

کاربرد اینتراستریفیکاسیون شیمیایی روغن‌های نباتی برای تولید شورتنینگ چند منظوره بدون ترانس

شیرین حیدرزاده^۱، پروین زندی^۲، حامد صفافر^۳، زهرا شریف‌زاده اکباتانی^۴، جی ار لیست^۵

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
- ۲- نویسنده مسئول: استاد گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، پست الکترونیکی: p_zandi@yahoo.com
- ۳- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی
- ۴- کارشناس تغذیه، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
- ۵- دکترای علوم و صنایع غذایی، محقق ارشد صنایع روغن، USDA

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۸

چکیده

سابقه و هدف: شورتنینگ‌های چند منظوره (multi-purpose shortenings) فراورده‌هایی روغنی هستند که به علت خصوصیات ویژه خود در تولید محصولات آردی- تنوری، قنادی و سرخ کردن مواد غذایی در صنایع غذایی مورد توجه خاص هستند. شورتنینگ‌ها یکی از عوامل اصلی ورود اسیدهای چرب ترانس به رژیم غذایی مصرف‌کنندگان هستند و ارتباط دریافت اسیدهای چرب ترانس با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی ثابت شده است. در این تحقیق، امکان کاربرد روش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی در تولید آزمایشگاهی شورتنینگ چند منظوره بدون اسید چرب ترانس بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: مخلوط روغن سویای کاملاً هیدروژنه شده (فلیک سویا) و روغن آفتابگردان به نسبت ۴۰ به ۶۰ فرموله و تحت خلأ ۳۰ mmHg در دمای ۱۱۰°C به مدت ۳۰ دقیقه خشک شد، سپس واکنش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی در دمای ۹۰°C و در حضور ۰/۲ درصد وزنی کاتالیزور متوکسید سدیم به مدت ۴۵ دقیقه انجام گرفت. برای ختم واکنش از ۲٪ محلول آبی اسید سیتریک ۲۰٪ استفاده شد. برای حذف کامل رطوبت، خشک کردن در سه مرحله انجام شد: صاف کردن با کاغذ واتمن تحت خلأ، کاربرد دمای ۱۱۰°C به مدت ۱۰ دقیقه و سانتریفوژ کردن با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه. پس از بی‌رنگ کردن و بی‌بو کردن نمونه روغن اینتراستریفیه شده و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن، با اضافه کردن ۱۰٪ و ۲۰٪ پالم اولئین به آن، دو نمونه شورتنینگ چند منظوره، فرموله و تولید شد و ویژگی‌های کیفی محصولات نهایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: در اثر واکنش اینتراستریفیکاسیون، کاهش قابل ملاحظه‌ای در نقطه ذوب و SFC مخلوط روغنی به وجود آمد. همچنین، این واکنش منجر به تصادفی شدن ساختار تری‌گلیسریدها شد. میزان اسیدهای چرب ترانس در نمونه‌های شورتنینگ حدود ۱٪ بود که بدون ترانس تلقی می‌شود. نقطه ذوب، SFC، عدد پراکسید، پایداری، رطوبت و مواد فرار، رنگ، نقطه دود و دیگر ویژگی‌های نمونه‌های تولید شده در محدوده استاندارد شورتنینگ‌های چند منظوره قرار داشت.

نتیجه‌گیری: به کمک واکنش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی می‌توان شورتنینگ‌های چند منظوره بدون اسید چرب ترانس تولید کرد که می‌توانند در تولید انواع فراورده‌های غذایی جایگزین روغن‌های نباتی هیدروژنه شوند.

واژگان کلیدی: اینتراستریفیکاسیون شیمیایی، شورتنینگ چندمنظوره، بدون ترانس

• مقدمه

کردن محصول به کار می‌رفت. امروزه، انواع شورتنینگ با کاربردهای متنوع تولید و مصرف می‌شوند و خصوصیات کریستالی، رفتار کریستالیزاسیون و طیف ذوبی آنها

شورتنینگ (shortening) اصطلاحی است که سابقاً برای توصیف چربی‌های جامد به واسطه خاصیت کوتاه‌کنندگی در فراورده‌های آردی- تنوری به منظور ترد

هیدروژنه با روغن‌های مایع برای تولید چربی‌های جامد بدون ترانس با خصوصیات فیزیکی مورد نظر برای تولید و آماده سازی انواع شورتینگ و مارگارین استفاده شده است (۶، ۱۳). *Noor Lida* و همکاران نشان دادند که از طریق اینتراستریفیکاسیون روغن پالم با دیگر روغن‌ها مانند روغن آفتابگردان، می‌توان خصوصیات کاربردی از قبیل قابلیت پخش شدن در دماهای یخچالی را بهبود بخشید (۱۴). زندگی و همکاران نیز از روش اینتراستریفیکاسیون برای بهبود ویژگی‌های مخلوط روغن‌های آفتابگردان، پنبه دانه، سویا و فلیک سویا استفاده کردند و نشان دادند که فرایند استریفیکاسیون موجب کاهش قابل ملاحظه نقطه ذوب مخلوط روغن‌ها و چربی‌های مورد بررسی می‌شود و با پایین آمدن نقطه ذوب تا حدود دمای بدن و پایین‌تر از آن، ارزش تغذیه‌ای و تکنولوژیکی محصول افزایش می‌یابد (۱۵). نتایج تحقیق بهمدی و همکاران نشان داد که اینتراستریفیکاسیون شیمیایی روغن آفتابگردان و فلیک سویا می‌تواند جهت تولید مارگارین و شورتینگ بدون ترانس با خواص تغذیه‌ای و عملکردی مناسب به کار رود (۱۶، ۱۷).

آنچه مسلم است، ضرورت کاهش میزان اسیدهای چرب ترانس در فراورده‌های روغنی و ارتقای کیفیت این محصولات، هم از حیث کارایی و خصوصیات عملکردی و هم از نظر تغذیه‌ای در جامعه ما به شدت احساس می‌شود. در این بررسی، امکان تولید شورتینگ‌های چند منظوره بدون اسید چرب ترانس به کمک اینتراستریفیکاسیون شیمیایی مخلوط روغن آفتابگردان و فلیک سویا و سپس اختلاط فراورده اینتراستریفیه شده با روغن پالم اولئین مورد بررسی قرار گرفت تا روشی کاربردی برای تولید شورتینگ‌های چند منظوره بدون ترانس ارائه شود.

• مواد و روش‌ها

نمونه‌های روغن: روغن آفتابگردان *نینا* محصول شرکت *ایران فریکو* از بازار، فلیک سویا از شرکت *مارگارین* و روغن پالم اولئین از شرکت *نوش آذر* تهیه شد. تمام نمونه‌های روغن خنثی، بی‌رنگ و بی‌بو شده بودند.

می‌تواند بر ساختار، پایداری، ماندگاری و همچنین خصوصیات حسی فراورده‌های غذایی تاثیرگذار باشد (۲، ۱). در میان فراورده‌های روغنی، شورتینگ‌های چند منظوره (multi-purpose) به علت خصوصیات ویژه و متنوع خود در تولید محصولات آردی - تنوری، قنادی و سرخ کردن مواد غذایی کاربرد وسیعی دارند و در صنایع غذایی مورد توجه خاص هستند (۳، ۴).

مهم‌ترین روش تولید شورتینگ‌ها در صنعت، فرایند هیدروژناسیون است. طبق بررسی سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) مصرف محصولات حاوی روغن‌های نباتی هیدروژنه، منبع عمده (۷۹/۴٪) دریافت اسیدهای چرب ترانس (TFA) در رژیم غذایی هستند (۵). در فرایند هیدروژناسیون صنعتی روغن‌های نباتی ممکن است میزان TFA از ۵۰٪ نیز تجاوز کند. اسیدهای چرب ترانس موجب افزایش کلسترول LDL، کاهش کلسترول HDL و در نتیجه، بروز بیماری‌های قلبی عروقی می‌شوند. همچنین TFA موجب اختلال در رشد و تکامل جنین و بعد از تولد، افزایش لیپوپروتئین a، کاهش تشکیل پروستاگلاندین‌ها و افزایش چربی پلاسما می‌شوند. تحقیقات وسیع انجام شده در زمینه اسیدهای چرب ترانس، ضرورت کاهش میزان TFA در فراورده‌های غذایی را به خوبی نشان می‌دهند (۶-۹).

برای تولید شورتینگ‌های کم ترانس (low-trans) یا حتی بدون ترانس (zero-trans) می‌توان از روش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی استفاده کرد که یک فرایند مهم در صنایع روغن است (۱۱، ۱۰). در تحقیقات متعددی، فرایند اینتراستریفیکاسیون به عنوان جایگزین هیدروژناسیون برای تولید روغن مورد استفاده در مارگارین و شورتینگ به کار رفته است. *List* و همکاران جهت آماده سازی روغن شورتینگ از اینتراستریفیکاسیون روغن‌های مایع با فلیک سویا و فلیک پنبه دانه استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که فرمولاسیون روغن شورتینگ از مخلوط فاز پایه (base stock) تهیه شده به روش اینتراستریفیکاسیون با روغن مایع امکان پذیر است (۱۲). در تحقیقات دیگر، از اینتراستریفیکاسیون مخلوط روغن‌های نباتی کاملاً

مواد شیمیایی: متوکسید سدیم از شرکت Fluka، استاندارد اسیدهای چرب (AMP 1-18919) از شرکت Supelco، استاندارد تری گلیسریدها از شرکت Larodan AB, Malmo، خاک رنگبر (KF1) از شرکت کانی ساز جم و سایر مواد شیمیایی مورد نیاز برای انجام آزمون‌ها از شرکت Merck تهیه شدند.

واکنش اینتراستریفیکاسیون: واکنش اینتراستریفیکاسیون در مقیاس آزمایشگاهی روی مخلوط ۴۰ به ۶۰ فلیک سویا و روغن آفتابگردان در کنورتور ۲ لیتری از جنس استیل ضد زنگ در دو تکرار انجام شد. ابتدا مخلوط روغنی تحت خلأ ۳۰ میلی متر جیوه و در دمای 110°C به مدت ۳۰ دقیقه در شرایطی که همزن کار می‌کرد، حرارت داده شد تا رطوبت و مواد فرار خارج شود. سپس، دمای مخلوط تا 90°C کاهش داده شد و مقدار ۰/۲ درصد وزنی کاتالیزور متوکسید سدیم به آن اضافه شد. واکنش به مدت ۴۵ دقیقه با سرعت همزن ۱۰۰ دور در دقیقه ادامه یافت. در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه از مخلوط، نمونه تهیه شد (B-15، B-30 و B-45). برای ختم واکنش و غیر فعال کردن کاتالیزور، از ۲٪ محلول آبی اسیدسیتریک ۲۰٪ استفاده شد. سپس مخلوط روغنی به مدت ۱۵ دقیقه دیگر هم زده شد و به کمک کاغذ واتمن تحت خلأ صاف شد تا صابون جدا شود. بعد از این مرحله، مخلوط روغنی، دوباره تحت خلأ و در دمای 110°C به مدت ۱۰ دقیقه خشک شد. برای خارج کردن کامل رطوبت، یک مرحله خشک کردن به کمک سانتریفوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد.

بی‌رنگ کردن نمونه‌های اینتراستریفیه شده در مقیاس آزمایشگاهی به کمک ۰/۲ درصد خاک رنگبر KF1 و تحت خلأ در دمای 100°C و عملیات بی بو کردن روی ۵۰۰ گرم مخلوط اینتراستریفیه شده تحت خلأ ۳۰ mmHg و دمای 230°C به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. **فرموله کردن و تولید نمونه‌های شورتینگ:** برای حصول نقطه ذوب و میزان چربی جامد (SFC) مورد نظر برای شورتینگ‌های چند منظوره، مخلوط اینتراستریفیه شده نهایی (B-45) به ترتیب با ۱۰٪ (F₁) و ۲۰٪ (F₂) روغن

پالم اولئین مخلوط شد. نمونه‌های شورتینگ فرموله شده ابتدا تا دمای 60°C حرارت داده شدند و سپس تا بالای نقطه ذوبشان (حدود 46°C) سرد شدند. نمونه‌ها 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 می‌کرد و نمونه‌های شورتینگ به خوبی ورز داده شدند تا بافت مطلوبی حاصل شود. بعد از خاتمه مرحله کریستالیزاسیون، عمل tempering به مدت ۴۸ ساعت در دمای $27-29^{\circ}\text{C}$ انجام شد (۴).

روش‌های آزمون فیزیکی و شیمیایی: روغن‌های اولیه، مخلوط روغنی قبل و بعد از اینتراستریفیکاسیون و نمونه‌های شورتینگ، تحت آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. تعیین نقطه ذوب، اسیدیته، عدد صابونی، نقطه دود، رطوبت و مواد فرار، عدد پراکسید، رنگ، پایداری اکسیداتیو با دستگاه رنسیمت (شرکت Metrohm مدل ۷۴۳، ساخت سوئیس) در 110°C و SFC به کمک دستگاه NMR Analyzer (شرکت Bruker مدل mq20، ساخت آلمان) با استفاده از روش‌های AOCS (۱۸) و عدد یدی به روش AOAC (۱۹) انجام شد.

متیل استر اسیدهای چرب، مطابق روش‌های ISO (۲۰) تهیه، شناسایی و اندازه‌گیری شد. گاز کروماتوگراف مورد استفاده (شرکت Hewlett Packard مدل 6890، ساخت آمریکا) به آشکارساز شعله‌ای (FID) با دمای 285°C ، و ستون SGE Bpx-70 به ابعاد $0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ mm} \times 120\text{ m}$ مجهز بود. دمای تزریق 250°C بود و از گاز نیتروژن با فشار ۲۷۰ کیلوپاسکال به عنوان حامل استفاده شد. سرعت جریان گاز ۰/۶ میلی‌لیتر در دقیقه بود و شرایط حرارت ایزوترمال در دمای 198°C برقرار شد.

برای شناسایی تری گلیسریدها از RP-HPLC طبق روش AOCS (۱۸) عمل شد. دستگاه HPLC (مدل Young lin، ساخت کره جنوبی) به آشکارساز Refractive Index با دمای 35°C و ستون

ذوب عدد یدی، عدد پراکسید و ترکیب اسیدهای چرب آنها تعیین شد (جدول‌های ۱ و ۲) تا مناسب بودن آنها برای استفاده در مخلوط، انجام واکنش و نهایتاً فرموله کردن شورتینگ، مشخص شود.

ویژگی‌های مخلوط روغنی قبل از واکنش و محصول اینتراستریفیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، نقطه ذوب مخلوط از ۶۲/۷ به ۴۷/۳°C کاهش یافت ($p < 0.05$). ولی عدد یدی در طول زمان واکنش تغییری پیدا نکرد ($p > 0.05$) و حدود ۷۵ باقی ماند. با گذشت زمان، افزایش چشمگیر و معنی‌داری ($p < 0.05$) در میزان اسیدیته مشاهده شد؛ به طوری که بعد از ۴۵ دقیقه واکنش، میزان آن تقریباً به ۱۰ برابر مقدار اولیه رسید.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های روغن‌های اولیه

ویژگی	نقطه ذوب (°C)	عدد یدی (g/100g)	عدد پراکسید (meq/kg)	نوع روغن
آفتابگردان	—	۱۲۹/۱۶ ± ۰/۲۲	۰/۴۳ ± ۰/۰۰۶	
فلیک سویا	۶۹/۰۰ ± ۱	۳/۶۲ ± ۰/۲۰	۰/۵۴ ± ۰/۰۱	
پالم اولئین	—	۶۳/۳۵ ± ۰/۱۹	۰/۶۱ ± ۰/۰۴	

RP-100 (Lichrosphere) به ابعاد ۲۵ cm × ۵ μm مجهز بود. دمای گرمخانه ۲۰°C و میزان تزریق ۵ μl بود. فاز متحرک شامل استونیتریل-استون به نسبت ۴۰ به ۶۰ و سرعت جریان ۰/۶ میلی‌لیتر در دقیقه بود. دستگاه در ابتدا با تزریق تری گلیسریدهای استاندارد و روغن‌های CRM (Certificate Reference Material) کالیبره شد و منحنی استاندارد به دست آمد. ساختار تری گلیسریدها در گروه‌های مختلف تری گلیسریدی بر پایه معادل تعداد کربن (ECN) مورد بررسی قرار گرفتند. ECN از فرمول $CN - 2n$ محاسبه شد که در آن CN تعداد کربن و n تعداد پیوندهای دوگانه است (۱۸).

روش‌های آماری: یافته‌های آزمایشگاهی به صورت انحراف معیار ± میانگین ارائه شد. تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SPSS^{۱۳} انجام گرفت. در مورد نتایج میزان چربی جامد، نقطه ذوب، عدد یدی و اسیدیته برای مقایسه میانگین‌های گروه‌ها از تحلیل واریانس یک طرفه و در صورت وجود اختلاف در گروه‌ها از آزمون تعقیبی Tukey در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد (۱۵).

• یافته‌ها

برخی ویژگی‌های روغن‌های اولیه شامل نقطه

جدول ۲- ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های اولیه

نوع روغن	اسیدهای چرب (%)						
	C18:3	C18:2,trans	C18:2,cis	C18:1,trans	C18:1,cis	C18:0	C16:0
آفتابگردان	۰/۰۴	۰/۴۶	۶۰/۳۱	۰/۰۵	۲۷/۶۲	۳/۶۲	۶/۳۲
فلیک سویا	—	۰/۰۴	۰/۵۳	۱/۹۲	۰/۹۱	۸۲/۵۲	۱۲/۷۹
پالم اولئین	۰/۴۳	۰/۴۸	۱۳/۳۲	۰/۵۳	۴۲/۱۵	۴/۶۴	۳۶/۴۸

جدول ۳- ویژگی‌های مخلوط روغنی قبل (B-0) و بعد از واکنش اینتر استریفیکاسیون (B-45, B-30, B-15)*

تیما	ویژگی	نقطه ذوب (°C)	عدد یدی (g/100g)	اسیدیته (% وزنی اسید اولئیک)
B-0	۶۲/۶۷ ± ۰/۵۸ ^{a**}	۷۵/۰۹ ± ۰/۷۵ ^a	۰/۱۱ ± ۰/۰۱ ^a	
B-15	۵۱/۶۷ ± ۰/۵۸ ^b	۷۵/۰۹ ± ۰/۱۵ ^a	۰/۳۸ ± ۰/۰۳ ^b	
B-30	۴۷/۰۰ ± ۱ ^c	۷۴/۶۶ ± ۰/۵۸ ^a	۰/۵۱ ± ۰/۰۲ ^c	
B-45	۴۷/۳۳ ± ۰/۵۸ ^c	۷۴/۶۶ ± ۰/۵۸ ^a	۱/۱۰ ± ۰/۰۴ ^d	

*B-0، B-15، B-30 و B-45: به ترتیب مخلوط ۴۰ به ۶۰ فلیک سویا و روغن آفتابگردان در زمان‌های صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه واکنش.

**حروف غیر یکسان نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در هر ستون در سطح $p < 0.05$ است.

در جدول ۴ تغییرات SFC مخلوط، قبل و بعد از واکنش آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که اختلاف SFC مخلوط روغنی و محصول استریفیه شده در تمام دماها معنی‌دار است ($p < 0.05$). به طوری که در دمای 10°C از حدود $43/5$ درصد (قبل از واکنش) به $28/7$ درصد (بعد از 45 دقیقه) رسید و در دمای 40°C از حدود $30/4$ درصد به $9/5$ درصد کاهش یافت. روند نزولی SFC تا 30 دقیقه ادامه داشت و معنی‌دار بود؛ ولی در 45 دقیقه، تفاوت آماری معنی‌داری در هیچ دمایی مشاهده نشد.

ترکیب اسیدهای چرب متشکله که به روش GC اندازه‌گیری شده بود، در مخلوط روغنی، قبل و بعد از

واکنش تغییری نکرد (جدول ۵).

برای اثبات انجام واکنش اینتر استریفیکاسیون، ساختار تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها (TAG) قبل و بعد از واکنش با روش RP-HPLC بررسی و در قالب گروه‌های ECN گزارش شد. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، بعد از انجام واکنش اینتر استریفیکاسیون به مدت 45 دقیقه، ترکیب تری‌گلیسریدها به مقادیر محاسبه شده بر اساس تئوری توزیع تصادفی، بسیار نزدیک شد و برای $ECN42$ ، $ECN44$ ، $ECN46$ ، $ECN48$ ، $ECN50$ ، $ECN52$ و $ECN54$ به ترتیب برابر با $4/49$ ، $10/86$ ، $21/37$ ، $21/72$ ، $22/03$ ، $22/03$ و $10/67$ و $4/93$ بود.

جدول ۴- SFC مخلوط روغنی قبل $(B-0)$ و بعد از واکنش اینتر استریفیکاسیون $(B-45, B-30, B-15)^*$

تیما	SFC(%)			
	10°C	20°C	30°C	40°C
B-0	$43/56 \pm 0/06^{***}$	$40/82 \pm 0/09$	$37/36 \pm 0/14$	$30/43 \pm 0/19$
B-15	$28/71 \pm 0/29$	$18/75 \pm 0/40$	$12/91 \pm 0/19$	$9/66 \pm 0/08$
B-30	$28/24 \pm 0/09^c$	$18/04 \pm 0/19^c$	$11/54 \pm 0/13^c$	$9/58 \pm 0/09^b$
B-45	$28/10 \pm 0/09^c$	$18/18 \pm 0/11^c$	$11/90 \pm 0/14^c$	$9/47 \pm 0/17^b$

*B-0، B-15، B-30 و B-45: به ترتیب مخلوط 40 به 60 فلیک سویا و روغن آفتابگردان در زمان‌های صفر، 15 ، 30 و 45 دقیقه واکنش

** حروف غیر یکسان نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در هر ستون در سطح $p < 0.05$ است.

جدول ۵- ترکیب اسیدهای چرب مخلوط روغنی قبل $(B-0)$ و بعد از 45 دقیقه واکنش اینتر استریفیکاسیون $(B-45)^*$

تیما روغنی	اسیدهای چرب (%)						
	C18:3	C18:2, trans	C18:2, cis	C18:1, trans	C18:1, cis	C18:0	C16:0
B-0	$0/07$	$0/21$	$35/23$	$0/68$	$16/81$	$36/66$	$8/97$
B-45	$0/07$	$0/21$	$35/36$	$0/64$	$16/79$	$36/59$	$9/03$

*B-0 و B-45: به ترتیب مخلوط 40 به 60 فلیک سویا و روغن آفتابگردان در زمان‌های صفر و 45 دقیقه واکنش

جدول ۶- ترکیب گروه‌های تری‌آسیل‌گلیسرول مخلوط روغنی قبل $(B-0)$ و بعد از واکنش

اینتر استریفیکاسیون $(B-45, B-30, B-15)^*$

تیما	ECN (%)						
	42	44	46	48	50	52	54
B-0	$19/87$	$27/29$	$14/31$	$4/17$	$0/16$	$10/90$	$22/76$
B-15	$7/53$	$5/51$	$14/46$	$25/06$	$3/13$	$23/70$	$17/89$
B-30	$9/67$	$12/03$	$18/21$	$18/23$	$17/72$	$10/85$	$9/65$
B-45	$4/42$	$9/65$	$20/82$	$21/98$	$23/83$	$10/61$	$4/81$
مقدار محاسبه شده طبق تئوری توزیع تصادفی	$4/49$	$10/86$	$21/37$	$21/72$	$22/03$	$10/67$	$4/93$

*B-0، B-15، B-30 و B-45: به ترتیب مخلوط 40 به 60 فلیک سویا و روغن آفتابگردان در زمان‌های صفر، 15 ، 30 و 45 دقیقه واکنش

دو محصول F_1 و F_2 به ترتیب $1/0.3$ و $1/1.7$ درصد و نسبت $P/S+T$ برابر 0.64 و 0.61 بود.

SFC در مورد دو فراورده F_1 و F_2 در محدوده دمایی 40°C – 10°C در حدود $27/17$ – $7/59$ درصد بود (جدول ۸). منحنی تغییرات SFC بر حسب دما در شکل ۲ نشان داده شده است که نمایانگر شیب ملایم آنهاست.

ویژگی‌های فراورده‌های نهایی یا نمونه‌های شورتنینگ تولید شده در جدول ۷ آورده شده است. نقطه ذوب دو فراورده F_1 و F_2 به ترتیب 46°C و $42/3^\circ\text{C}$ ، عدد یدی $72/5$ و $70/9$ و اسیدیته 0.089 و 0.084 بود. سایر ویژگی‌ها در این جدول ذکر شده است.

ترکیب اسیدهای چرب دو نمونه شورتنینگ در شکل ۱ نشان داده شده است، میزان اسیدهای چرب ترانس در

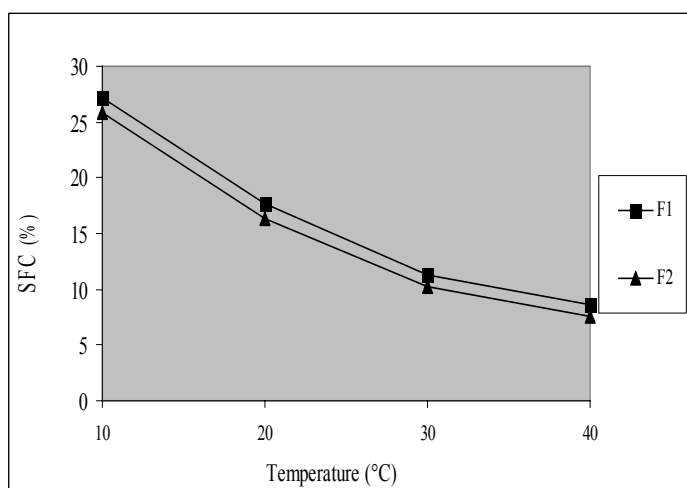
جدول ۷- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های شورتنینگ و مقایسه با استانداردها

ویژگی	نمونه‌های شورتنینگ تولید شده		استاندارد کانادا (۲۸)	استاندارد آمریکا (۲۹)
	F_1^*	F_2^*		
نقطه ذوب (واپلی) ($^\circ\text{C}$)	۴۶/۰۰	۴۲/۳۳	$42-46^\circ\text{C}$	—
رطوبت و مواد فرار (%)	۰/۰۷	۰/۰۸	حداکثر ۰/۲۰	حداکثر ۰/۱۰
اسیدیته (%)	۰/۰۸۹	۰/۰۸۴	حداکثر ۰/۰۵	حداکثر ۰/۰۵
پایداری-رنسیت (ساعت)	۳۴/۷۲	۳۵/۳۶	حداقل ۲۸/۸	حداقل ۳۲
عدد پراکسید (meq/Kg)	۰/۴۳	۰/۵۳	حداکثر ۰/۵	حداکثر ۱/۰
رنگ قرمز (mm ۱۳۳/۳۵)	۲/۲ قرمز	۲/۲ قرمز	حداکثر ۲/۵	حداکثر ۲/۵
نقطه دود ($^\circ\text{C}$)	۱۹۴	۱۹۴	حداقل 177°C	حداقل $218/3^\circ\text{C}$
عدد یدی (g/100g)	۷۲/۵	۷۰/۹	—	—
عدد صابونی (mg/g)	۱۹۶/۳	۱۹۷/۱	—	—

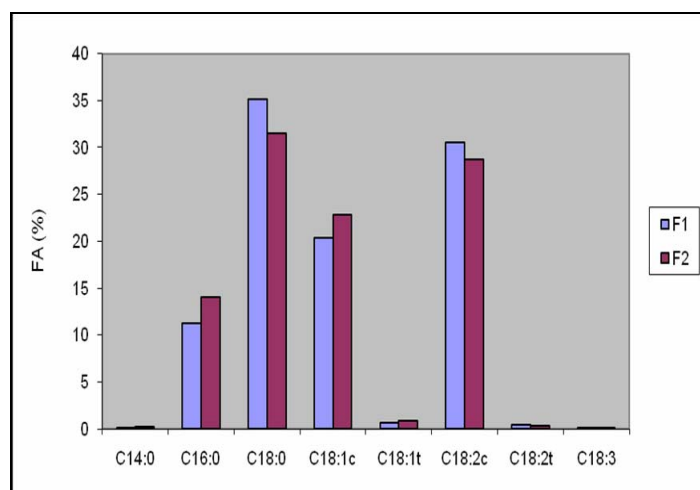
• F_1 و F_2 : نمونه‌های شورتنینگ تولید شده از مخلوط اینتراستریفیه شده به ترتیب با 10% و 20% پالم اولئین

جدول ۸- SFC نمونه‌های شورتنینگ در دماهای مختلف

نمونه شورتنینگ	SFC(%)			
	10°C	20°C	30°C	40°C
F_1	$27/17 \pm 0/15$	$17/68 \pm 0/18$	$11/25 \pm 0/05$	$8/61 \pm 0/09$
F_2	$25/82 \pm 0/20$	$16/29 \pm 0/15$	$10/25 \pm 0/14$	$7/59 \pm 0/21$



شکل ۲- منحنی SFC نمونه‌های شورتنینگ



شکل ۱- ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌های شورتنینگ

• بحث

از آنجا که شورتینگ‌ها نقش مهمی در تولید فراورده‌های غذایی دارند و یکی از منابع اصلی اسیدهای چرب ترانس در رژیم غذایی هستند، در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از روش اینتراستریفیکاسیون شیمیایی، نمونه‌هایی از شورتینگ چند منظوره بدون ترانس، فرموله و تولید شود تا به این ترتیب، در جهت کاهش میزان اسیدهای چرب ترانس در رژیم غذایی گامی برداشته شود.

ابتدا ویژگی‌های روغن‌های اولیه و ترکیب اسیدهای چرب آنها مورد بررسی قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲). عدد یدی روغن آفتابگردان و پالم اولئین به ترتیب ۱۲۹/۲ و ۶۳/۳ بود که در محدوده قابل قبول استانداردهای مربوطه یعنی ۱۴۰-۱۲۲ برای روغن آفتابگردان (۲۱) و حداقل ۵۶ برای پالم اولئین (۲۲) قرار داشت. از آنجا که در طول واکنش هیدروژناسیون، اسیدهای چرب ترانس تشکیل می‌شوند، در این تحقیق سعی شد روغن سویا تا حد امکان هیدروژنه شود که با توجه به امکانات موجود، این کار تا عدد یدی ۳/۶۲ امکان‌پذیر بود. عدد پراکسید در روغن‌های اولیه اندازه‌گیری شد (۰/۶۱ - ۰/۴۳) و در محدوده استانداردهای مربوطه قرار داشت. ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های مذکور نیز در حدود قابل قبول بود (۲۲، ۲۱).

بررسی ویژگی‌های مخلوط ۴۰ به ۶۰ فلیک سویا و روغن آفتابگردان، قبل و بعد از واکنش اینتراستریفیکاسیون نشان می‌دهد که این واکنش به تغییر معنی‌دار نقطه ذوب و SFC در مخلوط روغنی منجر شده است. تفاوت نقطه ذوب، قبل و بعد از واکنش در مخلوط در حدود ۱۵°C بود. زندی و همکاران نشان دادند که فرایند استریفیکاسیون موجب کاهش قابل ملاحظه نقطه ذوب مخلوط روغن‌ها و چربی‌های مورد بررسی از ۵۳/۸°C به ۳۳-۳۵°C می‌شود (۱۵). بهمدی و همکاران هم کاهش نقطه ذوب در اثر واکنش اینتراستریفیکاسیون را گزارش کردند (۱۶، ۱۷). در تحقیقات مشابه دیگر نیز کاهش قابل ملاحظه نقطه ذوب در مخلوط‌های روغنی بعد از واکنش اینتراستریفیکاسیون مشاهده شده است (۲۵-۲۳، ۱۲، ۶). علت کاهش نقطه

ذوب، به کاهش سهم تری گلیسریدهای S₃ با نقطه ذوب بالا و تشکیل تری گلیسریدهای U₂S و U₃ در مخلوط روغنی و همچنین تولید تری گلیسریدها با آرایش تصادفی و در نتیجه، افزایش کریستال‌های مشابه یکدیگر ارتباط داده شده است (۶).

عدد یدی مخلوط روغنی، قبل و بعد از واکنش در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه تغییر معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. Lo و Handel نیز عدم تغییر عدد یدی در مخلوط پیه گاو و روغن سویا، قبل و بعد از واکنش اینتراستریفیکاسیون را نشان دادند (۲۳).

در تحقیق حاضر، اسیدیته در هر دو مخلوط روغنی، بعد از واکنش نسبت به مخلوط اولیه، افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت. با افزایش زمان واکنش، اسیدیته نیز افزایش یافت و از حدود ۰/۱۲-۰/۱۱ به حدود ۱/۱ - ۱/۰ بعد از ۴۵ دقیقه رسید (جدول ۳). Petrauskaite و همکاران نیز افزایش اسیدیته از ۰/۱ تا ۱/۰٪ را در تمام مخلوط‌های اینتراستریفیه شده گزارش کردند. آنها علت این امر را فعالیت خوب کاتالیزور دانستند که به افزایش قابل ملاحظه اسیدهای چرب آزاد منجر می‌شود (۶).

واکنش اینتراستریفیکاسیون با تغییر در ساختار TAG روغن‌ها و چربی‌ها منجر به تغییر SFC می‌شود و از طرفی SFC مسئول بسیاری از خصوصیات محصول نهایی است (۶). معمولاً در اثر انجام واکنش اینتراستریفیکاسیون SFC کاهش می‌یابد که این امر نیز به کاهش تری گلیسریدهای S₃ و U₂ مربوط است. در این تحقیق، اینتراستریفیکاسیون موجب کاهش چشمگیر SFC بین ۱۲ تا ۲۰ درصد و تمایل قابل ملاحظه منحنی آن به سمت پایین شد. این تغییر بر بهبود خواص پلاستیکی محصول دلالت می‌کند و با یافته‌های پژوهشگران دیگر تطابق دارد (۱۷، ۱۴، ۹، ۶). در پژوهش زندی و همکاران نیز استری کردن موجب کاهش میزان چربی جامد شد و منحنی SFC مخلوط ۲۵:۲۵:۲۵ (روغن آفتابگردان، فلیک سویا، روغن پنبه دانه و روغن سویا) به سمت پایین تمایل پیدا کرد. کاهش SFC در دماهای مختلف در حدود ۱۶ تا ۱۸ درصد گزارش شد (۱۵).

ترکیب اسیدهای چرب در مخلوط روغنی اینتراستریفیه شده مشابه مخلوط روغنی اولیه بود (جدول ۵) و با داشتن ۰/۸۵ درصد اسید چرب ترانس و $P/S+T=0/76$ از نظر تغذیه‌ای نسبت به روغن‌های نباتی هیدروژنه و مارگارین‌های تولیدی کشور برتری دارد (۲۷، ۲۶). به این ترتیب، فرایند اینتراستریفیکاسیون می‌تواند به عنوان جایگزین هیدروژناسیون برای تولید روغن نباتی جامد و همچنین روغن پایه برای تولید مارگارین و شورتینگ بدون ترانس مطرح شود.

اینتراستریفیکاسیون به تصادفی شدن توزیع اسیدهای چرب در درون و بین مولکول‌های تری آسیل گلیسرول در روغن‌ها و چربی‌ها منجر می‌شود تا یک تعادل ترمودینامیکی حاصل شود. در نتیجه با تغییر ساختار تری گلیسریدها، خصوصیات روغن‌ها و چربی‌ها نیز تغییر می‌کند. زیرا در طبیعت، اسیدهای چرب به طور انتخابی در تری گلیسریدها توزیع شده‌اند (۱۴). در تحقیق حاضر برای نشان دادن انجام واکنش و تصادفی شدن توزیع اسیدهای چرب بعد از واکنش، گروه‌های مختلف تری گلیسریدی از نظر ECN مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که بعد از انجام واکنش اینتراستریفیکاسیون روی مخلوط روغنی، میزان تری گلیسریدها در هر گروه ECN به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر کرده است. برای مثال، همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، میزان تری گلیسریدهای گروه ۴۲ ECN در مخلوط روغنی از ۱۹/۸۷ درصد (قبل از واکنش) به ۴/۴۲ درصد در زمان ۴۵ دقیقه رسیده است که طبق تئوری توزیع تصادفی، انتظار داشتیم این مقدار برابر با ۴/۴۹ درصد باشد. در گروه‌های ECN دیگر نیز بعد از ۴۵ دقیقه واکنش، تطابق بسیار خوبی با مقادیر محاسبه شده بر اساس تئوری توزیع تصادفی وجود دارد. به عبارت دیگر، نتایج این تحقیق، تصادفی شدن توزیع اسیدهای چرب روی مولکول تری گلیسریدها بر اثر واکنش اینتراستریفیکاسیون را تأیید می‌کند و با یافته‌های سایر محققان نیز مطابقت دارد (۱۴، ۱۰، ۶).

تأثیر مدت زمان واکنش روی ویژگی‌های مخلوط روغنی در سه زمان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه بررسی شد. همان طور که در جدول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، در

زمان ۳۰ دقیقه، تغییرات نقطه ذوب و SFC خاتمه یافته، اما تغییرات ساختار تری گلیسریدها تا زمان ۴۵ دقیقه ادامه داشته است. به طوری که با توجه به داده‌های HPLC در زمان ۴۵ دقیقه، توزیع اسیدهای چرب روی تری گلیسریدها به حالت تصادفی در آمده و واکنش کامل شده است. در تحقیقی که زندگی و همکاران انجام دادند، نقطه ذوب مخلوط‌های اینتراستریفیه شده در زمان ۱۰ دقیقه با ۲۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری داشت ولی پس از آن، زمان‌های ۳۰، ۴۵ و ۴۵ دقیقه، اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند (۱۵). *Rousseau* و *Marangoni* گزارش کردند که اینتراستریفیکاسیون در برخی مخلوط‌ها به تغییرات بیشتر در ساختار تری گلیسریدها ولی تغییرات کمتر در نقطه لغزش نسبت به سایر مخلوط‌ها منجر شده است. در ضمن، برای پیش بینی نقطه ذوب و SFC روغن‌ها و چربی‌ها باید اثر قابلیت انحلال را نیز در نظر گرفت، زیرا تغییر در قابلیت انحلال تری گلیسریدها هم بر نقطه ذوب و هم بر SFC تأثیر می‌گذارد. آنها همچنین تغییرات SFC و ساختار تری گلیسریدها را به عنوان تابعی از زمان واکنش اینتراستریفیکاسیون مخلوط لارد و روغن کانولا بررسی کردند و نشان دادند که تغییرات تری گلیسریدها پس از یک ساعت خاتمه یافت، ولی SFC همچنان به مدت ۳ تا ۴ ساعت روندی رو به کاهش داشت. نکته جالب آن است که در مورد روغن کره، روند متفاوتی مشاهده شد (۱۱).

عواملی از قبیل دمای واکنش، میزان و نوع کاتالیزور و شرایط دیگر بر زمان مورد نیاز برای کامل شدن واکنش، تأثیرگذار است. از طرفی با توجه به هدفی که از انجام واکنش اینتراستریفیکاسیون دنبال می‌شود و نوع محصول مورد نظر، می‌توان زمان را برای رسیدن به نقطه ذوب و SFC مورد نظر تعیین و کنترل کرد.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محصولات نهایی و مقایسه آنها با استانداردها و منابع علمی (جدول ۷) نشان می‌دهد که دو فراورده F_1 و F_2 از نظر نقطه ذوب، نقطه دود، رطوبت و مواد فرار، عدد پراکسید و رنگ با استاندارد کشور کانادا (۲۸) مطابقت دارند. نقطه ذوب دو محصول نهایی به ترتیب $46/0^{\circ}\text{C}$ و $42/3^{\circ}\text{C}$ است. از آنجا که نقطه ذوب قابل قبول برای شورتینگ

هر دو فراورده F_1 و F_2 صادق است (شکل ۲). مقادیر مناسب SFC در دماهای مختلف، چنین گزارش شده است: در 10°C : $31-25\%$ و $41-35\%$ ؛ 20°C : $22-18\%$ و $25-19\%$ ؛ 30°C : $14-12\%$ ، $11-7\%$ و $14-10\%$ ؛ و 40°C : $8-6\%$ ، $5-1\%$ و $5-3\%$ (۳۰، ۳۳، ۳۴). با توجه به مقادیر ذکر شده، ارقام به دست آمده برای SFC در این تحقیق در برخی دماها مطابقت دارد. در استانداردهای آمریکا و کانادا به جای SFC از SFI استفاده می‌شود. از آنجا که رابطه بین SFI و SFC تابعی پیچیده و وابسته به دما و SFI است، به آسانی قابل تبدیل و نتیجه‌گیری نیست (۳۳).

به طور کلی، نمونه‌های شورتنینگ تولید شده در این تحقیق (F_1 و F_2) با نقطه ذوب 42°C تا 46°C و محدوده SFC مناسب، خصوصیات مورد نیاز برای شورتنینگ‌های چند منظوره را دارند. با تغییرات اندکی در نسبت و نوع روغن‌های اولیه و به کمک فرایند اینتراستریفیکاسیون می‌توان محصولات متنوعی با کارایی و کاربردهای وسیع خانگی و صنعتی مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی تولید کرد. به علاوه، به کمک فرایند اینتراستریفیکاسیون می‌توان محصولاتی بدون اسید چرب ترانس و باارزش تغذیه‌ای بالا به دست آورد. این توانایی، پیشرفت بسیار چشمگیری در صنعت روغن کشور در جهت حفظ سلامت مصرف کنندگان محسوب می‌شود.

سپاسگزاری

از مسئولان محترم انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور برای تأمین بودجه لازم جهت انجام این پژوهش، از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی برای در اختیار گذاشتن برخی امکانات آزمایشگاهی و از گروه صنعتی بهشهر برای همکاری در تعیین میزان چربی جامد سپاسگزاری می‌شود.

References

- Jirasubkunakorn W, Bell AE, Gordon MH, Smith KW. Effect of variation in palm stearin: palm olein ratio on the crystallisation of a low-trans shortening. Food Chem 2006; 103: 477-485.
- Metzroth DJ. Shortening: science and technology. In: Shahidi F, editor. Bailey's industrial oil and fat

چند منظوره در استاندارد کانادا 42°C تا 46°C ذکر شده است، هر دو فرمول F_1 و F_2 در این محدوده قرار می‌گیرند.

با مقایسه پایداری F_1 و F_2 در 110°C با مقادیر ذکر شده در استانداردها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پایداری اکسیداتیو دو فراورده در محدوده مورد قبول استاندارد آمریکا و کانادا (به ترتیب حداقل ۳۲ و ۲۸/۸) قرار دارد (۲۸، ۲۹، ۳۰). همچنین، این دو فراورده از نظر رطوبت و مواد فرار، عدد پراکسید و رنگ نیز مطابق با استاندارد آمریکا هستند. F_1 و F_2 از نظر اسیدیته در محدوده قابل قبول استاندارد ملی روغن‌های خوراکی هیدروژنه (۳۱) ولی بیشتر از محدوده قابل قبول استاندارد کانادا و آمریکا هستند. به نظر می‌رسد که در مقیاس صنعتی، حذف اسیدهای چرب آزاد به خوبی انجام شود.

بررسی ترکیب اسیدهای چرب تشکیل دهنده نمونه‌های شورتنینگ نشان می‌دهد که میزان اسیدهای چرب ترانس در دو فراورده به ترتیب $1/03$ و $1/17$ درصد است و در طبقه‌بندی فراورده‌های غذایی بدون ترانس (۲-۱٪ اسید چرب ترانس) قرار می‌گیرند (۳۲). نسبت P/S+T دو فراورده F_1 و F_2 به ترتیب $0/64$ و $0/61$ است که در مقایسه با روغن‌های نباتی هیدروژنه داخل کشور در سال ۱۳۸۱ (۰/۱۲) و مارگارین‌های تولیدی کشور در همان سال (۰/۲۷)، برتری تغذیه‌ای قابل توجهی دارند (۲۷، ۲۶).

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شورتنینگ‌های چند منظوره، منحنی SFC آنها است که باید شیب ملایم داشته باشد. این فراورده‌ها با دارا بودن میزان کافی چربی جامد، پلاستیسیته مناسبی در محدوده دمایی وسیعی، مخصوصاً جهت فرایند هوادهی خمیر ایجاد می‌کنند. پروفایل SFC گزارش شده توسط پژوهشگران، متفاوت است؛ ولی تمام منابع تأکید می‌کنند که شیب منحنی نباید بین دماهای 10°C تا 40°C تند باشد که در مورد

products. 6th ed. Vol 4. New Jersey: John Wiley & Sons; 2004: 83-125.

- O'Brien RD. Fats and oils: formulating and processing for applications. 2nd ed. New York, Boca Raton: CRC Press; 2004: 307-310, 265-267.

4. O' Brien RD. Shortenings: types and formulations. In: shahidi F, editor. Bailey's industrial oil and fat products. 6th ed. vol 4, New Jersey: John Wiley and Sons; 2004:125-157.
5. Tarrago-Trani MT, Philips KM, Lemar LE, Holden M. New and existing oils and fats used in products with reduced trans-fatty acid content. J Am Diet Assoc 2006; 106(6): 867-880.
6. Petrauskaite V, De Greyt W, Huygebaert A. Physical and chemical properties of trans-free fats produced by chemical interesterification of vegetable oil blends. J Am Oil Chem Soc 1998; 75(4):489-493.
7. Innis SM. Trans fatty intake during pregnancy, infancy and early childhood. Atherosclerosis Suppl 2006; 7: 17-20.
8. Kok LL, Fehr WR, Hammond EG, White PJ. Trans-free margarine from highly saturated soybean oil. J Am Oil Chem Soc 1999; 76(10): 1175-1181.
9. Schmidt S, Hurtova S, Zemanovic J, Sekretar S, Simon P, Ainsworth P. Preparation of modified fats from vegetable oil and fully hydrogenated vegetable oil by randomization with alkali catalysts. Food Chem 1996; 55(4), 343-348.
10. Liu L, Lampert D. Monitoring chemical interesterification. J Am Oil Chem Soc 1999; 76(7): 783-787.
11. Marangoni AG, Rousseau D. The influence of chemical interesterification on physicochemical properties of complex fat systems. 1. melting and crystallization. J Am Oil Chem Soc 1998; 75(10): 1265-1271.
12. List GR, Mounts TL, Orthoefer F, Neff WE. Margarine and shortening oils by interesterification of liquid and trisaturated triglycerides. J Am Oil Chem Soc 1995; 72(3):379- 382.
13. List GR, Mounts TL, Orthoefer F, Neff WE. Effect of interesterification on the structure and physical properties of high-stearic acid soybean oils. J Am Oil Chem Soc 1997; 74(3): 327-329.
14. Noor Lida HMD, Sundram K, Siew WL, Aminah A, Mamot S. TAG composition and solid fat content of palm oil, sunflower oil, and palm kernel olein blends before and after chemical interesterification. J Am Oil Chem Soc 2002; 79(11): 1137-1144.
15. Zandi P, Goldani MT, Behmadi H, Khoshtinat K, Hosseini K. Study on the interesterification of sunflower, soybean and cottonseed oils in pilot scale. Amirkabir J 2003; 14 (55): 878-888. [in Persian]
16. Behmadi H, Zandi P, Goldani MT. Chemical interesterification of vegetable oils in lab scale as an alternative to hydrogenation. Abstracts of 8th Congress of Iran Nutrition Society, National Nutrition and Food Technology Research Institute. 2004, Tehran. [in Persian]
17. Behmadi H, Zandi P, Goldani MT, Ghavami M. Production of tailor-made fats from sunflower oil and soybean flakes. Iranian J Nutr Sci Food Technol 2008; 2(4):11-20. [in Persian]
18. AOCS. Official Methods and Recommended Practices, 5th ed, Champaign: AOCS Press; 2005, methods, 38-2 Cc, 48-9a Cc, Ca 2c-25, Ca 5a-40, 53-Cd 8, 92-12b Cd, Cd 16b-93, 45-13b Cc, Ce 5b-89.
19. Cunniff P, editor. Official Methods of the Association of Analytical Chemists, 16th ed., 3rd Rev, Maryland: AOAC International. 1997, method 920.158.
20. International Organization for Standardization, ISO No 5508, 5509, ISO; 2002.
21. Institute of Standards and Industrial research of Iran, Edible Fats and Oils- Sunflower Oil Specifications and methods. ISIRI No 1300, 2nd revision, Karaj: ISIRI; 2002. [in Persian]
22. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Specification of Crude, neutralized, bleached, and refined edible palm olein. ISIRI No 4466, Karaj; ISIRI; 1998. [in persian]
23. Lo YC, Handel AP. Physical and chemical properties of randomly interesterified blends of soybean oil and tallow for use as margarine oils. J Am Oil Chem Soc 1983; 60(4): 815-818.
24. Rodriguez A, Castro E, Salinas MC, Lopez R, Miranda M. Interesterification of tallow and sunflower oil. J Am Oil Chem Soc 2001; 78(4): 431 – 436.
25. Ghosh S, Bhattacharyya DK. Utilization of high-melting palm stearin in lipase-catalyzed interesterification with liquid oils. J Am Oil Chem Soc 1997; 74(5): 589-592.
26. Zandi P, Ahmadi M, Khoshtinat K, Rokni R, Salarkia N, Shabazaz M, et al. Report on the status of edible oils in Iran. Tehran: The Secretariat of NFNC, National Nutrition and Food Technology Research Institute; 2004: 15-18. [in persian]
27. Mirzaei S, Kiani A, Sheikholeslami E, Bahrami G. Fatty acids pattern and trans isomers content in Iranian margarines (Winter 2002). Behbood Quarterly J 2004; 8(3): 1-9. [in persian]
28. Canadian General Standards Board. Standard for Shortening 32 GP-75M, 1980.
29. The U.S. Department of Agriculture (USDA). Commercial Item Description. Shortening Compounds. A-A20100C, 1997
30. Orthoefer FT. Performance of trans-free vegetable oils in shortenings and deep-fat frying. Lipid Technol 2005; 17 (5): 101-106.
31. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Specification of hydrogenated vegetable oils (Amendment No.1). ISIRI No 144, Karaj; ISIRI; 2007. [in persian].
32. List GR, King JW. Hydrogenation. In: Gunstone F (ed) Modifying lipids for use in food. Cambridge: Woodhead Publishing; 2006:173-200.
33. Available at: URL.<http://www.asa-europe.org>. Accessed 2008 Oct.
34. Kheiri MSA. Palm oil in cooking fats. J Am Oil Chem Soc 1985; 62: 410-416.