

# اثر سرخ کردن بر خصوصیات کیفی روغن استفاده شده در صنعت چپس سیب زمینی

مهرداد قوامی\*، مریم قراچورلو\*\* و حمید عزت پناه\*\*\*

## چکیده

جهت سرخ کردن عمیق مواد غذایی مقادیر قابل توجهی روغن طی دوره های طولانی حرارت داده می شود و در نتیجه عواملی چون رطوبت، حرارت و اکسیژن تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی چون هیدرولیز، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون در روغن سرخ کردنی روی می دهد که سبب تنزل کیفیت روغن و محصول می گردد. در این پژوهش جهت ارزیابی کیفی روغن سرخ کردنی از روغن مصرفی ۲ کارخانه تولید چپس سیب زمینی از ابتدای تولید تا زمان تعویض کامل روغن نمونه برداری شد و آزمونهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی بر روی آنها انجام شد. نتایج حاصل از آزمونهای انجام شده افزایش درصد اسید چرب آزاد و عدد پراکسید، افزایش درصد ترکیبات قطبی، کاهش درصد اسیدهای چرب غیراشباع همراه با افزایش ایزومرهای ترانس، کاهش عدد یدی، کاهش زمان مقاومت به اکسید شدن و افزایش ویسکوزیته و رنگ روغن را با افزایش زمان حرارت دهی نشان می دهد که همگی دلالت بر افت کیفی روغن می نمایند.

**واژگان کلیدی:** روغن سرخ کردنی، کیفیت روغن، ترکیبات قطبی، ترکیب اسید چرب.

\*- استادیار دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

\*\* - دانشجوی دکتری رشته مهندسی کشاورزی - علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

\*\*\* - استادیار دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۸۱/۱۰/۲۳، تاریخ دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۱/۱۲/۱۹

## مقدمه

امروزه روغن‌ها و چربی‌ها یک ترکیب مهم رژیم غذایی را تشکیل می‌دهند و سرخ کردن عمیق مواد غذایی یکی از متداولترین روش‌های تهیه و تولید محصولات غذایی می‌باشد. در این فرآیند روغن بهترین وسیله انتقال حرارت را برای تهیه سریع غذا فراهم آورده و طی واکنش با پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های غذا، خصوصیات ارگانولپتیکی مطلوبی به محصول سرخ شده ارائه می‌دهد. از طرفی طی سرخ کردن در نتیجه عواملی چون رطوبت، حرارت و اکسیژن واکنش‌های مختلفی در روغن روی می‌دهد که منجر به فساد هیدرولیتیک، اکسیداتیو و پلیمریزاسیون روغن سرخ کردنی می‌گردد. از آنجائیکه تغییرات فیزیکی و شیمیایی طی حرارت دهی متناوب روغن اجتناب ناپذیر بوده و افت کیفی روغن در تنزل کیفیت محصول بسیار موثر است، کنترل کیفی روغن سرخ کردنی در طول فرآیند و تعویض به موقع آن دارای اهمیت بهداشتی و تغذیه‌ای می‌باشد.

ارزیابی کیفیت روغن‌ها و چربی‌ها طی سرخ کردن مواد غذایی و بررسی فرآورده‌های حاصل از آن در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ تنها بر مبنای متدهای کلاسیک چون تعیین اندیس اسیدی، اندیس پراکسید و اندیس یدی استوار بود (۶). نخستین تحقیق پیرامون فساد روغن‌ها و چربی‌ها طی سرخ کردن مواد غذایی توسط انجمن تحقیقات چربی آلمان (DGF) در سال ۱۹۷۳ انجام گرفت. بنابر تحقیقات این انجمن چربی مورد استفاده برای سرخ کردن زمانی فاسد می‌گردد که بو و مزه آن در ارزشیابی حسی غیر قابل پذیرش باشد، غلظت اسیدهای چرب اکسید شده نامحلول در پترولیوم اتر آن به ۱ درصد برسد و نقطه دود آن کمتر از  $170^{\circ}\text{C}$  باشد (۱).

بدنبال آن پژوهش‌هایی در زمینه تعیین ایده‌آل‌ترین چربی‌ها برای سرخ کردن، بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلف در روغن‌ها و چربی‌ها طی حرارت دهی و سرخ کردن به منظور تعیین ارزش تغذیه‌ای و اثرات سمی روغن حرارت دیده و نیز کیفیت حسی روغن و غذای سرخ شده در آن صورت گرفت.

بررسی ترکیب شیمیایی روغن‌های حرارت دیده افزایش‌هایی در درصد اسید چرب آزاد، ویسکوزیته، وزن مخصوص، اندیس پراکسید و اندیس صابونی را نشان داده است (۱۱، ۱۰). تحقیق دیگری افزایش مقدار ترکیبات قطبی موجود در روغن سرخ کردنی شامل مونوگلیسریدها، دی گلیسریدها و اسیدهای چرب آزاد را با افزایش زمان حرارت دهی نشان داده است (۹، ۲). تغییرات ترکیب اسید چرب روغن نیز بعنوان شاخصی جهت ارزیابی کیفیت روغن طی سرخ کردن مورد استفاده قرار گرفته است (۸).

اگر چه روش‌های آزمون مختلفی جهت اندازه گیری تغییرات روغن طی سرخ کردن پیشنهاد گردیده است، بدلیل پیچیدگی واکنش‌ها روش ساده‌ای جهت نتیجه گیری مطلق وجود ندارد و آگاهی از تغییرات کیفی روغن طی سرخ کردن و تعیین دقیق زمان دورریزی آن یکی از مشکلات اساسی بوده است.

## روش پژوهش

به منظور ارزیابی کیفی روغن سرخ کردنی مصرف شده، از روغن مصرفی ۲ کارخانه تولید چیپس سیب زمینی از ابتدای تولید (روغن تازه) تا زمان تعویض کامل روغن به طور روزانه در ۳ مرحله ابتدای تولید، ۴ ساعت پس از تولید و انتهای تولید (۸ ساعت پس از تولید) بصورت تصادفی نمونه برداری شد. روغن مصرفی واحد A روغن نیمه هیدروژنه بود که برای ۹ روز با طول دوره سرخ کردن ۸ ساعت در روز حرارت داده شد و روغن مصرفی واحد B روغن آفتابگردان بود که برای ۴ روز با طول دوره سرخ کردن ۸ ساعت در روز حرارت داده شد. علاوه بر تفاوت در نوع روغن مورد استفاده اختلافاتی در سیستم تولید ۲ واحد مذکور ملاحظه می شود که در نتایج حاصله بسیار موثر می باشد. از جمله می توان به اختلاف در درجه حرارت سرخ کردن اشاره نمود که در واحد A،  $160^{\circ}\text{C} - 130^{\circ}\text{C}$  و در واحد B،  $185^{\circ}\text{C} - 165^{\circ}\text{C}$  می باشد. همچنین افزودن روغن تازه به سرخ کن در واحد A بصورت غیرمداوم و در واحد B بصورت مداوم همزمان با کاهش سطح روغن در سرخ کن انجام می شود. ضمناً در واحد B سرد کردن روغن در انتهای تولید هر روز با افزایش دستی روغن تازه صورت گرفته و به این ترتیب روغن در فواصل انتهای تولید هر روز تا شروع تولید روز بعد در درجه حرارتی پایین تر از درجه حرارت تولید نگهداری می شود در حالیکه در واحد A سرد شدن روغن به طور تدریجی، با توقف حرارت دهی انجام می شود.

آزمون های فیزیکی و شیمیایی مختلفی مثل تعیین درصد اسید چرب آزاد، عدد پراکسید، ترکیب قطبی، ترکیب اسید چرب، عدد یدی، زمان مقاومت به اکسید شدن، رنگ و ویسکوزیته بر روی نمونه های روغن تازه و حرارت دیده با سه تکرار انجام شد. بدین منظور از استانداردهای انجمن شیمی دانان روغن امریکا (AOCS) (۳) و انجمن شیمی تجزیه (AOAC) (۴) استفاده شد. ضمناً کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده جهت تعیین شاخص های کیفی روغن از نوع مخصوص آنالیز کمی بودند که بوسیله شرکت مرک آلمان تولید شده بودند.

درصد اسید چرب آزاد به روش تیتراسیون و بر اساس استاندارد A OAC با شماره ۹۴۰/۲۸ اندازه گیری شد.

جهت تعیین درصد ترکیبات قطبی از روش کروماتوگرافی ستونی بر اساس استاندارد A OCS با شماره ۹۱ - ۲۰ استفاده شد.

عدد پراکسید به روش یدومتري و مطابق استاندارد AOCS با شماره ۵۳ - ۸ Cd مورد سنجش قرار گرفت. جهت تعیین ترکیب اسید چرب آماده سازی نمونه بصورت مشتق متیل استر بر اساس استاندارد AOAC با شماره ۳۳ / ۹۶۹ صورت گرفت و سپس از دستگاه گاز کروماتوگراف مدل Varian Star 3400 مجهز به آشکار کننده شعله ای (FID) و ستون موئین ۳۰ متری پر شده با دی اتیلن

گلیکول سوکسینات (DEGS) مطابق استاندارد AOCS با شماره Ce 1e - 91 استفاده شد. به طوریکه درجه حرارت محل تزریق نمونه  $230^{\circ}\text{C}$ ، درجه حرارت ستون  $200^{\circ}\text{C}$ ، درجه حرارت آشکار کننده  $250^{\circ}\text{C}$ ، سرعت جریان گاز حامل (نیترژن) ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه، فشار ۱۰ PSI، حساسیت دستگاه ۴ و مقدار تزریق نمونه ۰/۸ میکرولیتر بود.

عدد یدی بر اساس استاندارد AOCS با شماره Cd 1c - 85 مستقیماً با استفاده از ترکیب اسید چرب روغن مورد محاسبه قرار گرفت.

زمان مقاومت به اکسید شدن با استفاده از دستگاه رنسیمت مدل Metrohm 743 در درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$  و با جریان هوای ۲۰ لیتر بر ساعت ارزیابی شد.

رنگ با استفاده از دستگاه لایو باند Tintometer مدل F و مطابق با استاندارد AOCS با شماره Cc 13e - 92 ارزیابی گردید.

ویسکوزیته بر اساس استاندارد AOCS با شماره Ja 10 - 87 با استفاده از ویسکومتر دیجیتالی Brookfield مدل DV - I + اندازه گیری شد. سنجش در درجه حرارت  $25^{\circ}\text{C}$  و با بکارگیری Spindle شماره ۵ و با سرعت ۲۰ rpm صورت گرفت.

### نتایج و بحث

نمودار ۱ تغییرات درصد اسید چرب آزاد نمونه‌های روغن واحدهای A و B را نشان می‌دهد. افزایش درصد اسید چرب آزاد که با افزایش زمان حرارت دهی مشاهده می‌شود در نتیجه انجام واکنش‌های شیمیایی مختلف خصوصاً هیدرولیز تری گلیسریدها می‌باشد. اسیدهای چرب آزاد علاوه بر واکنش هیدرولیز، طی فرآیند اکسیداسیون نیز بعنوان یک فرآورده نهایی تشکیل شده و باعث کاهش نقطه دود روغن سرخ کردنی می‌گردند (۷). از طرف دیگر انباشتگی خرده‌های ماده غذایی در سرخ کن تولید اسید چرب آزاد را تسریع نموده و حضور اسیدهای چرب آزاد در روغن سرخ کردنی هیدرولیز مجدد تری گلیسریدها را کاتالیز می‌نماید. همین عامل و نیز سرد شدن تدریجی روغن در فواصل انتهای تولید هر روز تا شروع تولید روز بعد افزایش درصد اسید چرب آزاد نمونه‌های روغن واحد A را تشدید نموده است. نوساناتی که در سیر صعودی درصد اسید چرب آزاد هر ۲ واحد مشاهده می‌شود می‌تواند بدلیل افزوده شدن روغن تازه به سرخ کن همزمان با کاهش سطح روغن در سرخ کن باشد که در واحد A بصورت غیرمداوم و در واحد B بصورت مداوم انجام می‌شود. همچنین فراریت اسیدهای چرب آزاد در درجه حرارت سرخ کردن، می‌تواند در کاهش این فاکتور موثر باشد. ضمناً در واحد B افزودن مداوم روغن تازه طی سرخ کردن و کاهش درجه حرارت روغن در انتهای تولید هر روز با افزودن روغن تازه سبب کاهش قابل توجهی در درصد اسید چرب آزاد نمونه‌های روغن این واحد گردیده است. به طوریکه تفاوت‌های محسوسی در نمودار درصد اسید چرب آزاد ۲ واحد فوق ملاحظه می‌شود.

با توجه به نمودار ۲ که تغییرات عدد پراکسید نمونه‌های روغن واحدهای A و B را نشان می‌دهد، در هر ۲ واحد با پیشرفت حرارت دهی در نتیجه فرآیند اکسیداسیون بر شدت تولید پراکسیدها که محصولات مقدماتی اکسیداسیون هستند افزوده شده و مقدار عدد پراکسید افزایش یافته است. پراکسیدها تحت شرایط سرخ کردن ناپایدارند و تجمع پیدا نمی‌کنند، یا به سرعت تجزیه شده و ترکیبات فراری چون آلدئیدها، کتون‌ها و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و ... را بوجود می‌آورند و بدین ترتیب سبب ایجاد عطر و طعم نامطلوب در روغن می‌گردند و یا با تشکیل پیوندهای متقاطع، تری گلیسریدهای دیمریک یا پلیمریک را بوجود می‌آورند که ضمن افزایش ویسکوزیته و رنگ روغن، کاهش کیفیت آن را سبب می‌گردند (۷، ۱۲). از این رو بدنبال هر افزایش در عدد پراکسید کاهش آن که ناشی از شکست و تجزیه پراکسید و یا تبدیل آن به دیگر ترکیبات می‌باشد، مشاهده می‌شود. ضمناً نوع روغن، کیفیت اولیه روغن و نحوه سرد شدن آن در انتهای تولید هر روز در رابطه با تغییرات این فاکتور حائز اهمیت می‌باشد. در مجموع با توجه به دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه (۱۱، ۱۰) و نوسانات عدد پراکسید که ناشی از تجزیه آن و نیز افزودن روغن تازه طی سرخ کردن می‌باشد، این فاکتور به تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت روغن‌های سرخ کردنی به نظر نمی‌رسد، اگر چه همراه با فاکتورهای دیگر می‌تواند نتایج مطلوبی را در رابطه با کیفیت روغن ارائه نماید.

نمودار ۳ تغییرات درصد ترکیبات قطبی نمونه‌های روغن واحدهای A و B را نشان می‌دهد. در هر ۲ واحد با افزایش زمان حرارت دهی افزایش درصد ترکیبات قطبی در نتیجه واکنش‌های مختلف فساد صورت گرفته است. با وجود غیراشباع بودن روغن واحد B نسبت به واحد A، سرد کردن روغن در انتهای تولید هر روز با افزودن روغن تازه و نگهداری آن در درجه حرارتی پایین تر از درجه حرارت تولید از افزایش شدید درصد ترکیبات قطبی این واحد جلوگیری نموده است. نوساناتی که در سیر صعودی درصد ترکیبات قطبی نمونه‌های روغن هر ۲ واحد وجود دارد می‌تواند به دلیل افزوده شدن روغن تازه به سرخ کن و نیز فراریت اسیدهای چرب آزاد باشد که علاوه بر مونوگلیسریدها و دی گلیسریدها بخشی از ترکیبات قطبی روغن را تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است که در بسیاری از کشورها درصد ترکیبات قطبی بعنوان مبنایی برای تشخیص نقطه پایانی مصرف روغن سرخ کردنی و افت کیفی آن می‌باشد و حد غیر قابل مصرف آن ۲۵ درصد گزارش گردیده است (۵).

بررسی نمودارهای ترکیب اسید چرب نمونه‌های روغن واحدهای A و B و مقایسه آنها با نمودار استاندارد اسیدهای چرب مشخص می‌نماید که روغن تازه واحد B روغن آفتابگردان و روغن تازه واحد A روغنی است که به میزان جزئی هیدروژنه شده است. با توجه به جداول ۱-۱ و ۲-۱ که ترکیب اسید چرب نمونه‌های واحدهای A و B را نشان می‌دهد تغییرات در ترکیب اسید چرب روغن‌ها

طی سرخ کردن اساسا در میان اسیدهای چرب غیراشباع دیده می‌شود. در واحد A با افزایش زمان حرارت دهی درصد اسید اولئیک از ۰/۸۳ تا ۵/۲ درصد افزایش یافته و ایزومر ترانس آن (اسید الاینیدیک) نیز افزایشی حدود ۰/۲ تا ۵ درصد نشان می‌دهد که در نتیجه ایزومریزاسیون می‌باشد. طی حرارت دهی درصد اسید لینولئیک و اسید لینولنیک کاهش یافته که می‌تواند ناشی از تجزیه آنها و تشکیل ترکیبات فرار مختلف در نتیجه واکنش اکسیداسیون باشد. درحالیکه تغییرات محسوسی در درصد ایزومرهای ترانس اسید لینولئیک مشاهده نمی‌گردد، که می‌تواند بدلیل پایداری بیشتر فرم ترانس نسبت به فرم سیس باشد. در واحد B نیز با افزایش زمان حرارت دهی درصد اسید اولئیک افزایش یافته و ایزومر ترانس آن که در روغن تازه وجود نداشته، بوجود آمده است. درصد اسید لینولئیک و اسید لینولنیک نیز به تدریج کاهش یافته که در نتیجه واکنش‌های اکسیداسیون و پلیمریزاسیون روی داده در روغن می‌باشد. همچنین در نتیجه استفاده از درجه حرارت‌های بالا حین سرخ کردن و انجام واکنش‌های ایزومریزاسیون، ایزومرهای ترانس اسید لینولئیک که در روغن تازه مشاهده نشدند طی سرخ کردن بوجود آمده و درصد آنها نیز با پیشرفت حرارت دهی افزایش یافته است. ضمنا در ترکیب اسید چرب روغن‌های هر ۲ واحد مقادیر ناچیزی اسید آراشیدیک (C20 : 0) و اسید بهنیک (C22 : 0) یافت می‌شود و نوساناتی که در سیر صعودی یا نزولی اسیدهای چرب ملاحظه می‌شود به دلیل افزوده شدن روغن تازه به سرخ کن حین حرارت دهی می‌باشد.

نمودارهای ۱-۴ و ۲-۴ تغییرات عدد یدی نمونه‌های روغن واحدهای A و B را نشان می‌دهند. عدد یدی شاخصی از تعداد پیوندهای دوگانه می‌باشد و کاهش آن طی حرارت دهی بدلیل کاهش در درصد اسیدهای چرب غیراشباع روغن در نتیجه تخریب باندهای دوگانه ناشی از واکنش‌های ایزومریزاسیون، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون می‌باشد. با توجه به جداول ۱-۱ و ۲-۱ که نشان دهنده ترکیب اسید چرب نمونه‌های روغن واحدهای A و B می‌باشند، مشخص می‌گردد که با وجود افزایش جزئی در میزان اسید اولئیک، درصد اسید لینولئیک و اسید لینولنیک کاهش یافته است که بالطبع کاهش عدد یدی را سبب می‌گردد. اگر چه در هر ۲ واحد A و B روند کاهش عدد یدی مشاهده می‌شود ولی کاهش بیشتر آن در واحد B بدلیل غیراشباع تر بودن روغن واحد B نسبت به واحد A و درجه حرارت بالاتر بکار رفته در این واحد می‌باشد و از این رو در واحد A پس از ۶۸ ساعت حرارت دهی عدد یدی تنها ۳ واحد کاهش یافته در صورتیکه در واحد B کاهش ۱۴ واحدی عدد یدی پس از ۱۶ ساعت حرارت دهی ایجاد گشته است.

تغییرات زمان مقاومت به اکسید شدن نمونه‌های روغن واحدهای A و B در نمودار ۵ نشان داده شده است. با توجه به اینکه روغن تازه مورد استفاده در واحد A نسبت به واحد B اشباع تر بوده و از طرف دیگر پراکسید آن نسبت به واحد B ناچیز (۰/۴ meq/kg) می‌باشد، از مقاومت بیشتری نسبت به اکسید شدن برخوردار است به طوریکه زمان مقاومت به اکسید شدن روغن تازه این واحد در ۱۱۰°C، ۱۳/۲۴ ساعت می‌باشد که در همان مراحل اولیه حرارت دهی بدلیل انجام واکنش‌های شیمیایی مختلف

خصوصاً اکسیداسیون و از بین رفتن آنتی اکسیدان‌های موجود در روغن به شدت کاهش یافته است. در واحد B زمان مقاومت به اکسید شدن روغن تازه در  $110^{\circ}\text{C}$ ،  $2/14$  ساعت می‌باشد. با توجه به اینکه روغن مرد استفاده این واحد روغنی غیراشباع بوده و عدد پراکسید آن ( $10/8 \text{ meq/kg}$ ) از حداکثر حد قابل قبول برای سرخ کردن بیشتر می‌باشد، لذا کیفیت نامناسب روغن اولیه و غیراشباع بودن آن در کم بودن زمان مقاومت به اکسید شدن روغن تازه این واحد موثر می‌باشد. افزایش‌هایی که در زمان مقاومت به اکسید شدن نمونه‌های روغن این ۲ واحد مشاهده می‌شود می‌تواند بدلیل افزوده شدن روغنی با کیفیت بهتر و بالطبع حضور آنتی اکسیدان‌های فعال موجود در آن، همچنین انتقال ترکیباتی از سیب زمینی به روغن باشد که در افزایش پایداری روغن به اکسید شدن موثر بوده‌اند.

نتایج ارزیابی رنگ روغن که توسط دستگاه لایویناند انجام شد در نمودارهای ۶-۱ و ۶-۲ ارائه گردیده است. طی فرآیند سرخ کردن با افزایش زمان حرارت دهی بر شدت رنگ زرد و قرمز روغن افزوده می‌گردد که تا حد زیادی به نوع ماده غذایی سرخ کردنی و نوع روغن مصرفی وابسته می‌باشد. با توجه به اینکه روغن مورد آزمون، جهت سرخ کردن چپیس سبب زمینی مورد استفاده قرار گرفته است، نوع و واریته سیب زمینی در سبب رنگ آن موثر می‌باشد. حین سرخ شدن سیب زمینی ممکن است ترکیبات مختلفی چون کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و ... از سیب زمینی به روغن انتقال یابند. بسیاری از این ترکیبات از طریق اکسیداسیون حاصل از فساد آن در تیرگی رنگ روغن شرکت می‌نمایند که از جمله می‌توان به واکنش‌های غیرآنزیمی میلارد اشاره نمود که بین عامل آمین پروتئین‌ها و عامل کربونیل قند احیا کننده سیب زمینی و حتی ترکیبات حاصل فساد اکسیداتیو روغن که خاصیت احیا کنندگی دارند به وقوع می‌پیوندد و منجر به قهوه‌ای شدن و می‌گردد. لذا افزایش واکنش‌های اکسیداتیو و توسعه ترکیبات حاصل از این فساد، ترکیبات حاصل از واکنش‌های پلیمریزاسیون، همچنین فسفولیپیدهای باقیمانده در روغن، اکسیداسیون اسید آسکوربیک موجود در سیب زمینی و وجود خرده‌های ماده غذایی در روغن نیز می‌تواند باعث تیرگی رنگ روغن گردد. ضمناً نوساناتی که در سیر صعودی رنگ زرد و قرمز روغن ایجاد گردیده می‌تواند بدلیل اضافه شدن روغن تازه جهت تعادل شدت رنگ روغن، همچنین فیلتراسیون روغن و حذف خرده‌های ماده غذایی از آن باشد. اختلاف در شیوه سرد کردن روغن در انتهای تولید هر روز، نوع و واریته سیب زمینی مورد استفاده و کلاً تفاوت در سیستم تولید ۲ واحد فوق می‌تواند از عوامل موثر بر سرعت تیرگی رنگ روغن در این ۲ واحد باشد.

افزایش در ویسکوزیته نمونه‌های روغن واحدهای A و B طی فرآیند سرخ کردن که در نمودار ۷ مشاهده می‌شود می‌تواند بدلیل ایجاد ترکیبات با وزن مولکولی بالا باشد که در نتیجه تنوع وسیع واکنش‌های شیمیایی خصوصاً اکسیداسیون و پلیمریزاسیون ایجاد می‌گردند. در واقع مونومرها (حلقوی و غیرحلقوی)، دیمرها و تریمرهای تری گلیسریدها و پلیمرهای ایجاد شده طی فرآیند سرخ کردن عامل افزایش ویسکوزیته روغن و حالت چسبندگی آن می‌باشند انتقال برخی ترکیبات

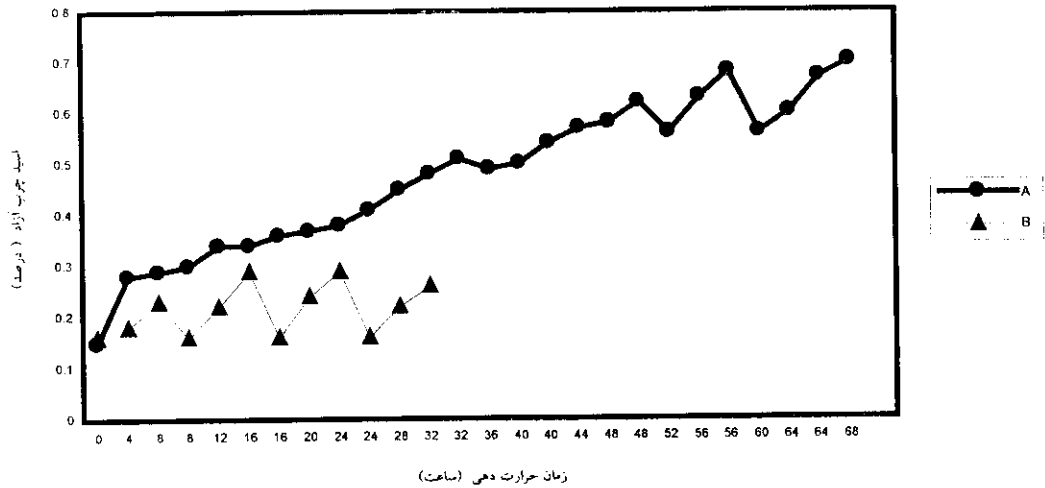
ماده غذایی (سیب زمینی) به روغن، افزایش ترکیبات با وزن مولکولی بالا حاصل از واکنش‌های قهوه‌ای شدن (میلارد) و دیگر واکنش‌های پیچیده انجام شده بین روغن و ماده غذایی نیز می‌تواند در افزایش ویسکوزیته روغن موثر باشد. ضمناً افزایش روغن تازه همزمان با کاهش سطح روغن در سرخ کن منجر به کاهش ویسکوزیته روغن گردیده است.

### نتیجه گیری

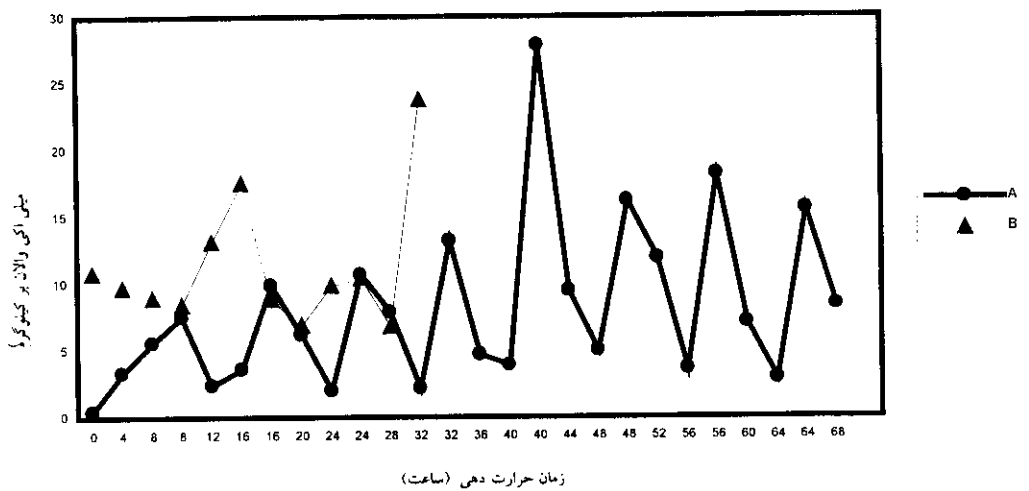
نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی ارزیابی کیفیت روغن سرخ کردنی مصرف شده نشان داد که با افزایش زمان حرارت دهی درصد اسید چرب آزاد در نتیجه واکنش‌های شیمیایی مختلف خصوصاً هیدرولیز تری گلیسریدها افزایش می‌یابد. همچنین با پیشرفت حرارت دهی در نتیجه فرآیند اکسیداسیون بر شدت تولید پراکسیدها که محصولات مقدماتی اکسیداسیون هستند افزوده شده و در نتیجه واکنش‌های شیمیایی مختلف خصوصاً اکسیداسیون و از بین رفتن آنتی اکسیدان‌های موجود در روغن زمان پایداری روغن به اکسید شدن کاهش می‌یابد. سیر صعودی درصد ترکیبات قطبی در نتیجه واکنش‌های مختلف فساد با افزایش زمان حرارت دهی مشاهده می‌گردد که با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای این فاکتور و اینکه حد غیرقابل مصرف آن ۲۵ درصد گزارش گردیده است می‌تواند مبنایی برای تشخیص نقطه پایانی مصرف روغن سرخ کردنی باشد. بررسی ترکیب اسید چرب روغن‌های مورد آزمون افزایش درصد اسید اولئیک و ایزومر ترانس آن اسید الایئیدیک و کاهش درصد اسید لینولئیک و اسید لینولئیک و در نتیجه کاهش عدد یدی را با افزایش زمان حرارت دهی نشان می‌دهد. همچنین مشخص گردید که واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآزیمی خصوصاً واکنش میلارد سبب نیرگی رنگ روغن گشته است و افزایش در ویسکوزیته روغن نیز طی فرآیند سرخ کردن در نتیجه تولید ترکیبات با وزن مولکولی بالا صورت گرفته و چسبندگی روغن را ایجاد نموده است.

با توجه به اینکه کیفیت نامناسب اولیه روغن سبب تسریع فساد می‌گردد، بهتر است جهت سرخ کردن از روغنی با کیفیت اولیه مطلوب و مطابق با استانداردهای تدوین شده استفاده نمود که در این زمینه شاید روغن آفتابگردان با اسید اولئیک بالا بتواند نتایج مطلوب تری ارائه نماید. ضمناً سرد کردن سریع روغن در انتهای تولید هر روز با افزودن روغن تازه (همانگونه که در واحد B عمل می‌شود) می‌تواند در حفظ کیفیت روغن در طول فرآیند موثر واقع گردد و در عین حال باید در نظر داشت که تعویض به موقع روغن دارای اهمیت بهداشتی و تغذیه‌ای بوده و از افت کیفی محصول جلوگیری می‌نماید. لذا با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت روغن سرخ کردنی مصرف شده که نشان دهنده افت کیفی روغن با افزایش زمان حرارت دهی آن می‌باشد بهتر است زمامیکه شاخص‌های کیفی روغن خارج از حد استاندارد بوده و دلالت بر افت کیفی روغن می‌نمایند اقدامات لازم جهت بازسازی روغن سرخ کردنی صورت گیرد.

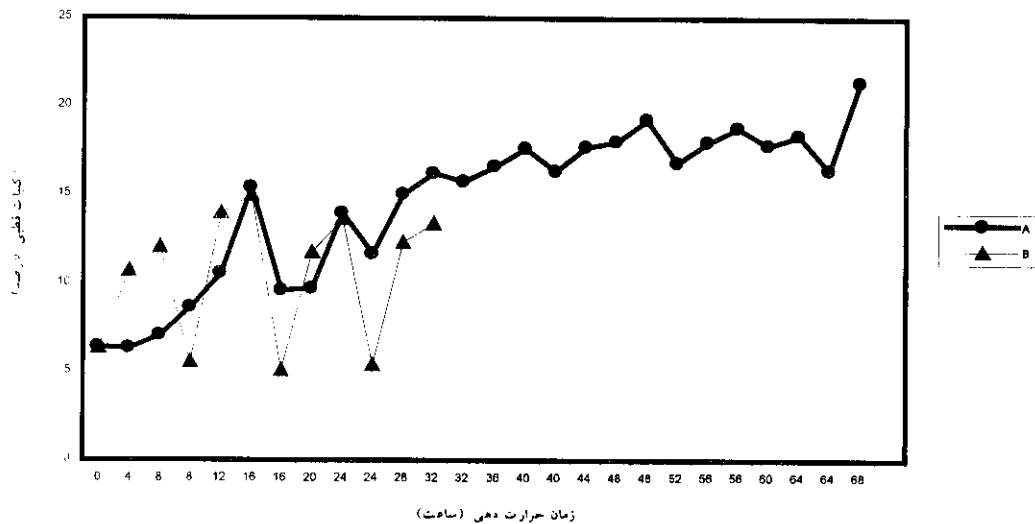




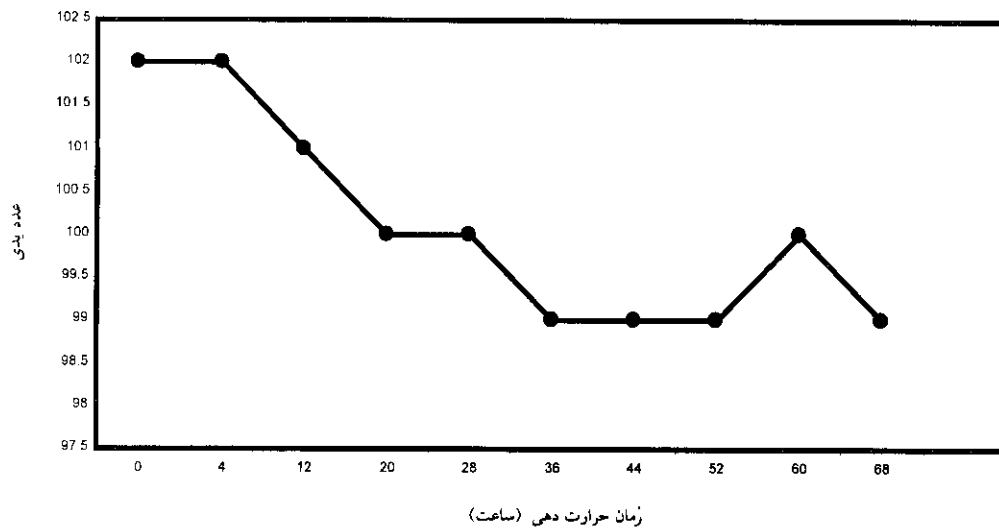
نمودار ۱- تغییرات درصد اسید چرب آزاد نمونه‌های روغن واحدهای A و B



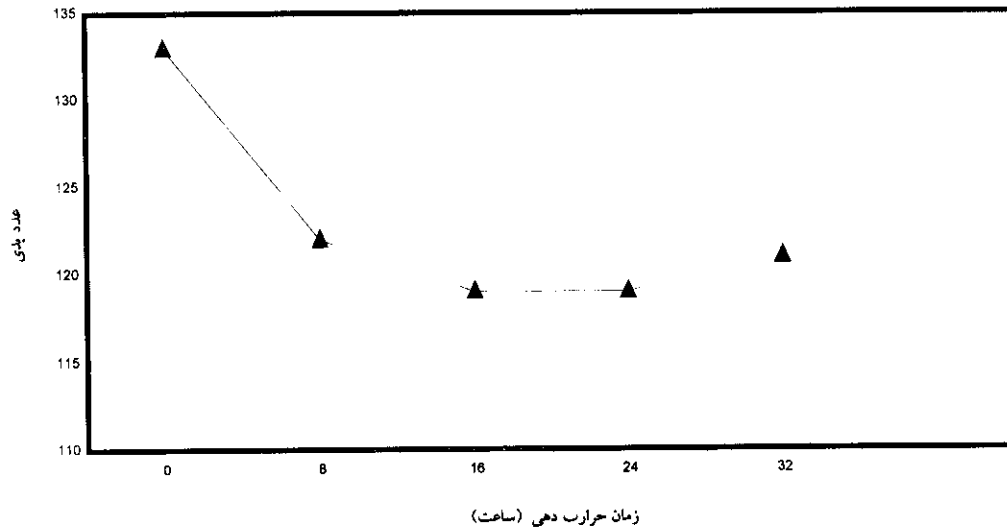
نمودار ۲- تغییرات عدد پراکسید نمونه‌های روغن واحدهای A و B



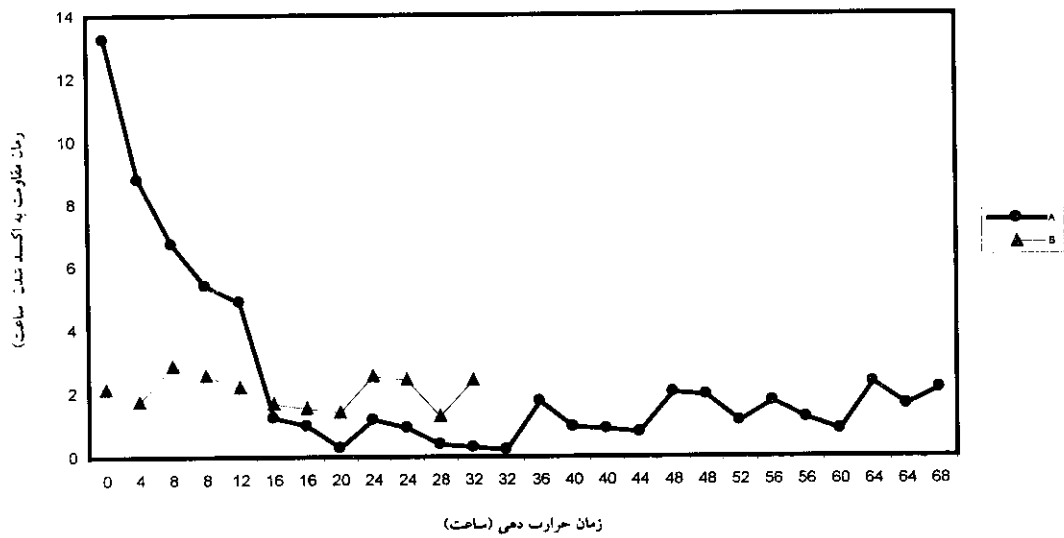
نمودار ۳- تغییرات درصد ترکیبات قطبی نمونه های روغن واحدهای A و B



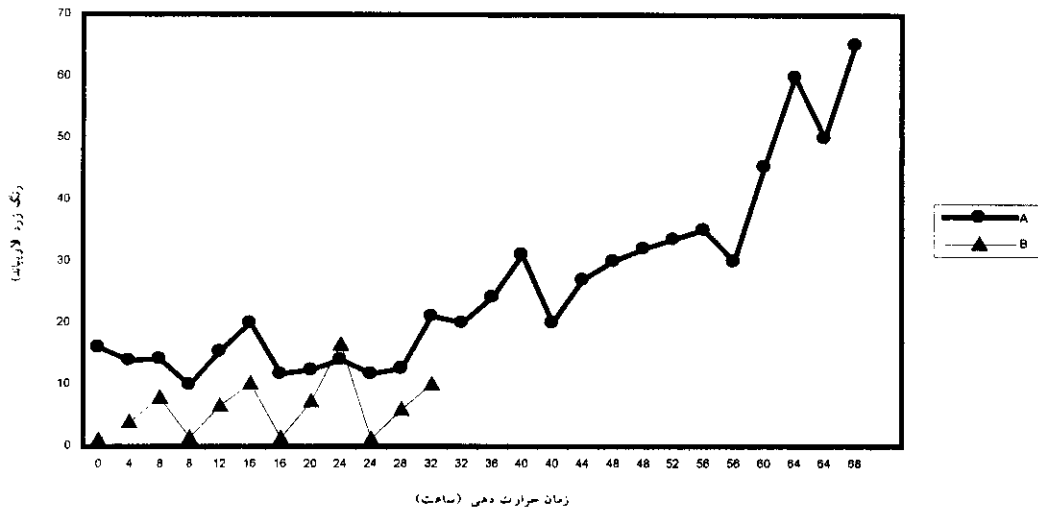
نمودار ۴-۱- تغییرات عدد یدی نمونه های روغن واحد A



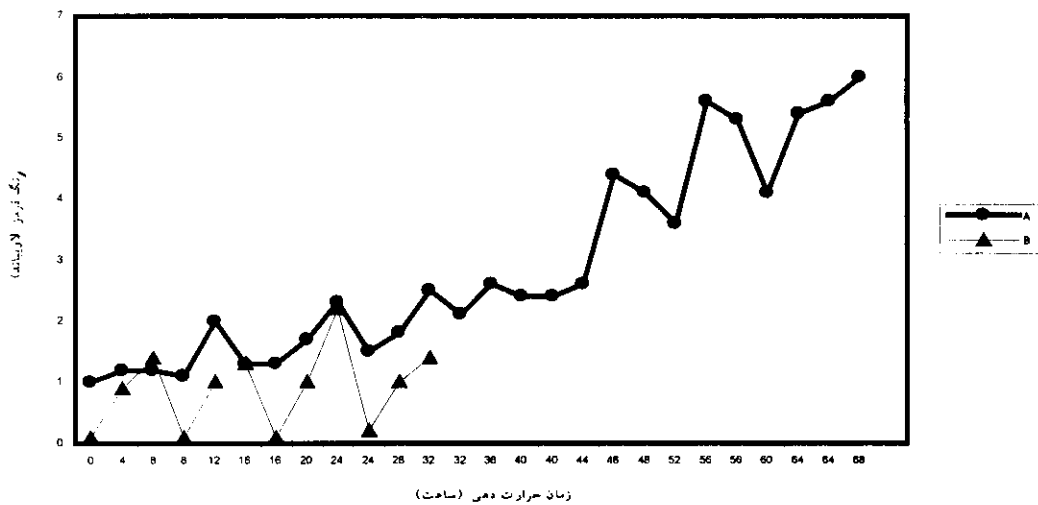
نمودار ۴-۲- تغییرات عدد پدی نمونه های روغن واحد B



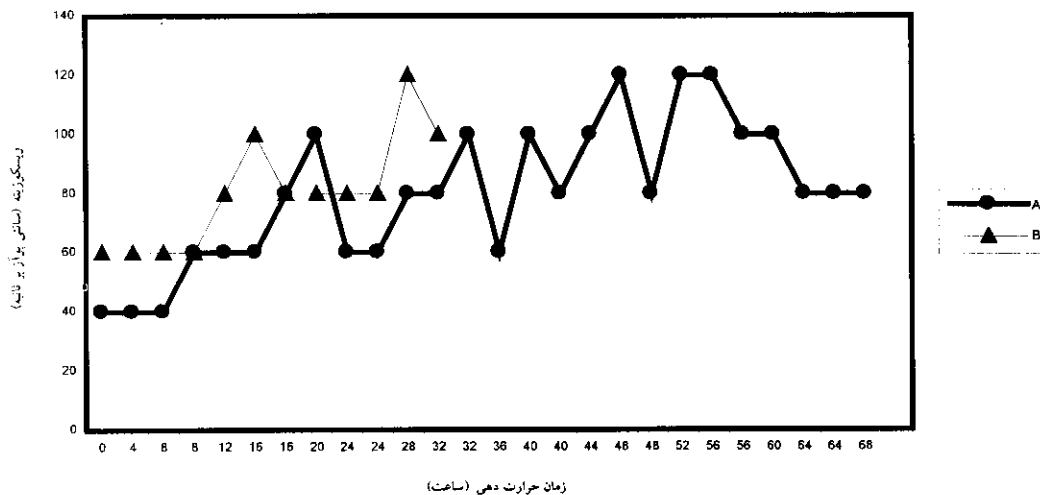
نمودار ۵- تغییرات زمان مقاومت به اکسید شدن نمونه های روغن واحدهای A و B



نمودار ۱-۶- تغییرات رنگ زرد نمونه های روغن واحدهای A و B



نمودار ۲-۶- تغییرات رنگ قرمز نمونه های روغن واحدهای A و B



نمودار ۷- تغییرات ویسکوزیته نمونه های روغن واحدهای A و B

جدول ۱-۱- ترکیب اسید چرب نمونه های روغن واحد A

زمان حرارت دهی (h)	C16:0	C18:0	C18:1*	C18:1**	C18:2***	C18:2****	C18:3	C20:0	C22:0	Others
0	۱۰/۳۰	۵/۷۹	۳۱/۳۵	۱۸/۰۹	۲۰/۱۰	۱۳/۵۲	۰/۵۸	۰/۲۷	-	-
4	۱۰/۴۶	۵/۵۱	۳۱/۶۱	۱۷/۸۸	۲۰/۳۲	۱۳/۴۰	۰/۵۷	۰/۲۵	-	-
12	۱۰/۵۰	۵/۸۰	۳۲/۹۸	۱۶/۷۶	۱۹/۴۰	۱۳/۱۷	۰/۵۱	۰/۳۰	۰/۴۳	۰/۱۵
20	۱۰/۸۲	۶/۲۲	۳۰/۹۴	۱۹/۰۱	۱۹/۱۰	۱۳/۵۲	۰/۳۹	-	-	-
28	۱۰/۹۶	۵/۹۶	۳۱/۹۶	۱۸/۱۳	۱۸/۵۶	۱۳/۶۳	۰/۴۴	-	۰/۳۵	-
36	۱۰/۸۷	۵/۹۵	۳۲/۰۵	۱۸/۲۰	۱۸/۲۹	۱۳/۴۱	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۴۶	-
44	۱۱/۲۱	۶/۰۳	۳۱/۷۰	۱۸/۳۷	۱۷/۹۲	۱۳/۶۰	۰/۴۳	۰/۳۴	۰/۳۹	-
52	۱۰/۹۳	۵/۹۴	۳۱/۹۲	۱۸/۳۹	۱۸/۱۰	۱۳/۶۶	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۲	-
60	۱۰/۹۶	۶/۰۴	۳۱/۷۵	۱۸/۷۷	۱۸/۳۵	۱۳/۸۰	۰/۳۲	-	-	-
68	۱۰/۹۶	۵/۹۶	۳۲/۰۶	۱۸/۴۷	۱۷/۸۹	۱۳/۵۷	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۸	-

جدول ۱-۲- ترکیب اسید چرب نمونه های روغن واحد B

زمان حرارت دهی (h)	C16:0	C18:0	C18:1*	C18:1**	C18:2***	C18:2****	C18:3	C20:0	C22:0	Others
۰	۶/۰۹	۳/۶۱	۲۵/۲۳	-	۶۳/۳۳	-	۰/۷۷	۰/۲۹	۰/۶۸	-
۸	۶/۴۰	۴/۶۲	۲۹/۰۴	۶/۵۹	۴۸/۹۲	۲/۹۹	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۶۸	-
۱۶	۶/۷۲	۴/۹۵	۲۹/۸۴	۶/۸۳	۴۶/۱۲	۳/۹۳	۰/۴۹	۰/۲۵	۰/۷۲	۰/۱۵
۲۴	۶/۵۲	۵/۰۶	۲۹/۷۷	۷/۲۶	۴۵/۵۵	۴/۴۰	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۷۱	-
۳۲	۶/۹۸	۴/۸۴	۲۹/۰۴	۶/۶۳	۴۸/۱۴	۳/۰۲	۰/۵۰	۰/۲۶	۰/۵۹	-

\* Cis 9- Octadecenoic acid (Oleic)

\*\* Trans 9- Octadecenoic acid (Elaidic)

\*\*\* Cis 9,12- Octadecadienoic acid (Linoleic)

\*\*\*\* Trans Isomers of Octadecadienoic acid

#### منابع و مأخذ:

1. Billek, G. 1978. Quality assessment of used frying fats. A comparison of four methods. *Journal of American Oil Chemists' Society* 55: 728-732.
2. Cuesta, C., Sanchez-Muniz, F. J., Garrido-Polonio, C., Lopez-Varela, S. and Arroyo, R. 1993. Thermoxidative and hydrolytic changes in sunflower oil used in fryings with a fast turnover of fresh oil. *Journal of American Oil Chemists' Society*, Vol. 70, no. 11, 1069-1073.
3. Firestone, D. 1994. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, 4 th edn., AOCS Press, Champaign, IL.
4. Firestone, D. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15 th edn., Arlington, USA.
5. Firestone, D., Stire, R. F. and Blumenthal, M. M. 1991. Regulation of frying fats and oils. *Food Technology*, February, 90-94.
6. Gere, A. 1982. Studies of the changes in edible fats during heating and frying. *Die Nahrung*, Vol. 26, no. 10, 923-932.

7. Orthoefer, F. T. and Cooper, D. S. 1996. Evaluation of used frying oil. pp. 285-296, In: E. G. Perkins, and M. D. Erickson (eds). *Deep Frying : Chemistry , Nutrition , and Practical Applications*. AOCS Press.
8. Sanchez-Muniz, F. J., Cuesta, C. and Garrido-Polonio, M. C. 1994. Evaluation of a sunflower oil used for frying by different analytical indexes and column and chromatography. *Z Ernährungswiss* 33: 16-23.
9. Takeoka, G. 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.
10. Tewfic, I. H. M., Ismail, H. M. and Sumar, S. 1998. The effect of intermittent heating on some chemical parameters of refined oils used in Egypt. *National Journal of Food Science and Nutrition* 49: 339-342.
11. Tyagi, V. K. and Vasishtha, A. K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep fat frying. *Journal of American Oil Chemists' Society*, Vol. 73, no. 4, 499-506.
12. White, P. J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. *Food Technology*, February, 75-80.