

تعیین عمر مفید دو نمونه روغن فرموله شده سرخ کردنی در مقیاس پایلوت

خدیجه خوش طینت^{۱*}، پرویز کاوسی^۲، پروین زندی^۳

- ۱- پژوهشیار انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی
- ۲- دانش‌آموخته کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی
- ۳- استاد دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی

چکیده

روغنهای سرخ کردنی بدلیل استفاده طولانی مدت در درجه حرارت بالا و وجود اکسیژن و رطوبت دچار تغییرات کیفی می‌گردند. هدف از این پژوهش تعیین عمر مفید دو نمونه روغن فرموله شده سرخ کردنی به روش مخلوط کردن در مقیاس پایلوت است. برای این منظور پس از تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغنهای اولیه، روغنهای سرخ کردنی فرمول یک (پالم اولئین و آفتابگردان ۵۰:۵۰) و فرمول دو (پالم اولئین، تخم پنبه و آفتابگردان ۵۰:۲۵:۲۵) به روش مخلوط کردن تهیه و ۱۰۰ ppm آنتی‌اکسیدان TBHQ و ۱۰۰ ppm اسیدسیتریک به آنها اضافه گردید. به منظور تعیین عمر مفید (Fry-life) روغنها، عملیات سرخ کردن با ۲۰۰ گرم ورقه سیب زمینی (وارپته آگریا) هر نیم ساعت یکبار در دمای ۱۸۰°C تا رسیدن یکی از ویژگیهای کیفی روغن (عدد پراکسید، عدد اسیدی، نقطه دود، درصد کل ترکیبات قطبی یا TPC و فری تست) به حد دورریز استاندارد ملی ادامه یافت. از یک روغن سرخ کردنی قسمتی هیدروژنه ساخت یکی از کارخانجات داخلی به عنوان شاهد استفاده شد. پایداری اکسیداتیو نمونه‌ها و شاهد به روش رنسیمت در ۱۱۰°C اندازه گیری شد. عدد پراکسید به علت تجزیه پراکسیدها در درجه حرارت بالا و تشکیل مجدد آنها در حین سرد کردن روغن روند ثابتی نداشت ولی عدد اسیدی و TPC در حین سرخ کردن افزایش یافت. افزایش عدد اسیدی در روغن شاهد بیشتر از دو نمونه فرموله شده بود. در مقابل افزایش TPC در دو نمونه روغن بیشتر از شاهد بود. نقطه دود با افزایش زمان حرارت دادن کاهش یافت. سرعت کاهش در روغن شاهد بیشتر از روغنهای فرموله شده بود و پس از ۲۵ ساعت سرخ کردن به ۱۷۸°C (نقطه دور ریز) رسید. نتایج آزمون کیفی فری تست در مراحل آخر با TPC همخوانی نداشت. پایداری اکسیداتیو روغنها با افزایش زمان سرخ کردن کاهش یافت. آنالیز آماری نتایج نشان داد تفاوت معنی داری در عمر مفید دو روغن فرموله شده وجود ندارد (TPC فرمول یک و دو به ترتیب ۲۱ و ۲۰/۵ ساعت). اما بین روغن شاهد و روغنهای فرموله شده اختلاف معنی دار بود ($P < 0/05$) و روغن شاهد پس از ۲۶/۵ ساعت به مرز دور ریز رسید ($P < 0/05$). با در نظر گرفتن عمر مفید سرخ کردن، ارزش تغذیه‌ای (به ویژه میزان اسیدچرب ترانس) و جنبه اقتصادی (گران تر بودن روش هیدروژناسیون) بین دو نمونه روغن فرموله شده و شاهد فرمول یک رتبه بهتری را کسب نمود (شاهد > فرمول ۲ > فرمول ۱) و به عنوان جایگزین مناسبی برای روغن سرخ کردنی هیدروژنه معرفی می‌شود.

کلیدواژگان: روغن سرخ کردنی، فرمولاسیون، عمر مفید، روغن نباتی، چپس سیب زمینی

۱- مقدمه

سرخ کردن عمیق یکی از روشهای متداول تهیه و تولید غذاست. در این روش روغن در درجه حرارت بالا و به مدت طولانی مورد استفاده قرار گرفته و دچار تغییرات کیفی می‌گردد. این تغییرات روی طول زمان استفاده از روغن و در صورت استفاده در شرایط نامطلوب روی سلامت مصرف کننده تاثیر نامطلوبی می‌گذارند [۱ و ۲]. چپس سبب زمینی یکی از محصولات عمده تولید شده با این روش می‌باشد. طبق آمار سال ۱۳۸۳، ۶۷ واحد تولیدی با ظرفیت اسمی ۳۱۳۷۱ تن فعالیت دارند و ۳۱۳ واحد تولیدی با ظرفیت اسمی ۳۵۳۳۸۹ تن در سال پروانه گرفته اند [۳]. این محصول عمدتاً توسط کودکان و نوجوانان مصرف می‌گردد، بنابراین تولید روغن سرخ‌کردنی مناسب از اهمیت خاصی برخوردار است.

روغنهای غنی از اسید لوریک (۱۲:۰) و سایر اسیدهای چرب بازنجیر کوتاهتر برای سرخ کردن صنعتی مناسب نیستند زیرا در حین سرخ کردن رطوبت ماده غذایی موجب هیدرولیز گلیسریدها و آزاد شدن اسیدهای چربی می‌شود که کاملاً فرارند [۴]. پژوهشهای انجام شده نشان می‌دهد که با کاهش مقدار اسیدلینولیک (۳:۱۸) و افزایش مقدار اسید اولئیک (۱:۱۸) پایداری روغن و عمر انباری محصول سرخ شده در آن افزایش می‌یابد [۱، ۵ و ۶]. برای کاهش مقدار اسیدهای چرب غیر اشباع و افزایش پایداری اکسیداتیو روغنهای خوراکی از روشهای هیدروژناسیون، مخلوط کردن و اصلاح ژنتیکی استفاده می‌شود [۱]. هیدروژناسیون باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن می‌شود ولی به دلیل ایجاد ایزومرهای ترانس اسیدهای چرب از نظر تغذیه‌ای مطلوب نیست [۴ و ۷].

زو و همکاران (Xu et al., 1999) نشان دادند مقدار اسیدلینولیک فاکتور مهمی در کیفیت، طعم و پایداری اکسیداتیو روغن کانولا و محصول سرخ شده در آن است و با افزایش زمان سرخ کردن عدد یدی کاهش و ثابت دی الکتریک، رنگ و درصد ترکیبات قطبی (Total Polar Compounds or TPC) افزایش

می‌یابد [۸]. ویژگی روغن تخم پنبه با ۵۵/۵ درصد اسیدلینولیک (۱۸:۲) در طی فرایند سرخ کردن چپس سبب زمینی در درجه حرارتهای ۱۵۵، ۱۷۵ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که عدد آنیسیدین با افزایش زمان سرخ کردن به صورت خطی افزایش می‌یابد. میزان ترکیبات قطبی با مقدار اولیه ۶/۵ درصد با افزایش زمان سرخ کردن به صورت خطی افزایش یافته و پس از ۱۱ ساعت در ۱۹۵ درجه سانتیگراد به ۲۸ درصد رسید [۹]. کاکئوکا و همکاران (Kakeoka et al., 1997) با بررسی بر روی هفت نوع روغن سرخ‌کردنی رایج شامل پیه، کانولا، کانولای قسمتی هیدروژنه، ذرت، پنبه‌دانه، سویا و سویای قسمتی هیدروژنه شده نشان دادند هرچه میزان اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه (P) بیشتر باشد میزان ترکیبات قطبی تولید شده در مقایسه با اسیدهای چرب اشباع (S) در حین فرایند سرخ کردن بیشتر خواهد بود [۲]. ترکیب اسیدهای چرب تنها عامل پایداری روغن سرخ‌کردنی نیست بلکه وجود سایر عوامل مانند ترکیبات ضدکف، گیرنده فلزات و افزودن روغن تازه در حین سرخ کردن پایداری اکسیداتیو روغن را بهبود می‌دهد [۵]. هرچه دفعات افزودن روغن تازه بیشتر باشد تغییرات هیدرولیتیکی و ترمواکسیداتیو با سرعت و میزان کمتری روی می‌دهد [۱۰]. اثر آنتی اکسیدانهای طبیعی بر بهبود پایداری اکسیداتیو روغن سرخ‌کردنی نیز نشان داده شده است [۱۱، ۱۲ و ۱۳].

تغییرات فیزیکی و شیمیایی روغنهای مورد استفاده در سرخ کردن صنعتی سبب زمینی در دو کارخانه چپس تهران مورد بررسی قرار گرفته است. در هر دو کارخانه روزانه ۱۸-۱۷ درصد روغن تازه به مخزن اضافه می‌شد و بر اساس ویژگیهای عدد پراکسید، عدد اسیدی، عدد یدی، ترکیبات قطبی، رنگ، گرانیروی و نقطه دود روغن سرخ‌کردنی در واحدهای شماره ۱ و ۲ به ترتیب پس از ۳۴ ساعت و ۶۸ ساعت به حد دور ریز رسید. بیشتر بودن عمر مفید واحد شماره ۲ به دلیل کاربرد درجه حرارت پایینتر، استفاده از آنتی اکسیدان قویتر و شرایط فرایند بهتر بوده است [۱۴]. میرزایی و همکاران چهار

روغن (عمر مفید سرخ کردن)، هر نیم ساعت یکبار ۲۰۰ گرم ورقه سیب زمینی (به ضخامت ۱/۵ تا ۲ میلیمتر در سرخ کن ۴۰ لیتری در دمای 180 ± 5 درجه سانتیگراد، بدون افزودن روغن تازه حین فرایند، سرخ شد.

ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی فرمول ۱ و شاهد شامل عدد پراکسید، عدد اسیدی، نقطه دود و درصد کل ترکیبات قطبی و فری تست (مطابق با دستور عمل کیت ۱/۱۰۶۵۲/۰۰۰۱، Merck) در ۳ تکرار اندازه گیری شد.

پایداری روغن مطابق دستور عمل دستگاه رنسیمت (Metrohm مدل ۷۴۳، ساخت Swiss) تعیین شد.

آزمون کیفی فری تست برای کنترل سریع و آسان کیفیت روغن سرخ کردنی در حین فرایند مورد استفاده قرار می گیرد و بر اساس تطبیق ترکیبات رنگی تشکیل شده در حضور معرف با مقیاسهای رنگی (از ۱ تا ۴، ۱ خوب و ۴ غیر قابل مصرف) است [۴]. درصد کل ترکیبات قطبی

به روش کروماتوگرافی ستونی با بستر سیلیکاژل و استفاده از حلال پترولیوم بنزن و دی اتیل اتر (۸۷:۱۳) تعیین شد. در بررسی ارزش تغذیه ای فرمولها و شاهد بر مبنای عدم وجود ایزومر ترانس و حداقل میزان اسیدهای چرب اشباع و در نهایت $P/S + T > 1$ ، در بررسی عمر مفید سرخ کردن، زمان رسیدن به نقطه دورریز و در بررسی جنبه اقتصادی، هزینه تولید در نظر گرفته و در هر مورد به بهترین ویژگی عدد یک داده شد.

آنالیز آماری نتایج توسط نرم افزار SPSS-۱۰ در محیط ویندوز (Windows) انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده ها جهت بررسی تاثیر زمانهای مختلف سرخ کردن (تعیین عمر مفید) بر میزان عدد پراکسید، عدد اسیدی و درصد کل ترکیبات قطبی و کاهش نقطه دود و زمان پایداری (آزمون رنسیمت در $110^{\circ}C$) در روغنهای فرموله شده و شاهد از روش تجزیه واریانس به روش تکرار استفاده شد. در صورت معنی دار بودن اثر متقابل زمان و ویژگی روغن از آزمون توکی (Tukey test) در سطح معنی داری ۹۵ درصد برای روغنها استفاده گردید. همچنین با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه در زمانهای مختلف هر متغیر اختلاف معنی دار بین روغنها بررسی شد.

فرمول روغن سرخ کردنی را در مقیاس آزمایشگاهی به روش مخلوط کردن تولید و ویژگیهای کیفی آنها را با یک نمونه روغن شاهد (قسمتی هیدروژنه شده) مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روغن شاهد با ۲۴ درصد اسید چرب ترانس (T) و نسبت $P/S + T$ پایین (۰/۵۴) در مقایسه با محدوده ۱/۳۶-۱/۱۵ برای روغنهای فرموله شده (از ارزش تغذیه ای پایین تری برخوردار بود. با توجه به جنبه اقتصادی تولید، پایداری حرارتی و اکسیداتیو و ارزش تغذیه ای روغنها و ارزیابی حسی چپس تولیدی دو فرمول را که پایداری بهتر و ارزش تغذیه ای بالاتری داشتند، جهت ادامه کار در مقیاس پایلوت پیشنهاد نمودند [۱۵]. در این تحقیق در نظر است دو فرمول مذکور در مقیاس پایلوت تولید و عمر مفید سرخ کردن آنها تعیین شود.

۲- مواد و روشها

سیب زمینی واریته آگریا (Agria) از شهرستان دماوند و روغنهای نباتی اولیه مورد استفاده جهت فرموله کردن شامل روغن آفتابگردان (از شرکت سهامی به شهر)، تخم پنبه (از شرکت مارگارین) و پالم اولئین (از شرکت نهران گل بروجن) تهیه گردید. یک نمونه روغن سرخ کردنی تولید داخل کشور (از شرکت سهامی به شهر) به عنوان روغن شاهد استفاده و ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی نمونه های اولیه (عدد پراکسید، عدد اسیدی، عدد یدی، عدد صابونی، ضریب شکست، میزان رنگ، عدد آنیسیدین، نقطه دود، درصد کل ترکیبات قطبی و طیف اسیدهای چرب) در ۳ تکرار و به روش American Oil Chemists Society (Cd 8-53 و Cd 18-90, Cc 9a-48, Te 1a-64, Cd 18-90, Cc 13c-50, Cc 7-25, Cd 3-25, Cd 1-25، اندازه گیری شد [۱۶].

دو فرمول روغن سرخ کردنی شامل فرمول یک: روغنهای پالم اولئین و آفتابگردان (۵۰:۵۰) و فرمول دو: روغنهای پالم اولئین، آفتابگردان، تخم پنبه (۲۵:۲۵:۵۰) تولید و میزان آنتی اکسیدان (TBHQ) و اسید سیتریک، هر یک به میزان ۱۰۰ ppm ارسال شده. به منظور تعیین زمان دورریز

۳- نتایج

(life) آنها در جداول ۳، ۴ و ۵ ملاحظه می شود. عدد یدی روغن های فرمول ۱، ۲ و شاهد به ترتیب $0/11 \pm 0/97$ ، $0/18 \pm 0/22$ و $0/41 \pm 0/95$ بود. در جدول ۶ رتبه بندی فرمولهای تهیه شده و روغن شاهد بر اساس عمر مفید سرخ کردن ارائه شده است. جدول ۷ رتبه بندی نهایی فرمولها و روغن شاهد بر اساس عمر مفید سرخ کردن، ارزش تغذیه ای و جنبه اقتصادی را نشان می دهد.

میزان مواد جامد سیب زمینی $0/56 \pm 0/88$ در صده دست آمد. نتایج آزمونهای فیزیکی و شیمیایی روغنهای اولیه در جدول ۱ آمده است. در جدول ۲ ترکیب اسیدهای چرب روغن های اولیه و فرمولهای تهیه شده و روغن شاهد ملاحظه می شود. تغییرات ویژگیهای فیزیکوشیمیایی روغنها در حین سرخ کردن جهت تعیین عمر مفید (Fry-

جدول ۱ ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی روغنهای اولیه مورد استفاده در فرمولاسیون

روغن			ویژگی
پالم اولئین	آفتابگردان	تخم پنبه	
$0/053 \pm 0/03$	$1/93 \pm 0/07$	$2/00 \pm 0/35$	عدد پیراکسید (meq/kg)
$0/1 \pm 0/004$	$0/05 \pm 0/002$	$0/04 \pm 0/003$	عدد اسیدی (mg/g)
$200/45 \pm 0/76$	$195/26 \pm 0/58$	$195/12 \pm 0/63$	عدد صابونی (mg/g)
$56/95 \pm 0/23$	$132/04 \pm 0/78$	$112/64 \pm 0/45$	عدد یدی (g/100g)
$1/462$	$1/4722$	$1/466$	ضریب شکست ($40^\circ C$)
$4/6$	$2/2$	$4/2$	رنگ قرمز (لاویباند)
42	$7/9$	$14/3$	رنگ زرد (لاویباند)
218 ± 2	242 ± 1	236 ± 2	نقطه دود ($^\circ C$)
$0/42 \pm 0/0009$	$5/77 \pm 0/057$	$2/27 \pm 0/006$	عدد آنیسیدین
$9/7 \pm 0/44$	$8/6 \pm 0/42$	$9/8 \pm 0/45$	درصد کل ترکیبات قطبی

جدول ۲ ترکیب اسیدهای چرب روغنهای اولیه مورد استفاده در فرمولاسیون، فرمول ۱ و ۲ و روغن شاهد (درصد مولی)

شاهد	فرمول دو	فرمول یک	پالم اولئین	آفتابگردان	تخم پنبه	روغن
-	$0/11$	$0/10$	$0/18$	0	0	C12:0
$0/06$	$0/70$	$0/59$	$0/94$	$0/06$	$0/78$	C14:0
$4/51$	$27/48$	$23/29$	$39/86$	$6/42$	$21/84$	C16:0
$0/15$	$0/22$	$0/17$	$0/16$	$0/08$	$0/50$	C16:1
$0/03$	0	0	0	0	0	C16:1T
$0/04$	0	0	0	0	0	C17:1
$4/78$	$4/02$	$4/56$	$4/62$	$4/59$	$2/80$	C18:0
$57/74$	$31/91$	$31/94$	$41/72$	$23/55$	$20/20$	C18:1
$14/47$	0	0	0	0	0	C18:1T
$9/41$	$34/38$	$37/12$	$11/51$	$63/60$	$53/20$	C18:2
$5/33$	0	$0/60$	0	0	0	C18:2T
$0/68$	$0/24$	$0/56$	$0/45$	$0/25$	$0/33$	C18:3
0	$0/32$	0	$0/30$	$0/17$	$0/35$	C20:0
$1/18$	0	0	$0/16$	0	0	C20:1
$0/35$	$0/37$	$0/45$	$0/10$	$0/83$	0	C22:0
$0/25$	0	0	0	0	0	C22:1

جدول ۳ تغییرات ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی فرمول ۱ در طی فرایند سرخ کردن

زمان (ساعت)	عدد پراکسید (meq/kg)	عدد اسیدی (mg/g)	نقطه دود (°C)	رنسیت (110°C)	فری تست	% کل ترکیبات قطبی
۰	۱/۴۱ ± ۰/۳۱	۰/۰۷ ± ۰/۰۱	۲۳۰ ± ۱	۱۵/۴۹ ± ۰/۲۱	۱	۹ ± ۰/۴۰
۵	۴/۹۵ ± ۰/۹۵	۰/۱۲ ± ۰/۰۰۶	۲۲۸ ± ۲	۶/۴۱ ± ۰/۱۵	۱	۱۳/۵ ± ۰/۷۰
۱۳	۴/۱۷ ± ۰/۱۳	۰/۱۵ ± ۰/۰۰۵	۲۱۴ ± ۱	۲/۶۴ ± ۰/۱۵	۲	-
۲۰	۱۰/۹۸ ± ۰/۱۲	۰/۵۴ ± ۰/۰۱	۲۰۸ ± ۱	۰/۹۸ ± ۰/۰۱	۲	۲۱ ± ۰/۸
۲۵	۱۵/۰۸ ± ۰/۲	۰/۶۹ ± ۰/۰۰۷	۱۹۸ ± ۱/۵	۰/۷۴ ± ۰/۰۱	۳	۲۷/۵ ± ۱
۳۲	۱۱/۹۴ ± ۰/۲۱	۰/۹۵ ± ۰/۰۱	۱۹۲ ± ۱	۰/۶۱ ± ۰/۰۰۳	۴	۳۴/۸ ± ۰/۶

جدول ۴ تغییرات ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی فرمول ۲ در طی فرایند سرخ کردن

زمان (ساعت)	عدد پراکسید (meq/kg)	عدد اسیدی (mg/g)	نقطه دود (°C)	رنسیت (110°C)	فری تست	% کل ترکیبات قطبی
۰	۱/۷۶ ± ۰/۰۴	۰/۰۷ ± ۰/۰۱۵	۲۲۶ ± ۱	۱۷/۴ ± ۰/۱	۱	۹/۳ ± ۰/۷
۵	۸/۴۷ ± ۰/۲۲	۰/۳۴ ± ۰/۰۱۵	۲۱۷ ± ۱	۶/۷۷ ± ۰/۱۸	۱	۱۶/۳ ± ۰/۶
۱۳	۱۳/۴۹ ± ۰/۲۳	۰/۴۵ ± ۰/۰۰۴	۲۱۰ ± ۲	۲/۴۷ ± ۰/۰۰۴	۲	-
۲۰	۹/۷۱ ± ۰/۰۶	۰/۴۹ ± ۰/۰۱۷	۲۰۲ ± ۲	۱/۱۴ ± ۰/۰۰۳	۲	۲۳/۹ ± ۰/۵
۲۵	۹/۴۰ ± ۰/۱۴	۰/۵۲ ± ۰/۰۲۵	۱۹۷ ± ۱/۰	۰/۸۸ ± ۰/۰۰۴	۳	۲۸/۸ ± ۰/۴۸
۳۲	۷/۰۷ ± ۱/۵۶	۰/۵۱ ± ۰/۰۲	۱۹۰ ± ۲	۰/۸۷ ± ۰/۰۰۷	۴	۳۶/۳ ± ۰/۴۵

جدول ۵ تغییرات ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی روغن شاهد در طی فرایند سرخ کردن

زمان (ساعت)	عدد پراکسید (meq/kg)	عدد اسیدی (mg/g)	نقطه دود (°C)	رنسیت (110°C)	فری تست	% کل ترکیبات قطبی
۰	۰/۷۱ ± ۰/۰۶	۰/۱۹ ± ۰/۰۰۴	۲۳۸ ± ۲	۲۶/۱۰ ± ۰/۰۷	۱	۸/۶ ± ۰/۵
۵	۱/۷۶ ± ۰/۰۷	۰/۱۹ ± ۰/۰۰۲	۲۰۸ ± ۱	۱۵/۱۵ ± ۱/۶	۱	۱۳/۸ ± ۱/۱
۱۳	۳/۶۷ ± ۰/۲۰	۰/۳۱ ± ۰/۰۰۲	۲۰۳ ± ۱	۶/۳۱ ± ۰/۰۰۴	۲	-
۲۰	۳/۴ ± ۰/۱۴	۰/۸۱ ± ۰/۰۱	۱۸۰ ± ۲	۱/۳۰ ± ۰/۰۰۵	۲	۱۹/۷ ± ۰/۲۲
۲۵	۸/۸۱ ± ۰/۱۴	۰/۹۳ ± ۰/۰۱	۱۷۸ ± ۱	۱/۵۷ ± ۰/۰۰۸	۲	۲۳/۵ ± ۰/۳۵
۳۲	۱۶/۱۶ ± ۰/۱۹	۱/۷۱ ± ۰/۰۰۴	۱۷۶ ± ۲	۱/۰۷ ± ۰/۰۳۹	۳	۲۸/۵ ± ۰/۲۶

جدول ۶ رتبه بندی فرمولهای تهیه شده و روغن شاهد بر اساس عمر مفید سرخ کردن*

ویژگی روغن	عدد پراکسید	عدد اسیدی	نقطه دود	رنسیت	فری تست	% کل ترکیبات قطبی	رتبه**
فرمول ۱	۲	۲	۱	۳	۲	۲	۱۲
فرمول ۲	۳	۱	۲	۲	۲	۳	۱۳
شاهد	۱	۳	۳	۱	۱	۱	۱۰

* عدد یک بعنوان بهترین ویژگی در هر ستون در نظر گرفته شده است.

** ارقام مجموع رتبه‌های داده شده در سایر ستونها می‌باشند.

جدول ۷ رتبه بندی نهایی فرمولها و روغن شاهد بر اساس عمر مفید سرخ کردن، ارزش تغذیه ای و جنبه اقتصادی*

روغن	عمر مفید سرخ کردن	ارزش تغذیه ای	جنبه اقتصادی	رتبه نهایی**
فرمول ۱	۲	۱	۱	۴
فرمول ۲	۲	۲	۱	۵
شاهد	۱	۳	۲	۶

* عدد یک بعنوان بهترین ویژگی در هر ستون در نظر گرفته شده است.

** ارقام مجموع رتبه‌های داده شده در سایر ستونها می‌باشند.

۴- بحث و نتیجه گیری

بررسی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی روغنهای تخم پنبه، آفتابگردان و پالم اولئین (جدول ۱ و ۲) و مقایسه با استانداردهای ملی شماره ۱۳۰۰، ۱۷۲۳ و ۴۴۶۶ [۱۷، ۱۸ و ۱۹] نشان می‌دهد این ویژگیها در محدوده تعیین شده استاندارد قرار دارند و این امر هم بیانگر کیفیت مناسب روغنهای اولیه است.

مقایسه میانگین عدد پراکسید اولیه روغنهای سرخ کردنی فرموله شده شماره ۱ و ۲ و روغن شاهد (جدول ۳، ۴ و ۵) نشان می‌دهد که ویژگی مذکور در محدوده تعیین شده استاندارد قرار دارد (حد اکثر ۲ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم). بررسی آماری تفاوت معنی داری را بین فرمولهای یک و دو نشان نمی‌دهد اما بین روغن شاهد و روغنهای فرموله شده اختلاف معنی دار است ($P < 0/05$) و روغن شاهد با مقدار پراکسید اولیه پایین تر وضعیت بهتری دارد. در طی سرخ کردن عدد پراکسید روغنهای مورد مطالعه در ابتدا یک روند افزایشی و سپس یک روند کاهشی را نشان می‌دهد. بنظر می‌رسد در روغن شاهد بواسطه پایین بودن پراکسید اولیه، طی ۳۲ ساعت سرخ کردن روند افزایشی

بود. طبق استاندارد زمانی که میزان پراکسید از مرز ۵ میلی اکی والان در کیلو گرم عبور کند روغن غیر قابل مصرف است. جداول ۳، ۴ و ۵ نشان می‌دهند که فرمول یک در کمتر از ۲۰ ساعت، فرمول دو در ۵ ساعت اولیه و روغن شاهد در زمان کمتر از ۲۵ ساعت سرخ کردن به محدوده غیر قابل مصرف رسید. باید یادآوری کرد که پراکسیدها در درجه حرارت سرخ کردن از بین رفته و در زمان سرد کردن دوباره تشکیل می‌شوند. بنابراین عدد پراکسید آزمون مناسبی برای اندازه گیری میزان فساد روغن سرخ کردنی نیست [۴، ۲۰ و ۲۱]. از این رو بنظر نمی‌رسد تعیین عدد پراکسید شاخص مناسبی برای تعیین عمر مفید روغن سرخ کردنی باشد ولی روشی استاندارد برای بررسی کیفیت روغن تازه است [۴ و ۲۲].

هیدرولیز تری گلیسریدها موجب تشکیل اسیدهای چرب آزاد در روغن می‌شود. حضور این ترکیبات هیدرولیز بعدی تری گلیسریدها را تسریع می‌کند. همچنین به نظر می‌رسد این ترکیبات با افزایش حلالیت اکسیژن در روغن و به دلیل خاصیت پرو اکسیدانی گروه کربوکسیل آنها اکسیداسیون روغن را نیز تسریع می‌کند

۹/ درصد و اسید لینولنیک ۰/۵۶، ۰/۲۴ و ۰/۶۸ درصد و مجموع اسیدهای چرب ترانس (T) بترتیب ۰/۶، ۰/۲۴ و ۱۹/۸۳ درصد است (جدول ۲). میزان اسیدهای چرب اشباع در روغنهای فرموله شده در مقایسه با شاهد بالاتر و در مقابل میزان اسیدهای چرب ترانس روغن شاهد بالاتر از روغنهای فرموله شده است. از آنجا که مصرف اسیدهای چرب اشباع و ترانس از نظر تغذیه‌ای مطلوب نمی باشد، محققان کاهش این اسیدهای چرب را با تولید وارته‌های اصلاح شده ژنتیکی با اسید اولئیک بالا و اسید لینولنیک پایین بجای روغنهای قسمتی هیدروژنه شده توصیه کرده اند [۲۰]. بالاتر بودن میزان P فرمولهای ۱ و ۲ در مقایسه با شاهد، و نسبت $P/S + T$ در روغنهای فرمول ۱ و ۲، به ترتیب ۱/۳۵ و ۱/۰۹ در مقابل ۰/۳۵ برای روغن شاهد، نشان دهنده ارزش تغذیه‌ای بالاتر روغنهای فرموله شده است [۱۵].

مقایسه پایداری اکسیداتیو و حرارتی اولیه روغنهای فرموله شده و شاهد با آزمون رنسیمت در 110°C (جدول ۴، ۵ و ۶) تفاوت معنی داری را بین روغنهای فرموله شده و شاهد نشان می‌دهد ($P < 0/05$). به نظر می‌رسد دلیل پایداری بیشتر روغن شاهد استفاده از فرایند هیدروژناسیون و کاهش اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه (P) باشد [۸ و ۲۰]. پایداری روغنها در آغاز برای فرمول یک، فرمول دو و روغن شاهد به ترتیب ۱۵/۴۹، ۱۷/۴۰ و ۲۶/۱۰ ساعت بود و با افزایش زمان سرخ کردن پایداری اکسیداتیو روغنها کاهش یافت. این روند در ۲۰ ساعت اول سرخ کردن شدید و پس از آن تا ساعت ۳۲ به کندی ادامه یافت. کاهش پایداری در روغن شاهد علیرغم بالاتر بودن میزان اولیه آن (در تمامی زمانهای مورد بررسی شدید تر از روغنهای فرموله شده بود و پس از ۳۲ ساعت سرخ کردن مقدار آن به ۱/۰۷ ساعت رسید، در حالیکه پایداری روغنهای فرموله شده با روندی مشابه و به طور یکنواخت کاهش یافت و پس از ۳۲ ساعت به ۰/۶۱ در فرمول یک و ۰/۸۷ در فرمول دو رسید.

نقطه دود اولیه روغنهای فرمول یک و دو و شاهد (جدول ۲، ۳ و ۴) در محدوده قابل قبول استاندارد (حداقل 200°C قرار داشته و نتایج ارزیابی آماری تفاوت معنی داری را

[۴]. اسیدهای چرب آزاد در حین اکسیداسیون و هیدرولیز بواسطه شکستن تری گلیسریدها تولید می‌شوند [۲۰]. تحقیقات انجام شده روی روغنهای سرخ کردنی نشان داده که مقدار اسیدهای چرب آزاد در حین سرخ کردن افزایش می‌یابد [۸، ۲۳ و ۲۴]. طبق استاندارد ملی ایران، محدوده قابل قبول برای عدد اسیدی روغنهای سرخ کردنی حداکثر ۰/۲ میلی گرم در گرم تعیین شده است. میانگین عدد اسیدی اولیه روغنهای فرموله شده و شاهد در محدوده تعیین شده استاندارد قرار دارد و بین روغنهای فرموله شده از نظر آماری تفاوت معنی دار نیست ($P = 0/122$) اما بین روغن شاهد و روغنهای فرموله شده تفاوت معنی دار است ($P < 0/05$). به نظر می‌رسد علت بالاتر بودن مقدار اولیه عدد اسیدی در روغن شاهد به دلیل باقی ماندن مقادیر جزئی کاتالیستهای فلزی بجا مانده از فرایند هیدروژناسیون باشد [۸]. بررسی آماری تغییرات عدد اسیدی در روغنها نشان می‌دهد که با افزایش زمان سرخ کردن عدد اسیدی افزایش می‌یابد ($P < 0/05$). پس از ۳۲ ساعت سرخ کردن عدد اسیدی هیچ‌یک از روغنها به حد غیر قابل مصرف روغنهای سرخ کردنی نرسید. در انتها بیشترین مقدار عدد اسیدی (۱/۷۰) متعلق به روغن شاهد و کمترین مقدار (۰/۵۱) به فرمول دو تعلق داشت. عدد اسیدی به تنهایی شاخص کیفی مناسبی برای روغنهای سرخ کردنی نیست زیرا اسیدهای چرب فرار هستند و اکسیده شده به سایر ترکیبات حاصل از فساد تبدیل می‌شوند. برخی از محققین اشاره بر این دارند که ارتباط مستقیمی بین میزان اسیدهای چرب آزاد و کیفیت روغن سرخ کردنی در حین مصرف وجود ندارد. بنابراین تصمیم گیری بر اساس این ویژگی به تنهایی ممکن است درست نباشد [۲۲].

میانگین عدد یدی (روش هانوس) روغنهای فرموله شده و شاهد بترتیب ۹۷/۹، ۸۸/۲۲ و ۹۵/۴۰ بدست آمد که در محدوده استاندارد ملی روغنهای سرخ کردنی (حد اکثر ۱۰۰) قرار دارد. مجموع اسیدهای چرب اشباع (S) روغنهای فرموله شده و شاهد بترتیب ۲۸/۷۱، ۳۲/۵۳ و ۹/۵۷ و میزان اسید اولئیک بترتیب ۳۱/۹۴، ۳۱/۹۱ و ۵۷/۷۴ و اسید لینولنیک ۳۷/۱۲، ۳۸/۳۴ و ۴۱

بالا تر بودن عدد اسیدی روغن شاهد نقطه دود آن سریعتر از دو روغن فرموله شده کاهش یافت. میانگین درصد کل ترکیبات قطبی (TPC) اولیه روغنهای فرموله شده یک و دو و شاهد (جدول ۳، ۴ و ۵) تفاوت معنی داری را بین این روغن‌ها نشان نمی دهد ($P=0/356$). ترکیبات قطبی شامل تمام ترکیبات شیمیایی حاصل از فساد روغن هستند [۲۲]. در استاندارد ملی روغنهای سرخ کردنی محدوده ای برای میزان TPC روغنهای اولیه تعیین نشده است. درصد کل ترکیبات قطبی اولیه فرمولهای یک، دو و روغن شاهد به ترتیب برابر ۹، ۹/۳ و ۸/۶ درصد بود. میزان TPC اولیه بالا در روغن ممکن است به دلیل استفاده از درجه حرارت بالا در حین بی بو کردن روغن باشد [۲].

بررسی آماری تغییرات TPC در طول زمان سرخ کردن تفاوت معنی داری را بین روغنهای مورد مطالعه در زمانهای مورد بررسی نشان می دهد ($P < 0/05$). در هر سه روغن با افزایش زمان سرخ کردن TPC بصورت خطی افزایش یافت، اما میزان افزایش در روغن شاهد کمتر از روغنهای فرموله شده بود. در فرمول یک و دو پس از ۲۰ ساعت TPC به ترتیب ۲۱/۰ و ۲۳/۹ درصد بود و پس از ۲۵ ساعت سرخ کردن مقدار آن به ۲۷/۵ درصد در فرمول یک و ۲۸/۸ درصد در فرمول دو رسید و در این ساعت اختلاف بین این دو فرمول معنی دار نبود. اما در روغن شاهد مقدار این ترکیبات پس از ۲۵ ساعت به ۲۳/۵ و بعد از ۳۲ ساعت سرخ کردن به ۲۸/۵ درصد رسید. تحقیقات Houhoula و همکاران [۹] نیز نشان داده است TPC با افزایش زمان در حین حرارت دادن روغن در درجه حرارت ثابت به صورت خطی افزایش می یابد که با نتایج تحقیقات حاضر مطابقت دارد. کاهش درجه غیر اشباع روغن بطور معنی داری پایداری روغن را افزایش می دهد و TPC روغنهای قسمتی هیدروژنه شده دیرتر به مرز ۲۵ می رسند [۸ و ۲]. روغن شاهد بواسطه هیدروژنه شدن دیرتر از روغنهای فرموله شده به مرز دور ریز رسید. در بین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده در تعیین کیفیت روغن سرخ کردنی از آزمون تعیین درصد کل ترکیبات قطبی به عنوان بهترین ویژگی نام

بین نقطه دود روغن‌ها نشان می دهد ($P < 0/05$). روغن شاهد نقطه دود بالاتری (238°C) دارد. اسیدهای چرب با وزن مولکولی کمتر نقطه دود پایبتری دارند [۲۵]. بنظر می رسد بالاتر بودن میزان اسید پالمیتیک روغنهای فرموله شده یک و دو در مقایسه با شاهد دلیل پایین تر بودن نقطه دود این روغن‌ها در مقایسه با شاهد باشد. ترکیبات حاصل از تجزیه روغن وزن مولکولی پایین تری نسبت به تری گلیسریدها دارند لذا در درجه حرارت سرخ کردن دود می کنند. نقطه دود یک روغن بستگی به میزان اسیدهای چرب آزاد آن و ترکیبات منو و دی گلیسرید موجود در روغن دارد بنابراین با افزایش عدد اسیدی نقطه دود کاهش می یابد [۲۵، ۲۶ و ۲۷].

در جداول ۳، ۴ و ۵ تغییرات نقطه دود در طی فرایند سرخ کردن نشان داده شده است. زمانی که در طی سرخ کردن نقطه دود به کمتر از 180°C رسید روغن غیر قابل مصرف می شود. نقطه دود فرمول یک، فرمول دو و روغن شاهد در آغاز به ترتیب ۲۳۰، ۲۲۶ و ۲۳۸ درجه سانتیگراد بود. بررسی آماری تفاوت معنی داری را بین روغنهای مورد مطالعه در زمانهای مورد بررسی نشان می دهد به این معنی که با افزایش زمان سرخ کردن نقطه دود کاهش می یابد ($P < 0/05$)، هرچه عدد اسیدی بیشتر باشد روغن در درجه حرارت پایبتری دود خواهد کرد [۴]. در این تحقیق نیز در روغن شاهد، نقطه دود علیرغم میزان اولیه بالاتر آن با سرعت بیشتری نسبت به دو روغن فرموله شده کاهش یافت و پس از ۲۰ ساعت سرخ کردن به 180°C رسید، که می توان این امر را به بالاتر بودن عدد اسیدی روغن شاهد (در مقایسه با روغنهای فرموله شده) در حین سرخ کردن نسبت داد. نقطه دود روغنهای فرموله شده به آرامی و به صورت خطی با افزایش زمان کاهش یافت. بین دو روغن فرموله شده در آغاز اختلاف معنی دار بود ولی پس از ۲۵ ساعت تا پایان سرخ کردن تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده نگردید و حتی پس از ۳۲ ساعت نقطه دود آنها به مرز غیر قابل قبول از نظر استاندارد نرسید. از آنجا که وجود اسیدهای چرب آزاد موجب کاهش نقطه دود روغن می شود [۲۵] به دلیل

۵- سپاسگزاری

از آقایان مهندس محمد تقی مظلومی، مهندس حامد صفافر و مهندس ایرج گایینی برای راهنماییهای ارزنده، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور به جهت تامین بودجه مورد نیاز برای اجرای این تحقیق و شرکت سهامی خاص توسعه کشت دانه‌های روغنی به لحاظ در اختیار گذاشتن برخی تجهیزات آزمایشگاهی قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

۶- منابع

- [1] Warner, K., Orr, P., Parrott, L. and Glynn, M. (1994). Effects of frying oil composition on potato chip stability. *JAOCS*, 71(10): 1117-1121.
- [2] Takeoka, R., Full, G.H. and Dao, L.T. (1997). Effect of heating on the characteristics and chemical composition of selected frying oils and fats. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 3244 - 3249.
- [۳] آمار متخذه از مرکز اطلاعات و کامپیوتر وزارت صنایع، (۱۳۸۳-۱۳۷۷).
- [4] Rossell, J.B. (2001). *Frying, improving quality*. CRC Press (Woodhead Publishing Limited), Cambridge, pp. 10, 41, 102.
- [5] Petukhov, I., Malcolmsn, L.J., Przybylski, R. and Armstrong, L. (1999). Frying performance of genetically modified canola oils. *JAOCS*, 76(5): 627-632.
- [6] Petukhov, I., Malcolmsn, L.J., Przybylski, R. and Armstrong, L. (1999). Storage stability of potato chips fried in genetically modified canola oils. *JAOCS*, 76(8): 889-896.
- [7] Miller, L. A. and White, J.W. (1988). High-temperature stabilities of low-

برده می‌شود [۸] زیرا اگر براساس میزان عدد اسیدی قضاوت شود کیفیت روغن هنوز مناسب می‌باشد و به حد دورریز نرسیده است. عمر مفید سرخ کردن روغنهای فرموله شده ۱ و ۲ و روغن شاهد پس از رسم منحنی تغییرات TPC بر حسب زمان به ترتیب حدود ۲۱ ساعت، ۲۰/۵ ساعت و ۲۶/۵ ساعت به دست آمد. بنا براین از نظر عمر مفید سرخ کردن تفاوت معنی‌داری بین دو روغن فرموله شده نیست اما روغن شاهد عمر مفید بالاتری دارد. عدد اسیدی و TPC با افزایش زمان سرخ کردن افزایش می‌یابند. اگر قضاوت براساس میزان عدد اسیدی باشد روغن‌های فرموله شده و شاهد پس از ۳۲ ساعت هنوز به حد دورریز (حداکثر ۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) نرسیده‌اند در حالیکه براساس TPC از مرز دورریز گذشته‌اند. از این رو TPC شاخص مناسبتری برای کیفیت روغن سرخ‌کردنی می‌باشد [۲۱].

بررسی کیفیت روغن‌ها با آزمون فری تست نشان می‌دهد روغن‌های فرموله شده پس از ۲۵ ساعت و روغن شاهد پس از ۳۲ ساعت سرخ کردن هنوز قابلیت مصرف را داشته‌اند که با نتایج TPC در مراحل آخر همخوانی ندارد (جدول ۳، ۴ و ۵).

روغنهای فرموله شده دارای نسبت $P/S+T$ نزدیک به یک می‌باشند در حالی که این نسبت برای روغن شاهد ۰/۳۵ است. از طرفی در روغنهای فرموله شده و دو به ترتیب ۰/۶ و ۰/۲۴٪ اسید چرب ترانس وجود دارد اما در روغن شاهد ۱۹/۸۳ درصد اسید چرب ترانس وجود دارد. به این ترتیب ارزش تغذیه‌ای روغنهای فرموله شده و شاهد عبارت است از: روغن شاهد > فرموله دو > فرموله یک. در رتبه بندی فرموله‌های تهیه شده و روغن شاهد براساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (جدول ۶) روغن شاهد رتبه ای بهتر از روغن‌های فرموله شده کسب می‌کند ولی با رتبه بندی نهایی براساس عمر مفید سرخ کردن، ارزش تغذیه‌ای و جنبه اقتصادی (جدول ۷) در مجموع می‌توان روغن فرموله ۱ را به عنوان جایگزین روغن سرخ‌کردنی هیدروژنه پیشنهاد کرد.

- [15] Mirzaee, S., Zandi, P., Mazioumi, M. and Ghavami, M. (2003). Formulation of zero trans frying oils, 25th World Congress of International Society for Fat Research, October 12-15, 2003, Bordeaux, France.
- [16] Firestone, D. (Ed.) (1989). Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 4th edition, American Oil Chemist Society. Champaign, IL.
- [17] استاندارد روغن آفتابگردان مایع خوراکی. ۱۳۸۱. تجدید نظر دوم، استاندارد شماره ۱۳۰۰، انتشارات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- [18] استاندارد ویژگیهای روغن پالم اولئین خام، خنثی شده، خنثی و رنگبری شده و تصفیه شده خوراکی. ۱۳۷۶. استاندارد شماره ۴۴۶۶، انتشارات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- [19] استاندارد ویژگی روغن تخم پنبه خوراکی مایع. ۱۳۷۲. استاندارد شماره ۱۷۲۳، انتشارات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- [20] Stevenson, S.G., Genser, M.V. and Eskin, N.A. M, (1984). Quality control in the use of deep frying oils. *JAOCS.*, 61 (6) : 1102-1108.
- [21] Moreira, R.G., Castell-Perez, E. E. and Barrufet, M.A. (1999). Deep-fat frying fundamental and application ,An Aspen Publication, Maryland.
- [22] Hui, Y.H. (1996). Bailey's industrial oil and fat products. Vol. 3, John Wiley and Sons, INC. New York ,pp. 108 , 451 -461.
- [23] Tyagi, V.K. and Vasishtha, A.K. (1996). Changes in the characteristics linolenate, high-stearate and common soybean oils. *JAOCS.* ,65(8): 1324-1326.
- [8] Xu, X., Tran, V.H., Palmer, M., White, K. and Salisbury, P. (1999). Chemical and physical analyses and sensory evaluation of six deep-frying oils. *JAOCS.*, 76(9): 1091-1099.
- [9] Houhoula, D.P., Oreopoulou, V. and Tiza, C. 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. *JAOCS.* ,79(2): 133-137.
- [10] Romero, A., Cuesta, C., and Sanchez-Muniz, F.J. (1998). Effect of oil replenishment during deep-fat frying of frozen foods in sunflower oil and high-oleic acid sunflower oil. *JAOCS.*, 75(2), 161-166.
- [11] Zandi. P. and Gordon, M.H. (1998). Antioxidant activity of extracts from old tea leaves. *Food Chem.* 65. 285-288.
- [12] Gordon, M.H. and Kourimska, L. (1995). The effect of antioxidants on changes in oils during heating and deep-fat frying *J. Sci. Food Agr.* 68, 347-353.
- [13] Jaswir, I., Che Man, Y.B. and Kitts, D.D. (2000). Use of natural antioxidants in refined palmolein during repeated deep-fat frying. *Food Res. Intl.* 33, 501-508.
- [14] Zandi, P. and Afshinfar, E., (1993), Physical and chemical changes in the oil during deep-fat frying of potato crisps, *INFORM*, 4(4): 526.

- [26] Sikorski, Z.E. and Kolakowska, A. 2003. Chemical and functional properties of food lipids. CRC Press, New York, pp. 325-344.
- [27] Augustin, M.A., Asap, T. and Heng, L. K. (1987). Relationships between measurements of fat deterioration during heating and frying in RBD palmolein. *JAOCS*, 64(12): 1670-1674.
- [28] Tompkins, C. and Perkins, G. (2000). Frying performance of low - linolenic acid soybean oil. *JAOCS*, 77(3): 499-505.
- and composition of oils during deep-fat frying. *JAOCS*, 73(4):499-505.
- [24] Handel, P.A. and Guerrieri, S.A. (1990). Evaluation of heated frying oils containing added fatty acids. *J. Food Sci.*, 55(5):1417 – 1420.
- [25] O'Brien, R.D. (2004). *Fats and Oils, Formulating and processing for applications*. second edition. CRC Press, New York, pp. 108, 451, 458, 461.

Archive of SID

Determination of Fry-life of two formulated frying oils produced in pilot scale

Khadije Khoshtinat^{1*}, Parviz Kavousi², Parvin Zandi³

1- Researcher, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Tehran, Iran.

2- M.Sc.Graduate, Department of Food Science and Nutrition, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Food Science and Nutrition, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Frying oils undergo quality changes due to long term heating at high temperature in the presence of oxygen and moisture. The aim of this study was determination of fry-life of two formulated frying oils produced in pilot scale. After determination of physical and chemical characteristics of primary oils, two formulations, i.e. formula 1 or F1 (palmolein and sunflower oils 50:50) and formula 2 or F2 (palmolein, sunflower and cottonseed oils 50:25:25) were prepared by blending, then TBHQ (100ppm) and citric acid (100ppm) were added to them. For determination of fry-life potato slices (Agria variety) were fried at a rate of 200g/30 min (180 °C) in a 40-liter fryer, until one of the characteristics (peroxide value or PV, acid value or AV, smoke point, total polar compounds or TPC, Fritest and Rancimat) reached the discard point for frying oil. PV were variable due to decomposition in high temperature and reproducing during cooling of the oils. AV and TPC were increased during frying. The increasing of AV was higher in control, reversely two formulated frying oils, TPC were more than control. A sample of partial hydrogenated frying oil produced by an Iranian factory was used as control. Oxidative stability of two formulated frying oils and control were determined by Rancimat in 110°C. Oxidative stability of frying oils were reduced during frying as well as smoke point, although this reduction was faster in control, and after 25hrs frying reached the discard point (178 °C). The results of Fritest were not similar to TPC in the last steps. Statistical analysis did not show a significant difference ($P < 0.05$) in the fry-life of F1 and F2 (TPC of F1 and F2 were 21 and 20.5 hours, respectively) but there was a significant difference between two formulated frying oils and control ($P < 0.05$). The control was discarded after 26.5 hrs frying. Regarding the fry-life, nutritional value (especially trans fatty acid content) and economical aspects (cost of hydrogenation), F1 was the best frying oil ($F1 > F2 > \text{control}$) and could be suggested as a substitute for hydrogenated frying oils.

Keywords: Frying oil, Formulation, Fry-life, Vegetable oil, Potato chips

* Corresponding author E-mail: nutrition@sbmu.ac.ir