستریفیه شده ۴۲/۳ تا ۴۸ درجه سانتی گراد رسید. هر چه میزان روغن ارده کنگد در مخلوط ها بیشتر باشد در نتیجه نقطه ذوب کاهش می یابد که این به دلیل درصد بالاتر اسیدهای چرب غیراشباع می باشد. از سوی دیگر، همان طور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، اینتراستریفیکاسیون شیمیایی سبب کاهش نقطه ذوب آنها گردید ($p < 0.05$) که به علت تشکیل تری آسیل گلیسرول های با نقطه ذوب پایین می باشد. مخلوط های دوتایی با مقدار اسید چرب غیراشباع بالاتر، بیش ترین کاهش را در نقطه ذوب نشان دادند. کاهش نقطه ذوب به دلیل از بین رفتن بخشی از تری گلیسیریدهای با نقطه ذوب بالاتر طی واکنش های تغییر استری می باشد. بنابراین تغییر ساختمان تری گلیسیریدها در اثر فرآیند استریفیکاسیون بر نقطه ذوب مخلوط در جهت مطلوب تأثیر می گذارد. 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 تری آسیل گلیسرول های با نقطه ذوب بالا به وسیله اینتراستریفیکاسیون است [۱۵]. کاستلز و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی که بر روی پالم استئارین و روغن سویا انجام دادند کاهش چشم گیر نقطه ذوب لغزشی را مشاهده نمودند [۱۶].

دسیلوا و همکاران (۲۰۱۰) که بر روی اینتراستریفیکاسیون مخلوط های دوتایی روغن پالم استئارین و روغن زیتون تحقیق کردند به این نتیجه رسیدند که اینتراستریفیکاسیون سبب کاهش نقطه ذوب این مخلوط های دوتایی می گردد که دلیل آن را به کاهش مقادیر $S_3 + S_2U$ تری آسیل گلیسرول ها بعد از اینتراستریفیکاسیون نسبت داده شد [۶]. ثقفی و همکاران (۲۰۱۸) از پالم استئارین و روغن کانولا برای تولید شورتینگ مخصوص کیک استفاده نمودند. کاهش در نقطه ذوب را به کم شدن میزان تری گلیسرول ها 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

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

۳-۲- درصد چربی جامد (SFC)

میزان چربی جامد مخلوط دوتایی روغن ارده کنگد و پالم استئارین در نسبت ها و دماهای مختلف قبل و پس از اینتراستریفیکاسیون شیمیایی نیز اندازه گیری شد که نتایج آن در شکل ۱ قابل مشاهده است. با افزایش نسبت روغن پالم استئارین در مخلوط های دوتایی مقدار چربی جامد افزایش می یابد ($p < 0.05$) که به علت وجود تری آسیل گلیسرول های اشباع شده بیشتری می باشد. ثقفی و همکاران (۲۰۱۸) از مخلوط پالم استئارین و روغن کانولا نوعی شورتینگ مخصوص کیک تهیه نمودند، تغییرات SFC و SMP طی فرآیند اینتراستریفیکاسیون شیمیایی به طور مشابهی روند کاهشی داشت [۱۷]. واکنش اینتراستریفیکاسیون موجب کاهش در میزان SFC می شود ($p < 0.05$) زیرا ساختار بلورها از β (کریستال های درشت) به شکل β' (کریستال های کوچک) تغییر کرده است؛ از این رو، کریستالها با استفاده از دماهای بالا، سریع تر ذوب می شوند [۱۹]. در واقع نقطه ذوب و میزان چربی جامد دو ویژگی مهم در طبقه بندی شورتینگ ها هستند که بر خواص ارگانولپتیکی، هوادهی و پخش بهتر خمیر و سهولت در بسته بندی تأثیر گذارند [۲۰].

دوتایی روغن ارده کنجد و پالم استارین در نسبت‌های مختلف می‌باشند. در بین اسیدهای چرب اشباع، اسید پالمیک و استئاریک بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. اسیدهای چرب اشباع (متغیرهای پالمیک، 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^۴ و ساندرسون^۵، (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 پالمیک که دارای بیشترین مقدار در بین اسیدهای چرب بوده و همچنین به منظور داشتن مدلی ساده تر می باشد.

معادله ۱

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

که در آن: a : مجانب بالایی، b : تغییر مکان c, Y : میزان رشد (در محور Y) و e : عدد اولیر^۶ ($e = 2.71828$) می‌باشد. ضرایب a ، b و c در هر مخلوط با استفاده از نرم افزار سیگماپلات محاسبه و در جداول نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، همه مدل‌هایی که برای پیش‌بینی $SFC_f(SFA)$ به دست

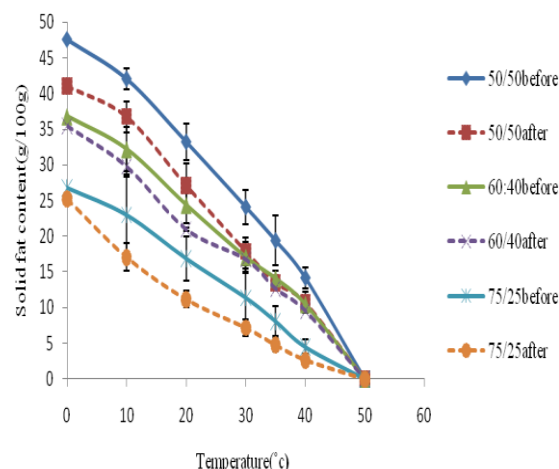


Fig 1 SFC of Ardeh oil and palm stearin blends before and after interesterification reaction

مخلوط ایتراستریفیه شده از ۶۰٪ ارده کنجد و ۴۰٪ پالم استارین می‌تواند برای تولید شورتینگ چند منظوره به کار رود. درصد مواد جامد (SFC) در دمای ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۰ 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 استارین 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 ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۰ 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 ۱ مشاهده می‌شود، پالمیک، استئاریک، اولئیک و لینولئیک اسید از اسیدهای چرب اصلی در مخلوط‌های

4. Nicholas

5. Sanderson

6. Euler's Number

تمام مدل هایی که برای پیش بینی درصد SFC به عنوان تابعی از SFA ارائه شد، R^2 بالا (>0.97) داشته و در سطح اطمینان ($p < 0.01$) معنی دار بودند. همچنین گزارش شد که ضریب همبستگی مقادیر آزمایشی و پیش بینی شده بالاتر از 0.99 بوده است و مدل ها توانستند درصد SFC چربی های ایتراستریفیه شده را با دقت بالایی پیش بینی کنند [23].

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

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

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 مدل سازی، منحنی SFC به صورت تابعی از دما ترسیم شد و سپس با مدل تجربی گمپرتز برازش داده شد. برای برازش داده های تجربی با مدل، از نرم افزار سیگماپلات استفاده شد. تأثیر دما بر SFC را می توان با فرمول ریاضی با استفاده از مدل گمپرتز به صورت زیر نشان داد:

$$SFC = \alpha e^{-\frac{b}{c(T-T_0)}}$$

معادله ۲

ضرایب α ، b و c در هر مخلوط با استفاده از نرم افزار سیگما پلات محاسبه و در جدول ۳ نشان داده شده است. ضریب تعیین (R^2) بین 0.99 - 0.98 برای مدل ها به دست آمد. مدل ها در حالت کلی مقدار p کمتر از 0.0001 داشتند. به این معنی که این مدل توان خوبی در پیش بینی SFC به عنوان تابعی از دما دارد و می توان از آن برای پیش بینی SFC ترکیبات دوتایی ایتراستریفیه شده روغن ارده و پالم استئارین استفاده کرد. این تحقیق با نتایج حاصل از فرمانی (1393) و آگوستو و همکاران (2012) مطابقت داشت [23 و 24].

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

آمدند، R^2 بالایی (>0.98) داشتند. همان گونه که در این تحقیق مطرح شد، منحنی $SFC_{f(SFA)}$ یک منحنی سیگموئیدی می باشد و مدل های سیگموئیدی می توانند آن را به درستی توصیف کنند. فرمانی (1393) در مدل سازی 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

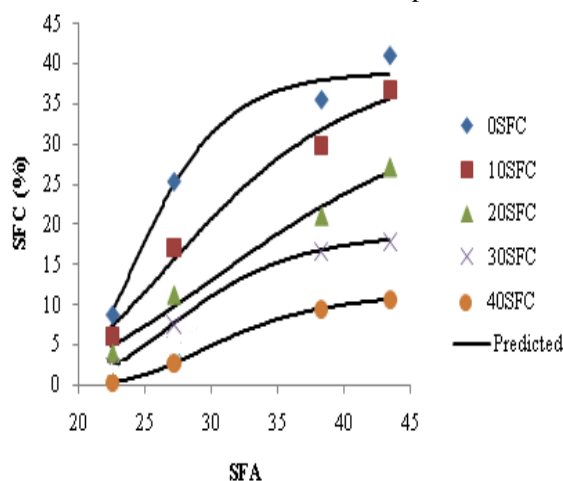


Fig 2 The effect of Saturated Fatty Acid (SFA) on the Solid Fat Content (SFC) of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin

۳-۳-۲- مدل سازی درصد SFC چربی های ایتراستریفیه

شده به عنوان تابعی از دما

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

of chemical interesterified blends of Ardeh oil/Palm Stearin

Models SFC _{R(T)}	Coefficients of Gompertz model			Goodness of fit				
	α	b	c	R ²	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).

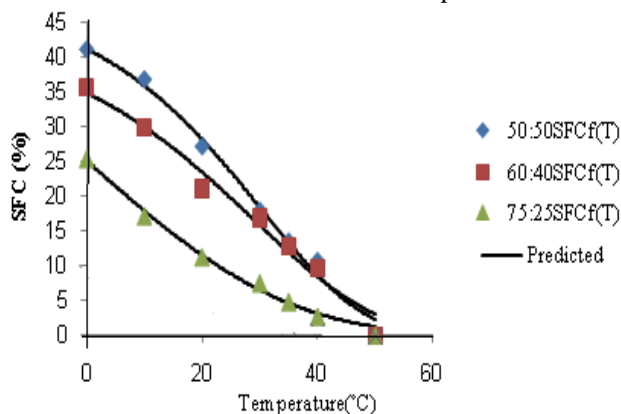


Fig 3 The effect of Temperature (°C) on the Solid Fat Content (SFC) of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin

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 ²	f	e	d	c	b	α	
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) $SMP = \frac{\alpha}{1 + e^{-\left(\frac{SFA - c}{b}\right)}}$
(Gompertz)										
0.994	1.241	0.485	0.988	-	-	-	18.251	4.134	47.298	$SMP = \alpha e^{-e^{-\left(\frac{SFA - c}{b}\right)}}$

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 اینتراستریفیکاسیون 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 اینتراستریفیه 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 ($SFC_{(T)}$)، اسید چرب اشباع ($SFC_{(SFA)}$) و همچنین نقطه ذوب لغزشی در مخلوط های اینتراستریفیه 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 اینتراستریفیه شده برخوردار هستند. پیشنهاد چنین مدل هایی 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.

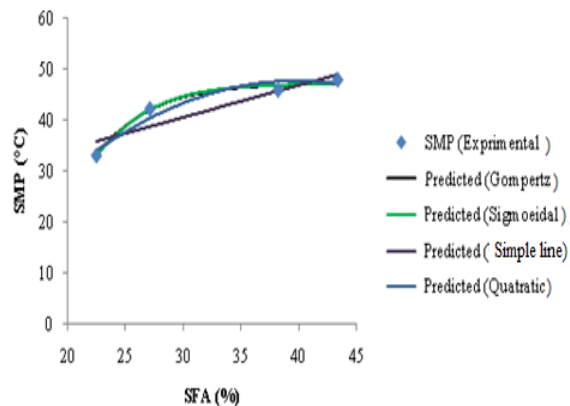


Fig 4 The effect of Saturated Fatty Acid (SFA) on the Slip melting point (SMP) of chemically interesterified binary blends of Ardeh oil and Palm stearin

همان طور که در شکل ۴ قابل مشاهده است به منظور ارزیابی توانایی مدل های یگانه $SMP_{(SFA)}$ در مخلوط اینتراستریفیه 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 اینتراستریفیه 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 اینتراستریفیه 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 اینتراستریفیه 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 اینتراستریفیه 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 Madadouni ,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 interesterification 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.¹, Najafian, L.^{2*}, Shahidi, S. A.³

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 interesterification, Shortening, Modeling, Gompertz

* Corresponding Author Email Address: najafian_5828@yahoo.com