

## بازسازی روغن استفاده شده در صنعت چپس سیب زمینی

مهرداد قوامی\*

مریم قراچورلو\*\*

### چکیده

طی سرخ کردن عمیق مواد غذایی افت کیفی روغن با افزایش زمان حرارت دهی روی داده و سبب تنزل کیفیت محصول می گردد، لذا بررسی پیرامون بازسازی روغن سرخ کردنی استفاده شده با هدف بهبود کیفیت روغن و محصول انجام شد. بدین منظور جاذب‌هایی چون خاک فعال رنگبری، خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو طی روش‌های A، B، C و D بازسازی مورد استفاده قرار گرفتند و مقادیر اسید چرب آزاد، عدد پراکسید، ترکیب قطبی، ترکیب اسید چرب، عدد یدی، زمان مقاومت به اکسید شدن، رنگ و ویسکوزیته روغن‌های حرارت دیده قبل و بعد از بازسازی ارزیابی گردید. پس از مقایسه روش‌های مختلف بازسازی مشخص شد که روش C (مخلوط خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو) بیشترین کاهش مقادیر اسیدهای چرب آزاد و ترکیبات قطبی را به ترتیب به میزان ۵۹٪ و ۲۱٪ ایجاد نموده و ضمن بهبود سایر فاکتورها مقدار پراکسید و رنگ را نیز به مقدار قابل توجهی کاهش داده است. ضمناً طی دوره بازسازی اسیدهای چرب ترانس حاصل از فرآیند سرخ کردن تقریباً به مقدار ۶٪ کاهش یافت.

واژه های کلیدی: بازسازی روغن، ترکیب اسید چرب، ترکیبات قطبی، خاک فعال رنگبری، خاک فعال سنتز شده، روغن سرخ کردنی، کربن اکتیو

### مقدمه

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

\*- 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

تاریخ دریافت مقاله ۸۱/۳/۲۶ تاریخ دریافت نسخه نهایی ۸۱/۱۲/۲۰

چون هیدرولیز، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون در روغن سرخ کردنی روی می‌دهد که سبب تنزل کیفیت روغن و محصول می‌گردد و می‌تواند اثرات سوئی بر سلامت انسان داشته باشد. از این رو روشهای مختلفی برای بهبود کیفیت روغنهایی که برای سرخ کردن بکار رفته اند، مورد توجه قرار گرفته است که یکی از مهمترین آنها فیلتراسیون فعال می‌باشد.

در سال ۱۹۸۶ تحقیقی پیرامون حذف فرآورده های حاصل از فساد موجود در روغنهای سرخ کردنی با استفاده از نسبتهای مختلف کربن اکتیو و سیلیکا انجام شد و درصد کاهش اندیس اسیدی، اندیس پراکسید، رنگ و ترکیبات قطبی پس از عملکرد جاذب بررسی گردید. نتایج نشان داد که نسبتهای مختلف کربن اکتیو و سیلیکا دارای اثرات مختلفی بر فرآورده های حاصل از فساد موجود در روغن استفاده شده بوده و بالاترین مقادیر جاذبهای بکار رفته موثرتر گزارش گردید. (۴)

همچنین تحقیق گسترده ای در زمینه بازسازی روغنهای سرخ کردنی استفاده شده در سالهای ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ با استفاده از کمک فیلترهای مختلف بطور جداگانه صورت گرفت و مشخص گردید که برخی جاذبها قابلیت جذب انتخابی داشته و هیچ یک بالاترین ظرفیت جذب را برای همه فرآورده های حاصل از فساد روغن سرخ کردنی استفاده شده ندارند. (۵، ۶)

تحقیق دیگری نیز در سال ۱۹۹۷ با استفاده از ۷ کمک فیلتر فعال تجاری انجام شد و ضمن ارزیابی قدرت جذب آنها در مورد اسیدهای چرب آزاد، ترکیبات قطبی، رنگ و ویسکوزیته مشخص گردید که هر جاذب با توجه به ترکیب شیمیایی خاص خود دارای اثرات مختلفی بر کاهش ترکیبات حاصل از فساد روغن سرخ کردنی استفاده شده می‌باشد. (۳)

در مجموع هیچ یک از جاذبهای بکار رفته بالاترین ظرفیت جذب را برای همه فرآورده های حاصل از فساد روغن سرخ کردنی استفاده شده نداشتند. از این رو تحقیق حاضر با هدف بهبود کیفیت روغن و محصول و به دنبال آن تامین سلامت مصرف کننده و کاهش هزینه های مربوط به جایگزینی روغن حرارت دیده با روغن تازه از طریق دستیابی به جاذبی با بالاترین ظرفیت جذب برای همه ترکیبات نامطلوب حاصل از فساد روغن سرخ کردنی انجام شده است.

### روش پژوهش

از روغن مصرفی ۲ کارخانه تولید چپیس سبب زمینی بطور روزانه و بصورت تصادفی نمونه برداری شد. روغن مصرفی واحد A روغن مقاوم 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 می‌شود که در نتایج حاصله بسیار موثر می‌باشد. از

جمله می‌توان به اختلاف در درجه حرارت اشاره نمود که در واحد A سرخ کردن حداکثر در  $160^{\circ}\text{C}$  و در واحد B حداکثر در  $185^{\circ}\text{C}$  انجام می‌گیرد. همچنین افزودن روغن تازه به سرخ کن در واحد A بصورت ناپیوسته و در واحد B بصورت مداوم همزمان با کاهش سطح روغن انجام می‌شود. 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 می‌شود در حالیکه در واحد A سرد شدن روغن بطور تدریجی و با توقف حرارت دهی انجام می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از آزمونهای فیزیکی و شیمیایی ارزیابی کیفیت، جهت بازسازی روغن سرخ کردنی مصرف شده از واحد A، نمونه هایی که ۴ ساعت در روز حرارت دیده اند، از روز چهارم تا نهم (K, N, Q, T, W, Z) و به عبارت بهتر نمونه هایی که در مجموع ۲۸، ۳۶، ۴۴، ۵۲، ۶۰ و ۶۸ ساعت حرارت دیده اند و از واحد B نمونه روز چهارم (I') که ۸ ساعت در روز و در مجموع ۳۲ ساعت حرارت دیده بود، انتخاب گردیدند و ۳ جاذب خاک فعال رنگبری، خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو طی ۴ روش مختلف A، B، C و D مورد استفاده قرار گرفتند. ترکیب جاذبهای بکار رفته در جدول ۱ مشخص گردیده است.

در روش A، ۵ درصد وزن روغن خاک فعال رنگبری، در روش B، ۵ درصد وزن روغن خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه، در روش C، ۱۰ درصد وزن روغن مخلوط خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو به نسبت ۱:۱ و در روش D، ۱۰ درصد وزن روغن مخلوط خاک فعال رنگبری و کربن اکتیو به نسبت ۱:۱ مورد استفاده قرار گرفت و نقش آنها در بهبود کیفیت روغن سرخ کردنی مصرف شده ارزیابی گردید.

نحوه عمل بدین ترتیب بود که در هر روش متناسب با مقدار روغن مورد استفاده، مقدار مشخص جاذبهای مذکور به روغن افزوده شد. اختلاط روغن و جاذب توسط همزن مغناطیسی بطور کامل صورت گرفت و حرارت دهی در  $110^{\circ}\text{C}$  به مدت نیم ساعت تحت خلاء ۹ mmHg انجام شد. پس از طی مدت مذکور حرارت دهی متوقف گشته و سیستم به مدت ۳۰ دقیقه به حال خود رها شد. سپس فیلتراسیون روغن حداقل ۲ مرتبه تا شفاف شدن کامل روغن صورت گرفت.

مقادیر اسید چرب آزاد، عدد پراکسید و ترکیب قطبی با ۳ تکرار همچنین ترکیب اسید چرب، عدد یدی، زمان مقاومت به اکسید شدن، رنگ و ویسکوزیته روغنهای حرارت دیده قبل و

بعد از بازسازی ارزیابی گردید. بدین منظور از استانداردهای انجمن شیمیدانان روغن آمریکا (AOCS) (۱) و انجمن رسمی شیمی تجزیه (AOAC) (۲) استفاده شد. ضمناً کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده جهت تعیین شاخصهای 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 AOAC با شماره ۹۴۰/۲۸ اندازه گیری شد.

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

عدد پراکسید به روش یدومتری 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 tar 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 ۹۱ - ۱۰ Ce استفاده شد. بطوریکه درجه حرارت محل تزریق نمونه  $230^{\circ}\text{C}$ ، درجه حرارت برنامه ریزی شده ستون  $220^{\circ}\text{C}$  -  $160^{\circ}\text{C}$ ، درجه حرارت آشکار کننده  $250^{\circ}\text{C}$ ، سرعت جریان گاز حامل (نیترژن) ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه، فشار ۱۰ PSI، حساسیت دستگاه ۴، سرعت چرخش کاغذ ۱ سانتیمتر بر دقیقه و مقدار تزریق نمونه ۰/۸ میکرولیتر بود.

عدد یدی بر اساس استاندارد AOCS با شماره ۸۵ - ۱۰ Cd مستقیماً با استفاده از ترکیب اسید چرب روغن مورد محاسبه قرار گرفت.

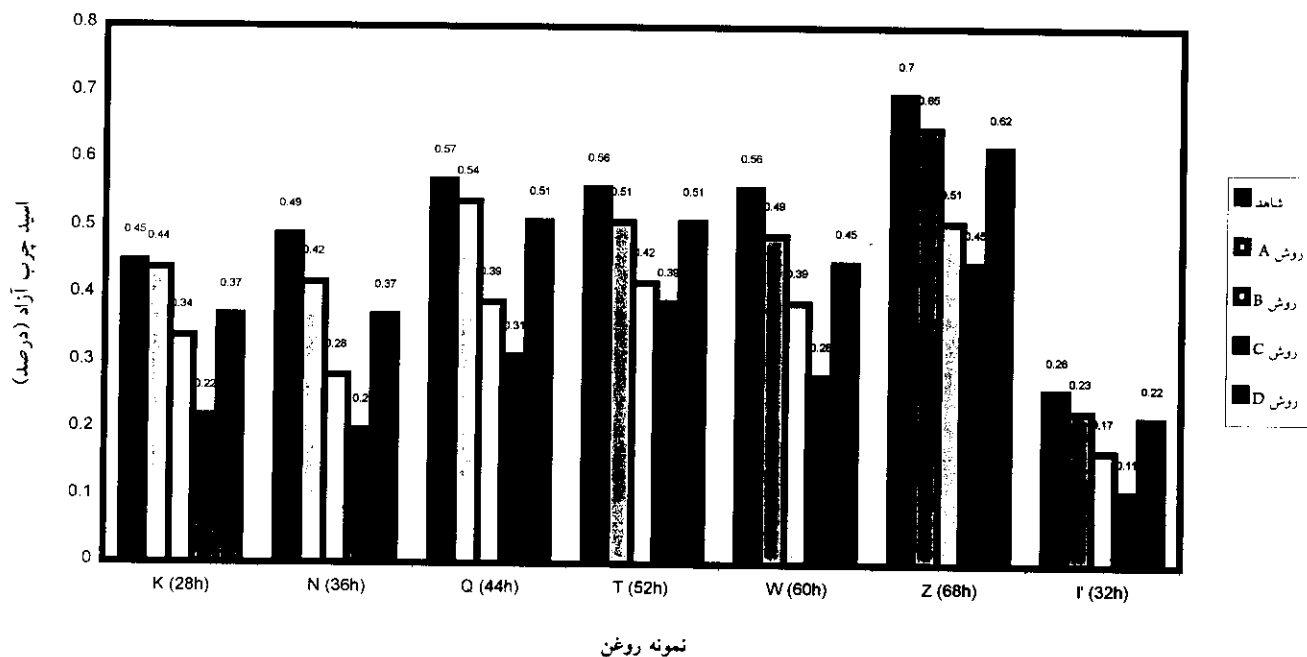
زمان مقاومت به اکسید شدن با استفاده از دستگاه رنسیمت مدل Metrohm 743 در درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$  و با جریان هوای ۲۰ لیتر بر ساعت ارزیابی شد.

رنگ با استفاده از دستگاه لایو باند Tintometer مدل F و مطابق با استاندارد AOCS با شماره ۹۲ - ۱۳۰ Cc ارزیابی گردید.

ویسکوزیته بر اساس استاندارد AOCS با شماره ۸۷ - ۱۰ Ja 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 دور در دقیقه صورت گرفت.

## نتایج و بحث

نمودار ۱ تغییرات درصد اسید چرب آزاد نمونه های روغن بازسازی شده را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود درصد اسید چرب آزاد با استفاده از هر ۴ روش A، B، C و D بازسازی در مورد هر ۷ نمونه روغن مورد آزمون نسبت به شاهد کاهش یافته است که با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس از لحاظ آماری کاملا معنی دار می باشد. ضمنا مقایسه میانگین های ۴ روش

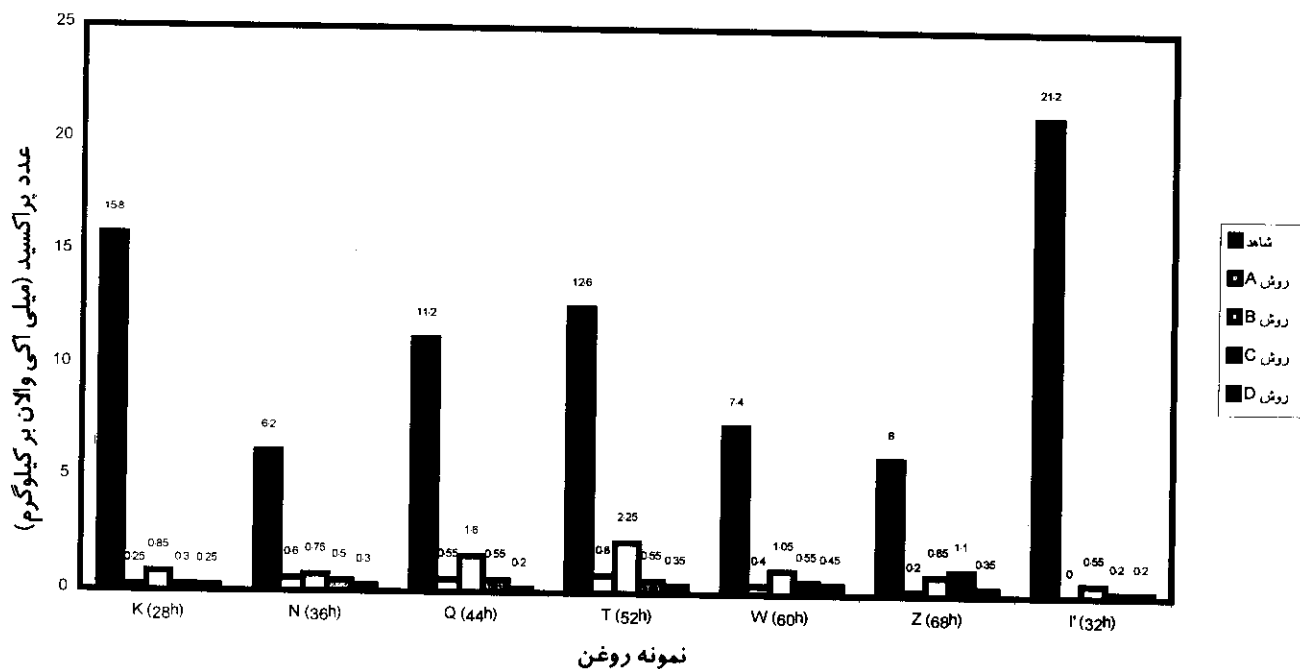


نمودار ۱: تغییرات درصد اسید چرب آزاد نمونه های روغن بازسازی شده

بازسازی با میانگین شاهد نشان می دهد که در تمام نمونه ها تفاوت معنی داری بین ۴ روش بازسازی و شاهد وجود دارد. با وجود یکسان بودن کلیه شرایط بازسازی، درصد کاهش در روشهای مختلف بازسازی متفاوت می باشد. به طوری که روش C (مخلوط خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو) در هر ۷ نمونه روغن مورد آزمون بیشترین کاهش درصد اسید چرب آزاد را (حداکثر ۵۹٪)

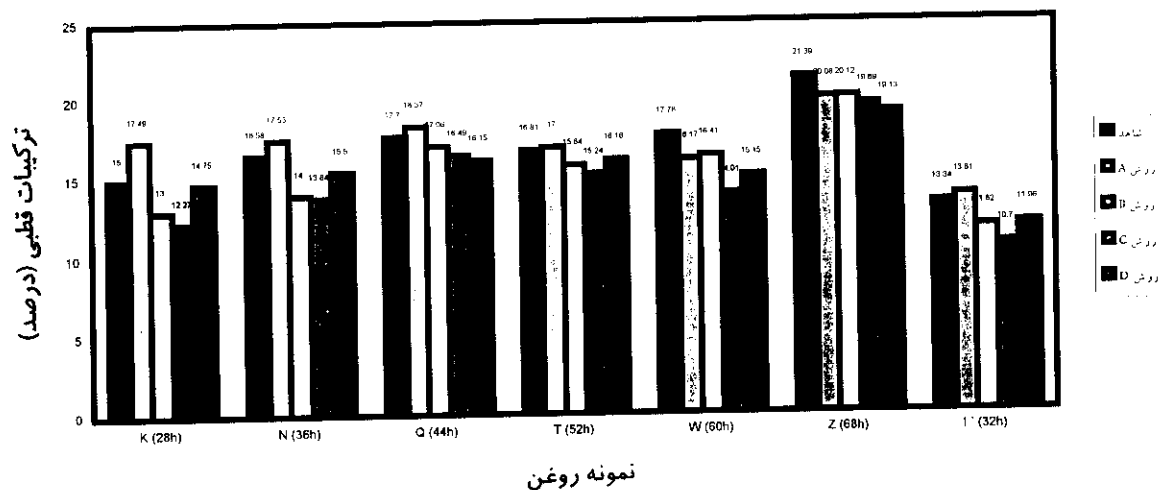
ایجاد نموده است. تغییرات درصد کاهش اسید چرب آزاد که در هر یک از ۴ روش بازسازی بکاررفته، در ۷ نمونه روغن بازسازی شده مشاهده می‌گردد، به نوع روغن مورد آزمون، مدت زمان حرارت دهی آن و ترکیباتی که در نتیجه واکنش‌های شیمیایی مختلف چون اکسیداسیون و پلیمریزاسیون طی فرآیند سرخ کردن در آن بوجود آمده اند و بالطبع تغییراتی را در ترکیب شیمیایی نمونه روغن مورد آزمون بوجود آورده اند، بستگی دارد. با توجه به نمودار ۱ ملاحظه می‌شود که نقش خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه در کاهش درصد اسید چرب آزاد موثرتر از خاک فعال رنگبری مورد استفاده بوده است. که می‌تواند دلیل درصد بیشتر اکسید منیزیم در ترکیب خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه باشد و از طرف دیگر با توجه به نتایج بدست آمده احتمالاً عامل موثر در کاهش بیشتر درصد اسید چرب آزاد، کربن اکتیو می‌باشد. بطوریکه با مقایسه ۲ روش B و C، همچنین روشهای A و D بازسازی مشخص می‌گردد که با حضور کربن اکتیو حداکثر درصد کاهش اسید چرب آزاد به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. که احتمالاً بدلیل ساختار فیزیکی و شیمیایی خاص آن و خصوصاً سطح زیاد آن می‌باشد.

با توجه به نمودار ۲ که تغییرات عدد پراکسید نمونه های روغن بازسازی شده را نشان می‌دهد، در هر ۴ روش مورد استفاده برای بازسازی، کاهش عدد پراکسید صورت گرفته که با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس از لحاظ آماری معنی دار می‌باشد. مقایسه میانگین های ۴ روش بازسازی با میانگین شاهد نیز تفاوت معنی داری در تمام نمونه‌ها بین ۴ روش بازسازی و شاهد نشان داده است. نوسانات جزئی درصد کاهش عدد پراکسید که در نمونه های مختلف در هر یک از ۴ روش بازسازی مشاهده می‌گردد به تفاوت در مدت زمان حرارت دهی نمونه های روغن مورد آزمون و تغییرات ناشی از واکنشهای شیمیایی مختلف و خصوصاً وجود برخی فرآورده های حاصل از واکنش اکسیداسیون در روغن وابسته می‌باشد. اگر چه درصد کاهش عدد پراکسید در هر ۴ روش بازسازی تقریباً یکسان می‌باشد، خاک فعال رنگبری نسبت به خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه کاهش بیشتر عدد پراکسید را ایجاد نموده و خصوصاً در روشهای C و D که از ترکیب این خاک‌ها با کربن اکتیو استفاده گردیده است، درصد کاهش عدد پراکسید بیشتر می‌باشد. البته باید توجه داشت که امکان کاهش بخشی از پراکسید بعلت شکست آن در درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$  که در فرآیند بازسازی مورد استفاده قرار گرفته است وجود دارد.



نمودار ۲: تغییرات عدد پراکسید نمونه های روغن بازسازی شده

نمودار ۳ تغییرات درصد ترکیبات قطبی نمونه های روغن بازسازی شده را نشان می دهد. روش A بازسازی در اکثر نمونه های مورد آزمون نه تنها کاهش در درصد ترکیبات قطبی ایجاد نکرده بلکه درصد ترکیبات قطبی را افزایش داده است. با توجه به اینکه در این روش از خاک فعال رنگبری استفاده شده است، احتمال اینکه این ترکیب در شرایط آزمون (درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$ ) تشدید کننده تولید ترکیبات قطبی باشد وجود دارد. در عین حال در روش D که از خاک فعال رنگبری همراه با کربن اکتیو استفاده شده است، کاهش درصد ترکیبات قطبی مشاهده می شود که نشان دهنده نقش موثر کربن اکتیو در جذب ترکیبات قطبی می باشد که نه تنها از افزایش درصد ترکیبات قطبی در نتیجه عملکرد خاک فعال رنگبری جلوگیری نموده بلکه سبب کاهش درصد ترکیبات قطبی نیز گشته است.

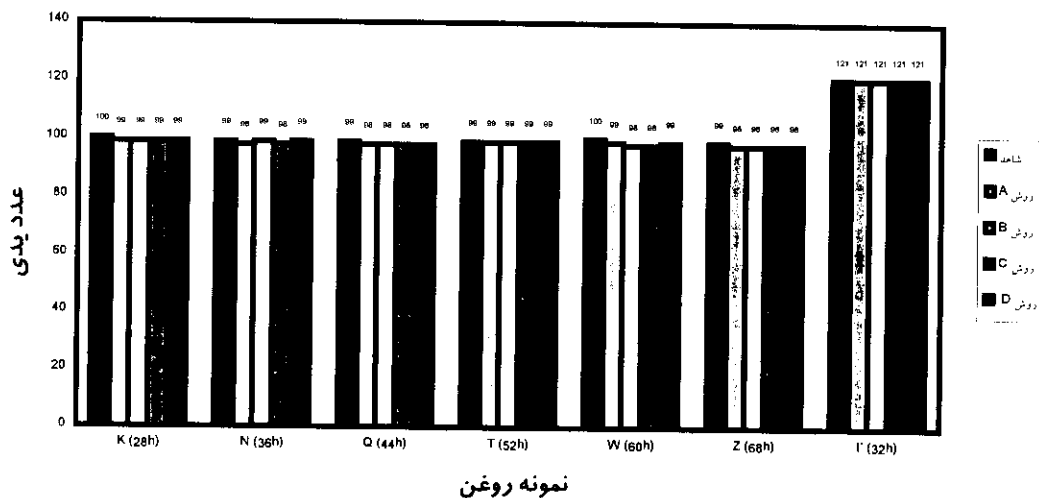


نمودار ۳: تغییرات درصد ترکیبات قطبی نمونه های روغن بازسازی شده

از طرف دیگر در روش C که از مخلوط خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو استفاده شده است حداکثر کاهش درصد ترکیبات قطبی به میزان ۲۱٪ ایجاد گشته است. با توجه به نتایج حاصل مشخص می گردد که نقش خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه نسبت به خاک فعال رنگبری در کاهش درصد ترکیبات قطبی موثرتر بوده است که می تواند در نتیجه تفاوت در ترکیب ۲ خاک فعال مورد استفاده و خصوصا درصد بالاتر اکسید منیزیم در خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه باشد و از طرف دیگر با مقایسه نتایج روشهای B و C تاثیر نقش کربن اکتیو در کاهش درصد ترکیبات قطبی که با مقایسه نتایج حاصل از روشهای A و D بدست آمده بود، مجددا تایید می گردد. بطوریکه با افزودن کربن اکتیو به خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه حداکثر درصد کاهش ترکیبات قطبی ۳۶ درصد افزایش یافته است.

تغییرات ترکیب اسید چرب نمونه های روغن بازسازی شده در جدول ۲ نشان داده شده است. طی هر ۴ روش A، B، C و D بازسازی تغییرات جزئی در ترکیب اسیدهای چرب نمونه های مورد آزمون ایجاد گردیده و اسیدهای چرب ترانس حاصل از فرآیند سرخ کردن تقریبا به مقدار ۶٪ کاهش یافته است که احتمالا به دلیل شرایط فرآیند بازسازی و استفاده از جاذبه های مختلف می باشد و در مجموع کیفیت بهتر روغن بازسازی شده را نشان می دهد.





نمودار ۴: تغییرات عدد یدی نمونه‌های روغن بازسازی شده

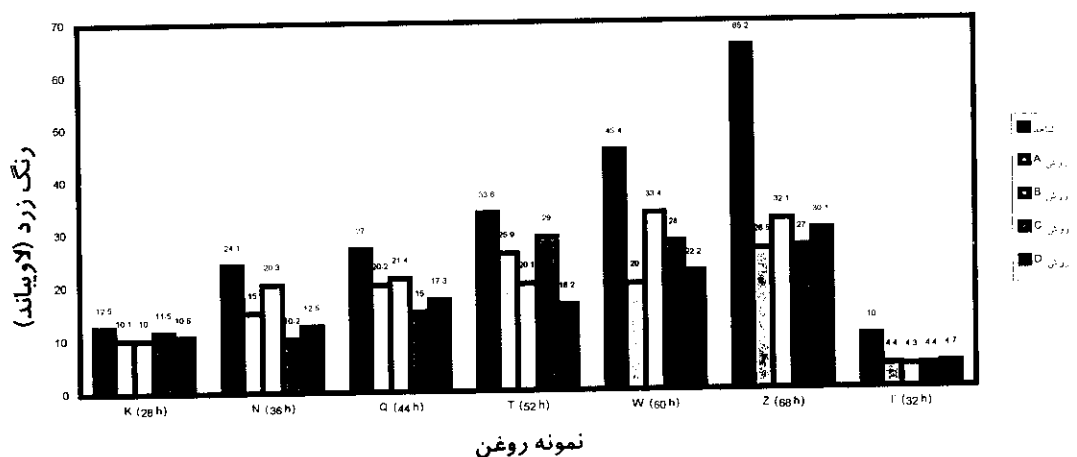
تغییرات عدد یدی نمونه‌های روغن بازسازی شده در نمودار ۴ نشان داده شده است. عدد یدی در برخی نمونه‌های روغن بازسازی شده ثابت مانده و در برخی دیگر ۱-۲ درصد کاهش نسبت به شاهد نشان می‌دهد.

عدد یدی بر اساس ترکیب اسید چرب نمونه روغن و بر مبنای اسیدهای چرب غیراشباع آن محاسبه می‌گردد. از این رو تغییرات ناچیزی که طی فرآیند بازسازی در درصد اسیدهای چرب غیراشباع روغن ایجاد گردیده است، کاهش جزئی عدد یدی را در برخی نمونه‌های روغن بازسازی شده ایجاد نموده است.

جدول ۳ تغییرات زمان مقاومت به اکسید شدن نمونه‌های روغن بازسازی شده در درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهد. زمان پایداری نمونه‌های روغن بازسازی شده در چند نمونه آن هم به مقدار جزئی افزایش یافته است. کاهش زمان مقاومت به اکسید شدن که در اکثر نمونه‌های بازسازی شده ملاحظه می‌شود به این دلیل می‌باشد که آنتی‌اکسیدان‌های موجود در روغن طی فرآیند سرخ کردن از بین رفته و زمان مقاومت به اکسید شدن با افزایش مدت حرارت دهی کاهش یافته است. طی بازسازی نیز از درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$  استفاده گردیده است. اگر چه

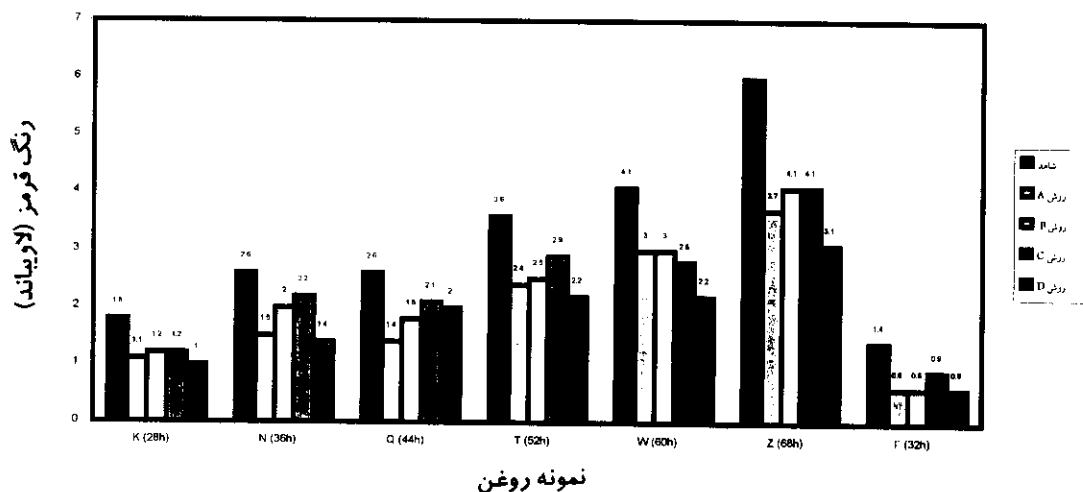
بازسازی تحت خلا انجام شده است ولی عدم حضور آنتی اکسیدان در روغن و احتمالاً وجود برخی محصولات حاصل از واکنش اکسیداسیون و از طرف دیگر درجه حرارت بکاررفته در این فرآیند ( $110^{\circ}\text{C}$ ) سبب کاهش زمان مقاومت به اکسید شدن نمونه های روغن بازسازی شده، گردیده است. البته لازم به ذکر است که افزایش و کاهشهای ایجاد شده در زمان پایداری نمونه های روغن بازسازی شده نسبت به نمونه شاهد آن هم در حد  $0/77 - 0/05$  ساعت که در نتایج موجود مشاهده می گردد در مورد زمان مقاومت به اکسید شدن روغن چندان قابل توجه نمی باشد. در هر حال با توجه به نتایج ارائه شده، روش A که از خاک فعال رنگبری استفاده شده و پس از آن روش B که از خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه استفاده گردیده است جهت بازسازی ترجیح داده می شوند.

نمودارهای ۵ و ۶ تغییرات رنگ زرد و قرمز نمونه های روغن بازسازی شده را نشان می دهند. هم رنگ زرد و هم رنگ قرمز هر ۷ نمونه روغن مورد آزمون توسط هر ۴ روش A، B، C و D بازسازی کاهش یافته است. با مقایسه ۲ روش A و B بازسازی مشخص می گردد که استفاده از خاک فعال رنگبری در زمینه کاهش رنگ کمی موثرتر از خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه بوده است. مقایسه ۲ روش A و D بازسازی نیز نشان می دهد که درصد کاهش رنگ زرد و قرمز با افزودن



نمودار ۵: تغییرات رنگ زرد نمونه های روغن بازسازی شده

کربن اکتیو به جاذب مورد استفاده که خاک فعال رنگبری می‌باشد تغییر چندانی نداشته است در صورتیکه مقایسه ۲ روش B و C نشان می‌دهد که افزودن کربن اکتیو به خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه درصد کاهش رنگ روغن را کاهش داده است. لذا در مجموع می‌توان گفت که بهترین نتیجه در مورد کاهش رنگ روغن با استفاده از روش A که از خاک فعال رنگبری استفاده شده است و نیز روش D که از مخلوط خاک فعال رنگبری و کربن اکتیو استفاده گردیده است، بدست آمده است. از طرف دیگر با توجه به نمودارهای ۵ و ۶ مشخص می‌گردد که هر ۴ روش A، B، C و D بازسازی در مورد کاهش رنگ ۲ نمونه K و ۱ که به ترتیب نمونه روز چهارم واحد A (۲۸ ساعت حرارت دهی) و نمونه روز چهارم واحد B (۳۲ ساعت حرارت دهی) می‌باشند تقریباً یکسان عمل کرده اند و حتی در اکثر موارد بالاترین درصد کاهش رنگ در این ۲ نمونه ایجاد گردیده است. لذا این احتمال وجود دارد که در سایر نمونه ها که مدت طولانی تری حرارت دیده اند، فرآورده‌های حاصل از واکنش‌های مختلف ایجاد شده در روغن، از حداکثر فعالیت جاذب‌های مورد استفاده ممانعت نموده باشند. از این رو در مواردی که بازسازی روغن سرخ کردنی مورد نظر می‌باشد بهتر است روغن مورد استفاده بیش از حد حرارت نبیند تا نتایج مطلوبتری از فرآیند بازسازی بدست آید.



نمودار ۶: تغییرات رنگ قرمز نمونه های روغن بازسازی شده

تغییرات ویسکوزیته نمونه های روغن بازسازی شده (جدول ۴) نشان دهنده کاهش درصد ترکیبات با وزن مولکولی بالا که عامل افزایش ویسکوزیته و چسبندگی روغن هستند می باشد. با توجه به اینکه ویسکوزیته تمامی نمونه های روغن مورد آزمون در درجه حرارت  $25^{\circ}\text{C}$  اندازه گیری شده است و شرایط بازسازی برای هر ۷ نمونه روغن و در هر ۴ روش بازسازی یکسان بوده است، تفاوت در نتایج حاصل از عملکرد جاذب های بکار رفته جهت بازسازی روغن می تواند بدلیل اختلاف در نوع روغن و مدت زمان حرارت دهی نمونه های روغن مورد آزمون باشد زیرا نمونه های روغنی که جهت بازسازی مورد استفاده قرار گرفته اند نمونه هایی هستند که برای زمانهای مختلف از ۲۸ تا ۶۸ ساعت حرارت دیده اند و در نتیجه واکنش های شیمیایی مختلف چون اکسیداسیون، پلیمریزاسیون و هیدرولیز، فرآورده های حاصل از تجزیه روغن تشکیل گردیده و از این رو تغییراتی در ترکیب روغنهای مورد آزمون بوجود آمده است که احتمالاً سبب ایجاد اختلافاتی در نتایج حاصل از بازسازی گردیده است.

### نتیجه گیری

پس از بازسازی نمونه های روغن استفاده شده برای سرخ کردن طی ۴ روش A، B، C و D نتایج حاصل از آزمونهای فیزیکی و شیمیایی نشان دادند روش C که در آن از خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو استفاده شده است درصد اسید چرب آزاد و ترکیبات قطبی را بیش از سایر روشها کاهش داده است که در مقایسه با روش D که از خاک فعال رنگبری و کربن اکتیو استفاده شده است می تواند به دلیل داشتن درصد بالاتر اکسید منیزیم و در مقایسه با روشهای A و B که به ترتیب از خاک فعال رنگبری و خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه استفاده گردیده است می تواند بدلیل حضور کربن اکتیو در ترکیب جاذب و خصوصاً ساختار فیزیکی و شیمیایی آن که قدرت جذب بیشتری به آن می بخشد باشد. هر ۴ روش بازسازی کاهش قابل توجه عدد پراکسید نمونه های روغن مورد آزمون را سبب شده اند، هر چند روشهای A و D در این مورد کمی موثرتر از ۲ روش دیگر بوده اند. البته امکان کاهش بخشی از پراکسید بعلت شکست آن در درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$  که در فرآیند بازسازی مورد استفاده قرار گرفته است وجود دارد. اگر چه کاهش رنگ روغن با استفاده از روش C بازسازی نسبت به دیگر روشهای بازسازی مورد استفاده در

حداکثر نمی‌باشد ولی این روش قادر است ضمن بهبود سایر فاکتورها کاهش رنگ را نیز در حد قابل توجهی ایجاد نماید.

در مجموع 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 زمانیکه شاخصهای کیفی روغن خارج از حد استاندارد بوده و دلالت بر افت کیفی روغن می‌نمایند اقدامات لازم جهت بازسازی روغن سرخ کردنی صورت گیرد و در این زمینه نیز استفاده از جاذبی با ترکیب خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه و کربن اکتیو (روش C بازسازی) می‌تواند در نیل به اهداف بازسازی که مهمتر از همه ارتقاء کیفیت روغن سرخ کردنی مصرف شده و نزدیک گرداندن شاخصهای کیفی آن به حدود استاندارد می‌باشد موثر واقع گردد.

جدول ۱- ترکیب جاذبهای مورد استفاده

| نوع جاذب                       | ترکیب                          |          |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|
| خاک فعال رنگبری تجاری          | SiO <sub>2</sub>               | 68 ± 2 % |
|                                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13 ± 2 % |
|                                | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4 ± 2 %  |
|                                | MgO                            | 3 ± 1 %  |
|                                | CaO                            | 2 ± 1 %  |
| خاک فعال سنتز شده در آزمایشگاه | SiO <sub>2</sub>               | 56 ± 2 % |
|                                | MgO                            | 19 ± 1 % |
|                                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11 ± 2 % |
|                                | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3 ± 2 %  |
|                                | CaO                            | 2 ± 1 %  |

جدول ۲ - ترکیب اسید چرب نمونه های روغن بازسازی شده

| نمونه    | C16:0 | C18:0 | C18:1* | C18:1** | C18:2*** | C18:2**** | C18:3 | C20:0 | C22:0 | Others |
|----------|-------|-------|--------|---------|----------|-----------|-------|-------|-------|--------|
| K(شاهد)  | ۱۰/۹۶ | ۵/۹۶  | ۳۱/۹۶  | ۱۸/۱۳   | ۱۸/۵۶    | ۱۳/۶۳     | ۰/۴۴  | -     | ۰/۳۵  | -      |
| KA       | ۱۰/۹۰ | ۵/۹۵  | ۳۱/۸۳  | ۱۸/۲۰   | ۱۸/۳۷    | ۱۳/۳۸     | ۰/۴۵  | ۰/۳۲  | ۰/۴۰  | ۰/۳۰   |
| KB       | ۱۰/۹۹ | ۵/۹۷  | ۳۱/۶۱  | ۱۸/۳۱   | ۱۸/۳۳    | ۱۳/۴۳     | ۰/۴۴  | ۰/۳۳  | ۰/۴۱  | ۰/۱۸   |
| KC       | ۱۰/۹۸ | ۵/۹۳  | ۳۱/۸۸  | ۱۸/۳۰   | ۱۸/۴۵    | ۱۳/۳۶     | ۰/۴۴  | ۰/۲۶  | ۰/۴۰  | -      |
| KD       | ۱۰/۸۸ | ۵/۹۷  | ۳۲/۰۱  | ۱۸/۰۵   | ۱۸/۲۵    | ۱۳/۳۲     | ۰/۴۵  | ۰/۳۲  | ۰/۴۱  | ۰/۳۴   |
| N(شاهد)  | ۱۰/۸۷ | ۵/۹۵  | ۳۲/۰۵  | ۱۸/۲۰   | ۱۸/۲۹    | ۱۳/۴۱     | ۰/۴۵  | ۰/۳۲  | ۰/۴۶  | -      |
| NA       | ۱۰/۷۸ | ۵/۹۹  | ۳۲/۱۱  | ۱۷/۸۶   | ۱۸/۳۴    | ۱۲/۹۰     | ۰/۴۹  | ۰/۴۸  | ۰/۵۲  | ۰/۵۳   |
| NB       | ۱۰/۹۳ | ۵/۹۹  | ۳۲/۳۴  | ۱۷/۷۷   | ۱۸/۲۰    | ۱۳/۲۵     | ۰/۴۶  | ۰/۲۹  | ۰/۴۳  | ۰/۳۴   |
| NC       | ۱۰/۶۸ | ۵/۸۸  | ۳۲/۲۵  | ۱۷/۸۰   | ۱۸/۳۸    | ۱۲/۹۳     | ۰/۴۶  | ۰/۵۱  | ۰/۴۹  | ۰/۶۲   |
| ND       | ۱۰/۸۴ | ۵/۹۲  | ۳۲/۱۹  | ۱۸/۱۱   | ۱۸/۲۷    | ۱۳/۲۶     | ۰/۴۵  | ۰/۳۲  | ۰/۴۳  | ۰/۲۱   |
| Q(شاهد)  | ۱۱/۲۱ | ۶/۰۳  | ۳۱/۷۰  | ۱۸/۳۷   | ۱۷/۹۲    | ۱۳/۶۰     | ۰/۴۳  | ۰/۳۴  | ۰/۳۹  | -      |
| QA       | ۱۱/۱۳ | ۶/۱۰  | ۳۳/۱۵  | ۱۷/۱۲   | ۱۷/۸۳    | ۱۳/۰۱     | ۰/۴۱  | ۰/۳۲  | ۰/۴۵  | ۰/۴۸   |
| QB       | ۱۱/۰۰ | ۶/۱۲  | ۳۳/۱۸  | ۱۷/۳۱   | ۱۷/۸۶    | ۱۳/۰۷     | ۰/۴۰  | ۰/۳۱  | ۰/۴۳  | ۰/۳۶   |
| QC       | ۱۰/۹۳ | ۵/۹۸  | ۳۳/۲۶  | ۱۷/۲۳   | ۱۷/۸۵    | ۱۲/۹۸     | ۰/۴۳  | ۰/۳۶  | ۰/۴۸  | ۰/۵۰   |
| QD       | ۱۱/۰۸ | ۵/۹۷  | ۳۳/۲۰  | ۱۷/۴۲   | ۱۷/۷۸    | ۱۳/۲۳     | ۰/۴۰  | ۰/۳۲  | ۰/۴۳  | ۰/۱۷   |
| T(شاهد)  | ۱۰/۹۳ | ۵/۹۴  | ۳۱/۹۲  | ۱۸/۳۹   | ۱۸/۱۰    | ۱۳/۶۶     | ۰/۴۳  | ۰/۳۰  | ۰/۳۲  | -      |
| TA       | ۱۱/۰۰ | ۵/۹۰  | ۳۱/۸۱  | ۱۸/۴۱   | ۱۸/۱۰    | ۱۳/۵۱     | ۰/۴۵  | ۰/۳۰  | ۰/۳۴  | ۰/۱۸   |
| TB       | ۱۱/۱۵ | ۵/۸۶  | ۳۱/۹۸  | ۱۸/۲۲   | ۱۸/۱۳    | ۱۳/۵۱     | ۰/۴۴  | ۰/۳۲  | ۰/۳۹  | -      |
| TC       | ۱۱/۰۰ | ۵/۹۰  | ۳۲/۲۴  | ۱۸/۲۱   | ۱۸/۰۷    | ۱۳/۵۲     | ۰/۳۹  | ۰/۳۱  | ۰/۳۶  | -      |
| TD       | ۱۱/۱۰ | ۵/۸۷  | ۳۲/۶۰  | ۱۷/۷۲   | ۱۷/۹۴    | ۱۳/۵۲     | ۰/۴۳  | ۰/۲۹  | ۰/۳۴  | ۰/۱۹   |
| W(شاهد)  | ۱۰/۹۶ | ۶/۰۴  | ۳۱/۷۵  | ۱۸/۷۷   | ۱۸/۳۵    | ۱۳/۸۰     | ۰/۳۲  | -     | -     | -      |
| WA       | ۱۱/۰۳ | ۵/۹۸  | ۳۲/۰۷  | ۱۸/۱۵   | ۱۸/۱۱    | ۱۳/۳۱     | ۰/۴۳  | ۰/۳۲  | ۰/۴۲  | ۰/۱۸   |
| WB       | ۱۰/۸۵ | ۵/۸۹  | ۳۱/۸۴  | ۱۸/۳۲   | ۱۸/۱۶    | ۱۳/۱۴     | ۰/۴۲  | ۰/۳۷  | ۰/۴۳  | ۰/۵۸   |
| WC       | ۱۱/۰۱ | ۵/۹۰  | ۳۱/۴۹  | ۱۸/۶۱   | ۱۷/۲۶    | ۱۴/۳۲     | ۰/۴۶  | -     | -     | ۰/۹۵   |
| WD       | ۱۱/۱۶ | ۵/۹۱  | ۳۱/۶۲  | ۱۸/۵۴   | ۱۸/۱۹    | ۱۳/۵۶     | ۰/۳۷  | ۰/۳۳  | ۰/۳۱  | -      |
| Z(شاهد)  | ۱۰/۹۶ | ۵/۹۶  | ۳۲/۰۶  | ۱۸/۴۷   | ۱۷/۸۹    | ۱۳/۵۷     | ۰/۳۶  | ۰/۳۵  | ۰/۳۸  | -      |
| ZA       | ۱۱/۱۱ | ۶/۱۴  | ۳۲/۱۰  | ۱۸/۲۱   | ۱۷/۸۳    | ۱۳/۳۷     | ۰/۴۵  | ۰/۲۹  | ۰/۴۱  | ۰/۱۹   |
| ZB       | ۱۱/۲۹ | ۵/۹۹  | ۳۲/۰۱  | ۱۸/۴۶   | ۱۷/۷۸    | ۱۳/۳۷     | ۰/۴۲  | ۰/۳۳  | ۰/۳۵  | -      |
| ZC       | ۱۱/۲۲ | ۶/۱۱  | ۳۱/۹۶  | ۱۸/۲۸   | ۱۷/۶۴    | ۱۳/۳۲     | ۰/۴۱  | ۰/۳۶  | ۰/۳۹  | ۰/۳۱   |
| ZD       | ۱۱/۰۹ | ۶/۰۷  | ۳۲/۶۹  | ۱۷/۸۳   | ۱۷/۶۲    | ۱۳/۱۱     | ۰/۴۱  | ۰/۳۲  | ۰/۴۳  | ۰/۴۳   |
| L'(شاهد) | ۶/۹۸  | ۴/۸۴  | ۲۹/۰۴  | ۶/۶۳    | ۴۸/۱۴    | ۳/۰۲      | ۰/۵۰  | ۰/۲۶  | ۰/۵۹  | -      |
| L'A      | ۶/۵۶  | ۴/۸۵  | ۲۹/۶۵  | ۶/۲۰    | ۴۷/۲۱    | ۳/۹۶      | ۰/۵۰  | ۰/۲۵  | ۰/۶۶  | ۰/۱۶   |
| L'B      | ۶/۴۷  | ۴/۹۱  | ۲۹/۰۹  | ۶/۸۵    | ۴۷/۰۹    | ۳/۹۵      | ۰/۵۲  | ۰/۲۶  | ۰/۶۸  | ۰/۱۸   |
| L'C      | ۶/۵۷  | ۴/۹۰  | ۲۹/۶۲  | ۶/۳۲    | ۴۷/۰۰    | ۴/۰۶      | ۰/۴۸  | ۰/۲۵  | ۰/۶۴  | ۰/۱۶   |
| L'D      | ۶/۵۹  | ۴/۹۵  | ۲۹/۶۶  | ۶/۵۸    | ۴۷/۰۰    | ۴/۱۶      | ۰/۴۸  | ۰/۱۹  | ۰/۵۹  | -      |

\* Cis 9- Octadecenoic acid (Oleic)  
 \*\* Trans 9- Octadecenoic acid (Elaidic)  
 \*\*\* Cis 9,12- Octadecadienoic acid (Linoleic)  
 \*\*\*\* Trans Isomers of Octadecadienoic acid

جدول ۳ - تغییرات زمان مقاومت به اکسید شدن نمونه‌های روغن بازسازی شده در درجه حرارت  $110^{\circ}\text{C}$ 

| زمان مقاومت به اکسید شدن در $110^{\circ}\text{C}$ |       |       |       |      | زمان حرارت<br>دهی (ساعت) | نمونه |
|---|-------|-------|-------|------|--------------------------|-------|
| روش D   | روش C | روش B | روش A | شاهد |                          |       |
| ۰/۴۴  | ۰/۲۷  | ۰/۳۴  | ۰/۸۰  | ۰/۳۸ | ۲۸                       | K     |
| ۱/۳۰  | ۰/۶۴  | ۱/۰۵  | ۱/۷۴  | ۱/۷۲ | ۳۶                       | N     |
| ۰/۶۰  | ۰/۳۰  | ۰/۶۶  | ۱/۰۰  | ۰/۷۶ | ۴۴                       | Q     |
| ۱/۱۱  | ۰/۲۷  | ۱/۲۸  | ۱/۲۴  | ۱/۷۲ | ۵۲                       | T     |
| ۲/۱۲  | ۱/۱۰  | ۲/۳۶  | ۲/۳۷  | ۲/۳۰ | ۶۰                       | W     |
| ۱/۱۳  | ۰/۶۰  | ۱/۳۲  | ۱/۷۵  | ۱/۹۰ | ۶۸                       | Z     |
| ۲/۵۲  | ۱/۷۶  | ۲/۵۵  | ۲/۴۵  | ۲/۴۰ | ۳۲                       | L'    |

جدول ۴ - تغییرات ویسکوزیته نمونه‌های روغن بازسازی شده

| ویسکوزیته (سانتی پواز بر ثانیه) |       |       |       |      | زمان حرارت دهی<br>(ساعت) | نمونه |
|---------------------------------|-------|-------|-------|------|--------------------------|-------|
| روش D                           | روش C | روش B | روش A | شاهد |                          |       |
| ۴۰                              | ۴۰    | ۴۰    | ۴۰    | ۶۰   | ۲۸                       | K     |
| ۶۰                              | ۶۰    | ۶۰    | ۶۰    | ۸۰   | ۳۶                       | N     |
| ۸۰                              | ۸۰    | ۸۰    | ۸۰    | ۱۰۰  | ۴۴                       | Q     |
| ۱۰۰                             | ۱۰۰   | ۱۰۰   | ۱۰۰   | ۱۲۰  | ۵۲                       | T     |
| ۸۰                              | ۸۰    | ۸۰    | ۸۰    | ۱۰۰  | ۶۰                       | W     |
| ۱۰۰                             | ۱۰۰   | ۱۰۰   | ۱۰۰   | ۱۲۰  | ۶۸                       | Z     |
| ۸۰                              | ۸۰    | ۸۰    | ۸۰    | ۱۰۰  | ۳۲                       | L'    |

## منابع و مأخذ

1. Firestone, D. 1994. *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, 4 th edn., AOCS Press, Champaign, IL.
2. Firestone, D. 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 15 th edn., Arlington, USA.
3. Lin, S., Akoh, C. C. & Reynolds, A. E. 1998. The recovery of used frying oils with various adsorbents. *Journal of Food Lipids* 5, 1 - 16.
4. Mc Neill, J. Kakuda, Y. & Kamel, B. 1986. Improving the quality of used frying oils by treatment with activated carbon and silica. *Journal of American Oil Chemists' Society*, Vol. 63, No. 12, 1564 - 1567.
5. Yates, R. A. & Caldwell, J. D. 1992. Adsorptive capacity of active filter aids for used cooking oil. *Journal of American Oil Chemists' Society* , Vol. 69, No. 9, 894 – 897.
6. Yates, R. A. & Caldwell, J. D. 1993. Regeneration of oils used for deep frying : A comparison of active filter aids. *Journal of American Oil Chemists' Society* , Vol. 70 , No. 5, 507 – 511.