



بهینه‌سازی اثر همزمان تغییر پارامترهای رنگبری بر پایداری اکسایشی، کارایی رنگبری و حفظ ترکیبات ارزشمند روغن ذرت به روش سطح پاسخ (RSM)

لیلا صداقت بروجنی^{۱*}، بهناز نقشبندی^۲، مسعود حبیبی نجفی^۲

۱- دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۲- کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳- دکتری علوم و صنایع غذایی، معاونت غذا و دارو، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	<p>یکی از مهمترین مراحل فرایند تصفیه برای روغن‌های خوراکی، مرحله‌ی رنگبری می‌باشد. رنگبری یک فرایند جذب است که شامل استفاده از خاک‌رس فعال‌شده با اسید به منظور حذف اجزای نامطلوب روغن است. بدین ترتیب بهینه‌سازی پارامترهای رنگبری به طور عمده دما، زمان و غلظت خاک‌رنگبر به منظور جلوگیری از تغییرات نامطلوب روغن در مراحل بعدی و در طول نگهداری ضروری است. در این تحقیق روغن ذرت انتخاب شد و اثر تغییر پارامترهای رنگبری بر ویژگی‌های شیمیایی روغن به منظور بهینه‌سازی فرایند مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور اثر زمان (۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ دقیقه)، دما (۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) و غلظت خاک‌رنگبر (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲ درصد) با استفاده از طرح آماری سطح پاسخ در ۵ سطح به روش طرح مرکب مرکزی Central Composite Design با هدف کاهش مصرف خاک‌رنگبر بررسی شد. اثر پارامترهای رنگبری بر پایداری اکسایشی (عدد پراکسید، عدد آنسیدین، عدد توتوکس، مقدار اسید چرب آزاد، تست رنسیمت و جذب ویژه در ۲۳۲ نانومتر و ۲۷۰ نانومتر)، کارایی رنگبری (مقدار کاروتنوئید) و ترکیبات بیواکتیو (مقدار استرول‌ها) در روغن ذرت مطالعه گردید. نتایج نشان داد پس از بهینه‌سازی بهترین شرایط برای مرحله رنگبری در روغن ذرت به منظور به حداقل رساندن ناخالصی‌ها، حفظ ترکیبات بیواکتیو و حداقل مصرف خاک‌رنگبر زمان ۳۵/۵۹ دقیقه، دمای ۱۰۳/۶۱ درجه سانتی‌گراد و غلظت خاک رنگبر ۱ درصد بود که قادر بود ۵۷ درصد انتظارات را برآورده کند. نتایج عملی هیچ اختلاف معناداری با مقادیری که از طریق تئوری بدست آمده بود نشان نداد و مؤید این نتایج بود.</p>
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱	
کلمات کلیدی:	
ترکیبات بیواکتیو،	
کارایی رنگبری،	
روغن ذرت،	
پایداری اکسایشی،	
روش سطح پاسخ.	
DOI: 10.22034/FSCT.19.130.245	
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.20.9	
* مسئول مکاتبات:	
leila.sedaghat65@yahoo.com	

۱- مقدمه

روغن ذرت متعلق به گروه روغن با سطوح بالایی از اسیدهای چرب لینولئیک و اولئیک می‌باشد. روغن‌های مایع در این گروه، سازگارترین چربی‌ها و روغن‌ها هستند. آن‌ها دارای خواص پایداری اکسایشی مناسبی هستند. روغن ذرت منبع عالی اسیدهای چرب ضروری است که معمولاً بیش از ۶۰ درصد لینولئیک اسید (C18: 2) و کمتر از ۱/۵ درصد لینولئیک اسید (C-18: 3) دارد. علیرغم غیراشباعیت بالای روغن ذرت، پایداری اکسایشی خوبی دارد که تا حدودی به توزیع غیرتصادفی اسیدهای چرب در تری‌گلیسیریدها نسبت داده می‌شود [۱]. روغن تصفیه شده به عنوان سرخ‌کردنی، روغن سالاد و در تولید اسپردها پس از هیدروژناسیون نسبی کاربرد دارد [۲]. مقدار نسبتاً بالای توکوفرول (حدود ۰/۱ درصد) همراه با وجود مقدار کمی از آنتی‌اکسیدان‌های دیگر (اسیدفولیک) نیز به پایداری اکسایشی عالی روغن ذرت کمک می‌کند [۱].

روغن ذرت خام دارای رنگ قرمز تیره مایل به زرد نسبت به سایر روغن‌های گیاهی می‌باشد که معمولاً به یک روغن با رنگ روشن فراوری می‌شود. فرایندی که تحت عنوان رنگبری در روغن‌ها و چربی‌ها بکار می‌رود اساساً یک عمل جذب فیزیکی است که رنگ و بسیاری از ناخالصی‌های روغن از طریق جذب در یک جاذب که معمولاً خاک رنگبری است از روغن خارج می‌شود [۳]. رنگبری یک مرحله مهم است زیرا این مرحله آخرین مرحله‌ای است که در آن می‌توان فسفاتیدهای باقی‌مانده، صابون‌ها، فلزات (آهن و مس)، فسفر، پراکسیدها، آلدئیدها و کتون‌ها را قبل از بی‌بوکردن جدا نمود. جداسازی این ناخالصی‌ها بسیار مهم است زیرا این ترکیبات بر خصوصیات حسی و مقاومت اکسایشی روغن بی‌بو شده اثر مستقیم می‌گذارند [۴]. مهمترین خاک رنگبری طبیعی سیلیکات آلومینیوم آبدار است که ممکن است محتوی مقدار کمی اکسیدهای آهن، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم باشد. خاک رس در خیلی از مناطق یافت می‌شود ولی معمولاً مستقیماً در فرایند رنگبری استفاده نمی‌شود و نیاز به فعال شدن دارد. معمولاً

برای بالا بردن قدرت رنگبری خاک رس طبیعی، آن را با اسیدسولفوریک یا اسید کلریدریک فعال می‌کنند [۵]. صمغ‌گیری و رنگبری صمغ، فلزات کمیاب، ویتامین‌ها، رنگدانه‌ها و پراکسیدها را حذف می‌کند. محصولات اکسیداسیون در روغن‌های گیاهی خام با استفاده از جذب بر روی سطح فعال رنگبر حذف شده و رنگ و ثبات روغن نهایی بهبود می‌یابد [۶].

Skevin و همکاران (۲۰۱۲) اثر پارامترهای رنگبری بر کارایی رنگبری، پایداری اکسایشی و مقدار و ترکیب مواد فعال زیستی (توکوفرول و استرول) با استفاده از نوع خاصی خاک رس در روغن سویا را بررسی کردند، نتایج نشان داد که مقدار خاک رس بیشترین اثر را در بازده رنگبری داشت. دما و مقدار خاک رس به‌طور قابل‌توجهی پایداری اکسایشی، به‌ویژه شکل‌گیری محصولات ثانویه اکسیداسیون را تحت تاثیر قرار داد. افزایش مقدار خاک رس، مقدار توکوفرول روغن رنگبری شده را کاهش داد. روغن سویا خنثی شده به مدت ۲۰ دقیقه در ۹۵ درجه سانتی‌گراد با ۱ درصد خاک رس رنگبری بالاترین پایداری اکسایشی، بهترین بازده رنگبری و مطلوب‌ترین محتوای استرول را نشان داد اگر چه محتوای توکوفرول کاهش یافت.

در این مطالعه اثر زمان (۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ دقیقه)، دما (۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد)، و غلظت خاک رنگبری (۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲ درصد) با استفاده از طرح آماری سطح پاسخ در ۵ سطح به روش CCD^۱ با هدف دستیابی به بهترین ترکیب دما، زمان و غلظت خاک رنگبری برای دریافت روغن ذرت با بهترین کیفیت و کاهش مصرف خاک رنگبری بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

روغن ذرت صمغ‌گیری و خنثی شده از کارخانه گلوکوزان و خاک رنگبری فعال شده با اسیدسولفوریک از شرکت کانی‌ساز جم تهیه گردید.

1. Central composite design

۲-۱- رنگبری روغن تحت شرایط آزمایشگاهی

رنگبری آزمایشگاهی در خصوص روغن ذرت در دور پایین در فلاسک ۱۰۰۰ میلی‌لیتر مجهز به دماسنج و متصل به یک پمپ خلاء و منبع نیتروژن انجام شد. رنگبری با استفاده از یک مخلوط‌کن الکترومغناطیسی با هیتز قابل تنظیم انجام گرفت که با سیستم قطع‌کن دما و ترموکوپل مجهز شده بود. روغن‌های خنثی‌شده بطور صنعتی، داخل یک فلاسک ته‌گرد توزین شد و با مخلوط کردن تحت خلاء نسبی ۰/۴ بار حرارت داده شد. خاک رنگبر فعال با اسید به غلظت نهایی ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۱/۲ درصد به روغن پیش‌گرم با دمای حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد اضافه گردید. سپس روغن به تدریج به دمای مورد نظر رنگبری (۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) با هم‌زدن ثابت تحت خلاء به منظور پخش شدن خاک رنگبری بطور کامل رسید. پس از رسیدن به درجه حرارت مورد نظر، حرارت به طور موقت قطع شد تا اجازه داده شود که درجه حرارت به حدود ۳-۲ درجه‌سانتی‌گراد کاهش یابد. سپس حرارت‌دهی دوباره شروع شد و برای زمان رنگبری مورد نظر (۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ دقیقه) ثابت نگه داشته شد. در پایان رنگبری حرارت‌دهی و خلاء خاموش شد و نیتروژن وارد شد. پس از رنگبری مخلوط خاک‌رنگبر و روغن گرم از فلاسک از طریق کاغذ صافی در خلاء فیلتر شد. نمونه روغن رنگبری شده در ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا انجام آزمایشات مربوطه نگهداری شد [۷].

۲-۲- ترکیب اسیدهای چرب روغن

به منظور آنالیز اسیدهای چرب نمونه های روغن از دستگاه GC 6890 Agilent مجهز به اتوسمپلر و دکتور FID استفاده شد. آماده سازی متیل استر اسیدهای چرب مطابق (۲۰۱۱) ISO 12966-2 و ISO 12966-4 انجام گرفت، حدود ۱۰ گرم نمونه به بالن انتقال داده شد. به آن ۱۰ میلی‌لیتر هگزان و ۵ میلی‌لیتر پتاسیم هیدروکسید متانولی ۲ مولار افزوده شد و محتویات بالن به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد رفلکس گردید. پس از آن محتویات بالن

خنک شد و به آن ۱۰ میلی‌لیتر محلول NaCl اشباع افزوده شد. ترکیب به خوبی هم زده شد و سپس اجازه داده شد مخلوط حاصل دو فاز شود. لایه آلی جدا و به یک ویال منتقل گردید. حدود ۱ گرم سدیم هیدروژن فسفات به ویال اضافه و به خوبی هم زده شد. سپس ویال سانتریفیوژ شد و از لایه رویی برای تزریق به دستگاه GC استفاده گردید. مقادیر اسیدهای چرب به صورت درصد زیر پیک بیان شد.

۳-۲- بررسی پایداری اکسایشی

۳-۲-۱- آزمون پایداری با روش رنسیمت

برای بررسی پایداری روغن در برابر اکسیداسیون از دستگاه رنسیمت مدل Metrohm Switzerland 743 استفاده شد. وضعیت اکسیداسیون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بررسی گردید. سرعت جریان هوا ۲۰ لیتر بر ساعت بود. روش آنالیز مطابق استاندارد (۱۹۹۴) ISO 6886.2 انجام شد. طبق این روش ۲/۵ گرم از نمونه روغن در سل مخصوص دستگاه ریخته شده جریان از هوای تصفیه شده از نمونه در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد عبور داده شد. در جریان اکسید شدن روغن، گازهای حاصل از اکسید شدن آزاد و وارد یک ظرف حاوی آب دیونیزه گردیده و هدایت الکتریکی محلول آبی تعیین شد. پایان زمان مقاومت بالای اکسیداسیون زمانی بود که بعلت تجزیه اسیدهای کربوکسیلیک حاصل از اکسید شدن لیپید و جذب شدن آن در آب دیونیزه هدایت ویژه یک افزایش سریع نشان داد.

۳-۲-۲- عدد پراکسید

عدد پراکسید مقدار اکسیژنی که با روغن واکنش داده که منجر به تشکیل هیدروپراکسیدها می‌شود را نشان می‌دهد. عدد پراکسید با استفاده از روش ISO 3960 (۲۰۰۷) اندازه گیری شد.

۳-۲-۳- عدد انیسیدین

عدد انیسیدین نمونه های روغن با استفاده از روش ISO 6885 (۲۰۰۶) انجام شد.

۳-۲-۴- عدد توتوکس

عدد توتوکس براساس عددپراکسید و عددانیسیدین با استفاده از رابطه (۱) بدست آمد [۸]:

$$\text{Totoxvalue} = 2 \times \text{peroxide value} + \text{anisidine value}$$

۳-۲-۵- اسیدچرب آزاد

مقدار اسیدچرب آزاد (FFA²) برحسب اسید اولیک با استفاده از ISO660 (۲۰۰۹) تعیین شد.

۳-۲-۶- جذب ویژه UV

جذب ویژه UV در ۲۳۲ nm و ۲۷۰ nm با استفاده از Spectrometer ISO3656 (۲۰۱۱) توسط دستگاه Perkin Elmer Lambda20 ساخت USA تعیین گردید.

۲-۴- بررسی کارایی رنگبری

۲-۴-۱- تعیین مقدار کاروتنوئیدها

غلظت کاروتنوئیدها مانند مقدار β -carotene از طریق اسپکتروفتومتر تعیین گردید. اندازه‌گیری‌های جذب ویژه با اسپکتروفتومتر UV/Vis انجام شد. مطابق این روش، ۱ گرم روغن در ۲۵ میلی‌لیتر فلاسک در ایزواکتان حل گردید و تا خط توسط ایزواکتان پر گردید. حداکثر جذب در ۴۵۵-۴۴۰ نانومتر به ثبت رسید و غلظت β کاروتن از رابطه (۲) محاسبه گردید [9]:

$$C_{\beta\text{carotene}} = A \times V / W \times 0.261$$

که A: جذب، V: حجم محلول (ml)، W: وزن نمونه (g).

۲-۵- حفظ ترکیبات ارزشمند

۲-۵-۱- استرول‌ها

محتوا و ترکیب استرول توسط GC و روش ISO12228 (۱۹۹۹) انجام گرفت. بخش استرول آماده شده (امیکرولیتر) به یک گازکروماتوگرافی مجهز به یک ستون لوله موئین-DB (17(30 m×0.32 mm×0.25 mm) حاوی ۵۰ درصد فاز ثابت phenyl-methylpolysiloxane تزریق شد. هلیوم

به عنوان یک حامل در یک سرعت ثابت ۳۶ ml/min استفاده شد. دمای تزریق ۲۸۰ درجه سانتیگراد و دمای دکتور ۲۹۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. دمای ستون آون به منظور افزایش ۶ درجه سانتیگراد از دمای اولیه ۱۸۰ تا ۲۷۰ درجه سانتیگراد برنامه‌ریزی گردید و سپس در این مقدار برای ۳۰ دقیقه باقی ماند. پیک ها توسط مقایسه زمان‌های بازداری استرول‌ها با استانداردها شناسایی شد. تعیین کمی همه استرول‌ها براساس استاندارد داخلی توسط آلفا کلستانول^۳ بود.

۲-۶- طراحی بهینه سازی تجربی و آنالیز آماری

روش حداقل سطح پاسخبا ۳ فاکتور دما (۸۰-۱۲۰ درجه سانتیگراد)، زمان (۱۵-۵۵ دقیقه) و غلظت خاک رنگبری (۱/۲-۰/۴ درصد) در ۵ سطح و شش تکرار در نقطه مرکزی به روش طرح مرکب مرکزی (CCD)^۴ مورد استفاده قرار گرفت که با در نظر گرفتن این فاکتورها و سطوح آنها (۲۰ فرایند رنگبری) جدول طرح آماری طراحی شد. در این طرح X_۱ (زمان)، X_۲ (دما) و X_۳ (غلظت خاک رنگبری) سه فاکتور مستقل و عدد پراکسید، عدد آنیسیدین، عدد توتوکس، مقدار اسیدچرب آزاد، جذب ویژه UV، رنسیمت، مقدار کاروتنوئید و مقدار استرول‌هشت متغیر وابسته بودند. در روش سطح پاسخ، برای هر متغیر وابسته مدلی طراحی می شود که آثار اصلی و متغیر فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می نماید. مدل انجام و فاکتورها در جدول ۱ آورده شده است [۱۰]

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 B_i X_i + \sum_{i=1}^3 B_{ii} X_i X_i + \sum_{i=1}^3 B_{ij} X_i X_j$$

که در آن:

B_i: ضریب رگرسیون عامل i

B_{ij}: ضریب رگرسیون برهم کنش دو عامل i و j

X_i: زمان، دما و غلظت خاک رنگبری

3. cholestenol
4. Central composite design

2. Free Fatty Acid

Table 1 Test design of response level method for the present study using design expert software

The concentration of dye-absorbing soil (%)	temperature (C)	Time (minutes)	Test order
0.8(0)	120(+2)	35 (0)	1
0.8(0)	80(-2)	35 (0)	2
1.2(+2)	100(0)	35 (0)	3
1(+1)	110(+1)	45(+1)	4
0.8(0)	100(0)	55(+2)	5
0.8(0)	100(0)	35 (0)	6
0.6(-1)	110(+1)	45(+1)	7
0.4(-2s)	100(0)	35 (0)	8
1(+1)	90(-1)	45(+1)	9
1(+1)	90(-1)	25(-1)	10
0.8(0)	100(0)	35 (0)	11
0.8(0)	100(0)	35 (0)	12
1(+1)	110(+1)	45(+1)	13
0.6(-1)	90(-1)	45(+1)	14
0.8(0)	100(0)	35 (0)	15
0.8(0)	100(0)	35 (0)	16
0.8(0)	100(0)	35 (0)	17
0.8(0)	100(0)	15(-2)	18
0.6(-1)	110(+1)	45(+1)	19
0.6(-1)	90(-1)	45(+1)	20

موجود در روغن می‌توان گفت غلظت خاک‌رنگبر در جذب پیش‌سازهای اکسیداسیون اثر بیشتری نسبت به جذب آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در روغن ذرت در افزایش عمر ماندگاری روغن ذرت داشته است. با توجه به ضریب تبیین ۰/۹۹ و فاکتور کفایت دقت ۸۹/۵۲ نشان دهنده دقت کافی رابطه (۴) برای پیش بینی اثر غلظت خاک رنگبر در افزایش ماندگاری روغن است.

$$\text{رنسیمت} = 6.52982 + 1.50125C$$

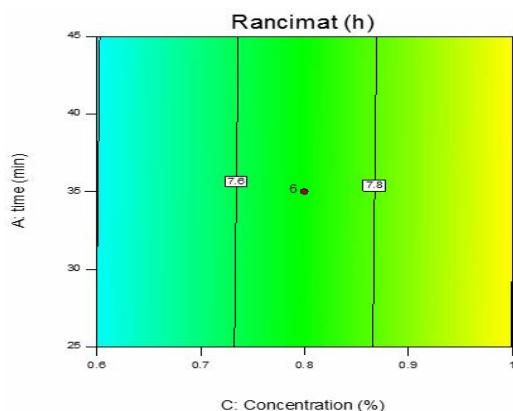


Fig 1 The effect of time and concentration of dye-removing soil on the Rancimat number of corn oil. نتایج مطالعه Naji و همکاران (۲۰۱۰) موافق نتایج این مطالعه بود آن‌ها گزارش کردند که رنگبری موجب افزایش زمان پایداری روغن می‌شود که این افزایش را به کاهش رنگ، پراکسید، صابون، کلروفیل، آهن، مس و فسفر نسبت دادند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیب اسیدهای چرب روغن ذرت

ترکیب اسیدهای چرب روغن ذرت در جدول ۲ نشان داده شده است که با Codex Stan 210-1999 مطابقت داشت.

Table 2 Fatty acid composition of corn oil

Percentage	Fatty acid
0.21	C14
-	C14:1
13.8	C16
0.13	C16:1
3.28	C18
44.76	C18:2
1.45	C18:3
-	C18:1t
35.87	C18:1c
-	C18:1c9
-	C18:1c11
-	C18:2c
0.5	C20

۳-۲- آزمون ارزیابی پایداری اکسایشی با

رنسیمت

در مطالعه حاضر اثر عوامل رنگبری روغن نشان داده که تنها عامل موثر در افزایش ثبات حرارتی روغن، غلظت خاک رنگبر بوده و با افزایش غلظت خاک رنگبر، ثبات حرارتی روغن افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به مقدار آنتی‌اکسیدان طبیعی

دارد. کاهش معنی‌دار عدد پراکسید روغن‌های رنگبری شده در انواع روغن‌ها بعد از ختنی سازی می‌تواند مربوط به جذب و کاتالیز ترکیبات پراکسید توسط خاک رنگبری باشد [۱۲]. رابطه خطی پیشنهادی (رابطه ۵) با ضریب تبیین ۰/۹۹ و فاکتور کفایت دقت ۱۳/۳۹ بیانگر دقت بالای رابطه در پیش بینی اثر عوامل مورد مطالعه بر عدد پراکسید روغن ذرت می‌باشد.

=عدد پراکسید

$$2.57+0.0020625A+0.0018125B-1.65958C$$

برای تفسیر اثر مثبت زمان می‌توان دو مکانیسم پیشنهاد نمود. همانگونه که در رابطه فیک (رابطه ۶) مشاهده می‌شود مقادیر انتقال جرم در رابطه فیک با جرم انتقال یافته در واحد زمان بیان می‌شود بنابراین افزایش زمان می‌تواند باعث افزایش جذب عوامل پراکسید به سطح خاک رنگبری شده و باعث کاهش مقدار عدد پراکسید شود و در عین حال با افزایش زمان حرارت‌دهی مقدار عدد پراکسید افزایش می‌یابد بنابراین نتیجه به دست آمده را می‌توان به عنوان برآیند این دو عامل که در نهایت موجب اثر مثبت زمان بر عدد پراکسید شده است بیان نمود.

$$m=DA \Delta C/\Delta x$$

که در آن:

m : برابر است با جرم انتقال یافته در واحد زمان (g)

D : برابر است با ضریب انتقال جرم (m^2/s)

A : سطح انتقال جرم (m^2)

ΔC : اختلاف غلظت

Δx : فاصله انتشار (m) [۱۳].

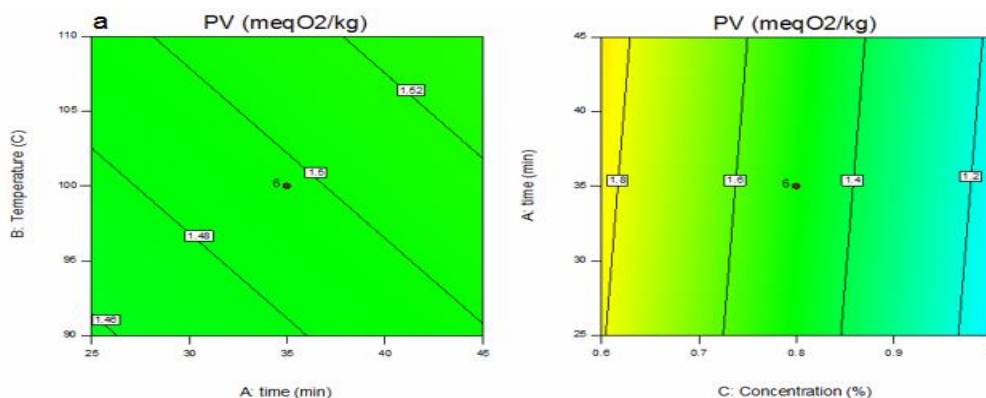


Fig 2 The effect of decolorizing factors on the peroxide number of corn oil, a: time and temperature, b: concentration of decolorizing soil and time.

۳-۴- عدد آنییدین

محصولات ثانویه اکسیداسیون چربی‌ها و روغن‌ها توسط عدد آنییدین اندازه‌گیری می‌شود [۷]. همانند عدد پراکسید اثر خاک رنگبر بر محصولات حدواسط اکسیداسیون اثر کاهش داده است. اثر زمان و دما اثر افزایش‌دهی معنادار و با ضریب تبیین ۰/۹۷ بوده است. بنابراین کلیه عوامل ذکر شده درخصوص عدد پراکسید و اثر عوامل رنگبری بر مقدار آن در روغن ذرت در این مبحث هم مورد تایید است. رابطه خطی پیشنهادی دقت بسیار بالایی در تفسیر اثرات عوامل رنگبری بر میزان عدد آنییدین داشته است. اثر عوامل رنگبری بر مقدار عدد آنییدین روغن ذرت در شکل (۳) قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده با یافته‌های Skevin و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت آن‌ها اثر دما و زمان را بر مقدار عدد آنییدین افزایشی گزارش دادند.

= آنییدین عدد

$$2.65713+0.009625A+0.004375B-0.54375C$$

بیان اثر دما بر میزان عدد پراکسید شاید کمی پیچیده‌تر باشد، برای تفسیر این عامل می‌توان بیان نمود که علیرغم اینکه افزایش دما قادر خواهد بود تا عدد پراکسید را افزایش دهد ولی با در نظر گرفتن رابطه استوکس-انتستین (رابطه ۷) می‌توان دریافت که افزایش دما با کاهش ویسکوزیته قادر خواهد بود تا ضریب انتقال جرم را افزایش داده و انتقال ترکیبات پراکسید به لایه مرزی خاک رنگبر را تسهیل نماید (شکل ۲). برآیند این دو عامل هم در نهایت منجر به اثر مثبت بر عدد پراکسید روغن ذرت شده است.

$$D = kBT/6rp$$

که در آن:

kB: ثابت Boltzmann

T: دما

r: شعاع هیدرودینامیکی

p: ویسکوزیته

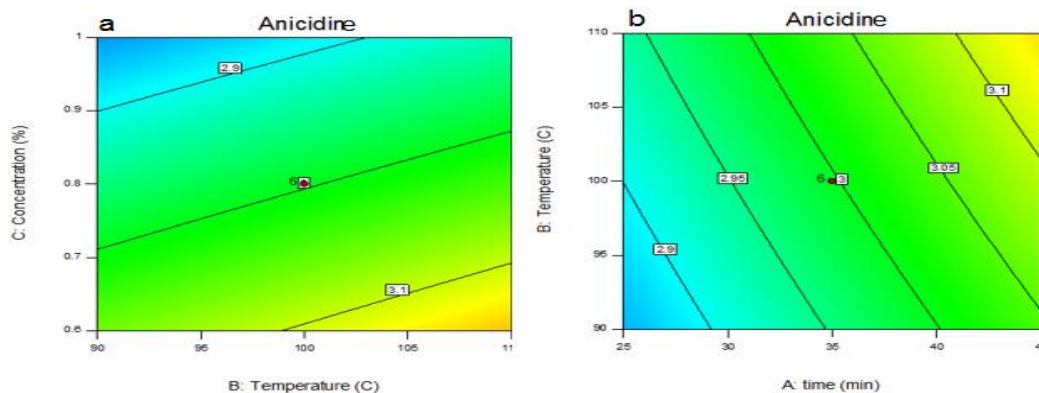


Fig 3 The effect of decolorizing factors on the anisidine number of corn oil, a: temperature and concentration of decolorizing soil, b: time and temperature.

خاک رنگبر و برهم کنش دما و غلظت معنی‌دار بوده است. رابطه پیشنهادی (رابطه ۹) دقت بسیار بالایی در پیش بینی عوامل مورد بررسی بر عدد توتوکس داشته است. اثر عوامل رنگبری بر عدد توتوکس روغن ذرت در شکل ۴ نمایش داده شده است. اثر زمان، دما و غلظت خاک رنگبر بر عدد توتوکس روغن ذرت مشابه نتایج SedaghatBoroujeni و همکاران (۲۰۲۰a) بر روغن آفتابگردان بود.

= عدد توتوکس

$$18.76935+0.00415966A-0.091055B-9.68409C+0.044063BC+0.87756C^2$$

۳-۵- عدد توتوکس

باتوجه به اینکه عدد توتوکس تابعی از عدد پراکسید و عدد آنییدین می‌باشد عوامل موثر در هر یک از این دو فاکتور می‌تواند بر عدد توتوکس موثر باشد. نکته قابل توجه این است که بعضاً هر یک از عواملی که در هر یک از این دو فاکتور غیرمعنی‌دار شده اند می‌توانند بر عدد توتوکس که عملاً برآیند این دو عامل است به شکل معنی داری خود را نشان دهند.

رابطه پیشنهادی نرم افزار برای تفسیر اثر عوامل رنگبری بر عدد توتوکس رابطه درجه دوم بوده است. که در این رابطه پیشنهادی اثر دما، زمان، غلظت خاک رنگبر، توان دوم غلظت

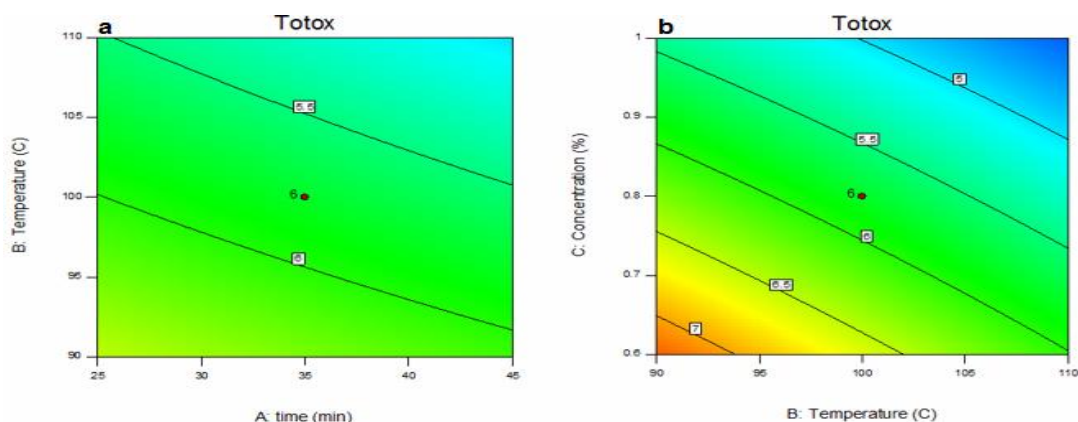


Fig 4 The effect of studied factors in decolorization on TOTOX number in corn oil a: temperature and time, b: concentration of decolorizing soil and temperature

که نتایج بررسی روغن ذرت با نتایج سایر محققین [۱۴ و ۱۵]، چرب توجهی مقدار اسیدهای انطباق داشت. رنگبری بطور قابل دهد که این نتایج با نتایج مطالعه ما مغایرت آزاد را کاهش نمی دارد [۱۶].

۳-۷- جذب در ۲۳۲nm و ۲۶۸nm

تجزیه هیدروپراکسیدها و ایزومریزاسیون اسیدهای چرب چندغیراشباع منجر به شکل‌گیری دی ان (جذب در ۲۳۲ nm) و تری ان مزدوج^۰ (جذب در ۲۶۸ nm) می‌شود که این ترکیبات بسیار ناپایدار به اکسیداسیون و بسیار حساس‌تر از اسیدهای اولئیک و لینولئیک هستند، بنابراین پارامترهای رنگبری باید به منظور جلوگیری از تشکیل این ترکیبات بهینه شوند [۷]. در جذب ویژه ۲۳۲ nm، رابطه پیشنهادی از نوع خطی بوده و اثر تمامی فاکتورها معنی‌دار است. نکته حائز اهمیت در جذب ویژه ۲۳۲ nm مشابه اتفاقی که در عدد پراکسید افتاد. دما و زمان اثر افزایش‌دهنده بر میزان جذب ۲۳۲nm داشتند درحالی‌که خاک رنگبری اثر کاهندگی بر میزان جذب داشته است (شکل ۶ و رابطه ۱۱).

مقدار جذب روغن ذرت در ۲۶۸nm نشان داد مقدار آن‌ها از الگوی 2FI تبعیت میکند که در رابطه (۱۲) اثر زمان و برهم کنش زمان-دما و دما-غلظت خاک رنگبری معنادار است.

$$\begin{aligned} \text{جذب ویژه } 268\text{nm} &= \\ &= 0.38871 + 0.00405363A - 0.000071922AB - \\ &= 0.018996BC \\ \text{جذب ویژه } 232\text{nm} &= \\ &= 2.55894 + 0.0009375A + 0.0009375B - 0.42813C \end{aligned}$$

۳-۶- مقدار اسیدچرب آزاد

در خصوص روغن ذرت مشاهده گردید تنها عامل معنی‌دار، غلظت خاک رنگبری بوده است (رابطه ۱۰). رابطه خطی پیشنهادی با ضریب تبیین ۰/۵۷ و فاکتور کفایت دقت ۹/۳ دارای دقت نسبتاً متوسطی در تمایل اثرات عوامل رنگبری بوده است.

$$\text{اسیدچرب آزاد} = 0.30726 + 0.0059375C$$

که اگرچه ضریب غلظت خاک رنگبری در رابطه خطی پیشنهادی بسیار کوچک است ولی توانسته است به علت طبیعت اسیدی خود مقدار اسیدهای چرب آزاد را بالا ببرد که در شکل ۵ هم قابل مشاهده است.

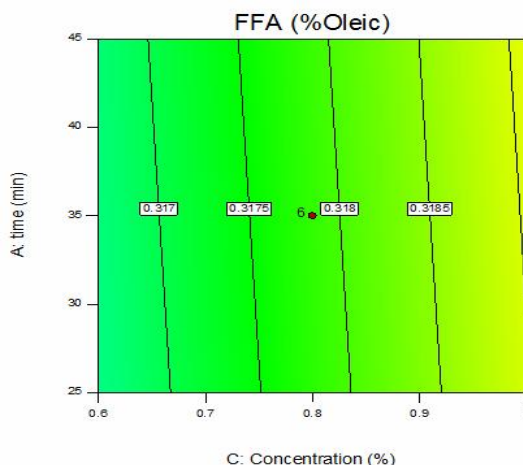


Fig 5 The effect of time and concentration of decolorizing soil in corn oil decolorization operation on the amount of free fatty acid

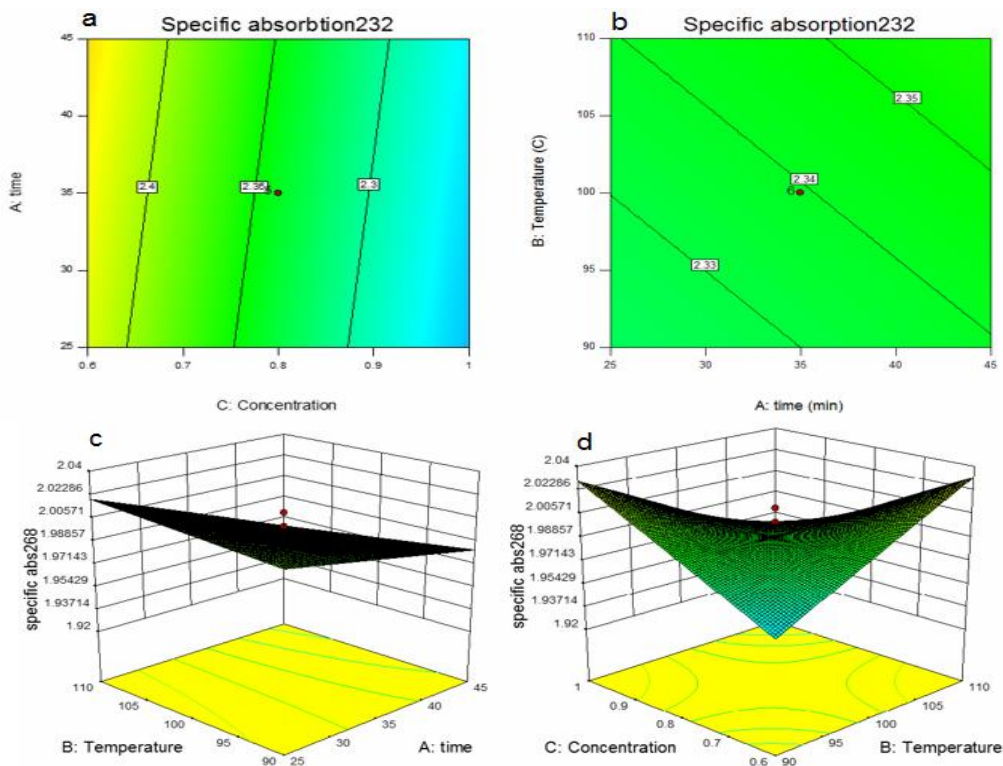


Fig 6 The effect of the factors studied in dyeing on the specific absorption of corn oil a: time and concentration of dye-absorbing soil at the wavelength of 232nm b: temperature and time at the wavelength of 232nm c: temperature and time at the wavelength of 268nm, d: concentration of dye-absorbing soil and Temperature at 268 nm wavelength.

۱۳ و شکل ۷). ضریب تبیین ۰/۹۹ و فاکتور کفایت دقت ۳۲/۱۴ نشان دهنده ارتباط بسیار بالای رابطه پیشنهادی با نتایج تجربی است.

= کاروتنوئید

$$41.93168-0.39670A-0.48160B-16.00455C+2.5*10^{-4}AB+0.06AC+0.037500BC+4.40114*10^{-3}A^2+2.10114*10^{-3}B^2+5.34659C^2$$

۳-۸- کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها در صنعت روغن بیشتر باعث افزایش رنگ قرمز می‌شوند. با بررسی عوامل مورد مطالعه مشخص شد که تغییرات میزان کاروتنوئیدها در روغن از رابطه درجه دوم تبعیت می‌کند. در این رابطه درجه دوم همه عوامل بصورت مستقل، درجه دوم و در برهم کنش با هم معنادار شدند (رابطه

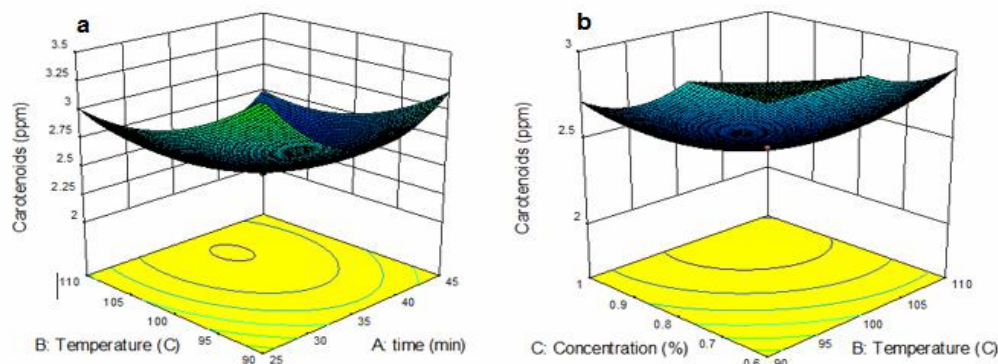


Fig 7 The effect of studied factors in decolorization on the amount of carotenoids in corn oil a: temperature and time b: concentration of decolorizing soil and temperature

در این استرول هم اثر غلظت خاک رنگبر عامل مهمتری در تغییرات مقدار آن‌ها بوده است.

در خصوص بتاسیتواسترول با توجه به مقدار بیشتر آن نسبت به سایر استرول‌ها و با توجه به بالاتر بودن مقدار استرول‌ها در روغن ذرت مدل 2FI پیشنهاد شده است که در این مدل علاوه بر اثر تک تک عوامل برهم کنش آن‌ها نیز بررسی شده است که با توجه به مدل پیشنهادی برهم کنش دما و غلظت معنی دار شده است در این مورد همچنان اثر غلظت مهمترین فاکتور در تغییرات مقدار این استرول بوده است و سپس اثر زمان خودنمایی کرده است ضرایب تبیین و فاکتور کفایت دقت نشانگر دقت کافی این مدل برای پیشگویی رفتار بتاسیتواسترول در عملیات رنگبری روغن است.

در مورد اوناسترول و سایر استرول‌ها نیز با توجه به مقدار اندک آن‌ها مدل خطی پیشنهاد شده است که ضرایب تبیین و فاکتور کفایت دقت مندرج در جدول ۳ برای آن‌ها نشانگر انطباق مناسب آن‌ها با رفتار این دوجز استرول در عملیات رنگبری روغن است. در مورد مقدار استرول کل مشابه با مباحثی که برای بتاسیتواسترول ذکر شد با توجه به بالاتر بودن مقدار اثر دما توانسته است بیشتر مشهود باشد. مقدار نسبتا بالای ضریب تبیین و فاکتور کفایت دقت نشانگر تناسب مناسب مدل خطی پیشنهاد شده برای تغییرات مقدار کلی استرول‌ها در این روغن‌هاست. اثر این عوامل به ترتیب اهمیت غلظت خاک رنگبر، زمان مجاورت و دمای روغن است. روغن ذرت غنی از فیتوسترول‌ها می باشد که بخش اصلی استری شده می باشد. صمغ‌گیری با اسید و رنگبری هر دو منجر به کاهش مقدار فیتوسترول استریفیه شده به دلیل هیدرولیز کاتالیز شده با اسید می شوند

[۱۹].

عملکرد خاک رنگبر بر کاهش بتاکاروتن روغن کلزا تا حدود کمی تحت تاثیر فاکتور زمان است. افزایش دما نیز باعث حذف بیشتر بتاکاروتن می‌شود [۱۷]. غلظت خاک رنگبر مهمترین فاکتور در جذب بتاکاروتن است و پس از آن دما بیشترین تاثیر را داشت. نتایج این مطالعات موافق نتایج حاضر بود. در دماهای پایین بتاکاروتن بر روی فضای خارجی خاک رنگبر جذب می شود درحالیکه در دماهای بالاتر جذب بیشتر در فضاهای داخلی انجام می شود. با توجه به این نتیجه می توان علت کاهش بتاکاروتن در اثر افزایش دما را توجیه کرد. تاثیر دما بر حذف کاروتنوئیدها تشدیدکننده است که این تاثیر زیاد نیست و تنها باعث سهولت و تسریع جذب بر سطح خاک رنگبر می شود [۱۸].

۳-۹- استرول‌ها

با توجه به اهمیت وجود استرول‌ها در روغن‌های خوراکی اثر رنگبری بر مقدار آنها پس از عملیات رنگبری مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد کمپسترول در روغن ذرت نیز با توجه به مقدار اندک آن نسبت به سایر استرول‌ها مدل خطی پیشنهاد شده است که این مدل با توجه به جدول ۳ مدل مناسبی برای پیشگویی رفتار کمپسترول در هنگام رنگبری روغن باشد در این مدل اثر حرارت غیرمعنی دار بود. همانگونه که قبلا هم ذکر شد غلظت خاک رنگبر عامل موثرتری نسبت به زمان مجاورت در کاهش میزان کمپسترول روغن بود. در مورد کلاسترول با توجه به مقدار بسیار ناچیز آن در روغن‌های گیاهی ضریب عوامل بسیار ناچیز است ولی همانگونه در جدول ۳ مشاهده می شود مدل خطی پیشنهادی مدل مناسبی برای تغییرات میزان کلاسترول در هنگام رنگبری روغن‌ها است

Table 3 The effect of studied factors in decolorization on the changes of corn oil sterols

R ²	adeq precisor ¹	B ₂₃	B ₁₃	B ₁₂	B ₃	B ₂	B ₁	B ₀	model name	Sterol name
0.96	43.01	ns	ns	ns	-0.49	ns	-1.18*10 ⁻⁴	0.21	linear	Campesterol
0.93	32.81	ns	ns	ns	-1.05*10 ⁻³	ns	-3.5*10 ⁻⁶	3.36*10 ⁻³	linear	Cholesterol
0.95	39.82	ns	ns	ns	6-0.019	ns	-7.44*10 ⁻³	0.058	linear	Stigmaterol
0.97	51.08	ns	ns	ns	-0.033	ns	-1.27*10 ⁻⁴	0.068	linear	Delta-5-onasterol
0.97	59.85	ns	ns	ns	-0.027	ns	-6.56*10 ⁻⁵	0.05	linear	Delta-7-stigmaterol
0.99	305.43	1.09*10 ⁻³	ns	ns	-0.188	-3.5*10 ⁻⁴	-2.47*10 ⁻³	0.96	2FI	Betastosterol
0.92	31.27	ns	ns	ns	-1.26*10 ⁻⁴	ns	-5.66*10 ⁻⁷	2.27*10 ⁻⁴	linear	Onasterol
0.93	32.77	ns	ns	ns	-1.86*10 ⁻⁴	ns	-1.04*10 ⁻⁶	3.83*10 ⁻⁴	linear	Other sterols
0.99	234.76	ns	ns	ns	-0.43	-1.04*10 ⁻³	-1.84*10 ⁻³	1.43	linear	Total sterols

1, 2 respectively represent the accuracy adequacy factor and explanation factor.

۴- نتیجه گیری

رنگبری حدوداً ۶۷/۸ درصد خواسته‌های ما را برآورده می‌کند. حال اگر فرایند رنگبری با هدف کاهش مصرف خاک رنگبر انجام شود و غلظت خاک رنگبر از ۱ درصد به ۰/۹۴ درصد کاسته شود میزان برآورده ساختن انتظارات به ۵۷ درصد کاهش می‌یابد. جدول ۴ نشانگر بهترین زمان، دما و غلظت خاک رنگبر برای رسیدن به حداکثر مطلوبیت روغن است. همانگونه که مشخص است دستیابی به شرایط پیش‌بینی شده توسط نرم-افزار از طریق عملی امکان‌پذیر بود و نتایج عملی اختلاف معنی‌داری با پیش‌بینی نرم‌افزار نداشته‌است. بنابراین می‌توان با دقت بالایی در خصوص هر دو نوع روغن مورد مطالعه به نتایج نرم افزار استناد نمود.

نتایج به طور کلی نشان داد که می‌توان عملیات رنگبری را با اهداف دیگری غیر از صرفاً کاهش رنگ انجام داد به عنوان مثال با تغییر پارامترهای موثر بر رنگبری می‌توان ترکیبات مفید باقیمانده در روغن مانند استرول‌ها، کاروتنوئیدها و ... حفظ کرد. باتوجه به نتایج بدست آمده در روغن ذرت مشخص گردید که غلظت خاک رنگبر مهمترین عامل در فرایند رنگبری روغن است و اثر آن بر تمامی عوامل مورد اندازه گیری از سایر پارامترها بیشتر بود. بهترین غلظت خاک رنگبر ۱ درصد بدست آمد که می‌تواند با کاهش زمان رنگبری باعث بهبود کیفیت روغن خروجی از رنگبری شود. در این وضعیت فرایند

Table 4 Optimum values of evaluated parameters and theoretical and practical results of tests in corn oil processing

Factor	Predicted value	practical amount*
utility value	0.6776	
time (min)	39.59	39.59
temperature (°C)	103.61	104
Color remover soil concentration (%)	1	1
Peroxide number (meqO ₂ /kg)	1.18	1±14.09
Anisidine number	2.95	3±1.23
Totox number	4.72	4±85.39
Free fatty acid (oleic acid weight percentage)	0.32	0±29.05
Runtime(h)	7.99	8±5.33
Specific absorbance nm232	2.26	2±20.35
Specific absorption nm 268	1.97	2±4.21
Campesterol (%)	0.21	0±24.05
Cholesterol (%)	0.003	0±3.002
stigmasterol (%)	0.049	0±48.010
Delta-5-Anovasterol (%)	0.043	0±49.011
Delta-7-stigmasterol (%)	0.027	0±31.06
beta-sitosterol (%)	0.82	0±85.09
Onasterol (%)	0.006	0±6.004
sterols (%)	0.019	0±22.005
total sterols (%)	1.41	1±50.20
carotenoid (ppm)	2.41	0±53.34

* The practical value is calculated according to 3 observations.

۵- منابع

- [4] Kirali, E. G. &Lacin, O. 2005. Statistical modelling of acid activation of cotton oil bleaching by turkish bentonite. *Journal of Food Engineering*, 75, 137-141.
- [5] Waterman, H. I. 1997. *Hydrogenation of fatty oils*, Elsevier Publishing Company, New York, pp. 66-130.
- [6] Ssebuwufu, P. J. M., Nyanzi, S. A., Schumann, A., Nyakairu, G. W. &Lugolobi, F. 2014. Using trace metals, peroxide, acid and iodine values to characterize oils bleached using clays from central and Eastern Uganda. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5(17), 1302.
- [1] O'Brien, D. R. 2004. *Fats and oils: Formulating and processing for applications*. CRC Press.
- [2] Gunstone, F. D. 2005. *Vegetable oils*. In Bailey's industrial oil and fat products. 6th Ed. Edited by Shahidi, F. Wiley-interscience publication.
- [3] Didi, M. A. &Makhoukhi, B. 2007. Colza oil bleaching through optimized acid activation of bentonite. A comparative study. *Applied Clay Science*, 20-28.

- Third International Conference on New Approaches to Energy Conservation* (In Farsi).
- [19] Verleyena, T., Sosinska, U., Ioannidou, S., Verhe, R., Dewettinck, K., Huyghebaert, A. & De Greyt, W. 2002. Influence of the Vegetable Oil Refining Process on Free and Esterified Sterols.
- [20] Anon. 1994. Animal and vegetable fats and oils- Determination of oxidation stability: accelerated oxidation test. ISO/DIS, 6886.2, Geneva, Switzerland.
- [21] Anon. 1999. Animal and vegetable fats and oils - Determination of Individual and Total Sterols Contents - Gas Chromatographic Method, ISO Method 12228:1999, Geneva, Switzerland.
- [22] Anon. 2006. Animal and vegetable fats and oils - Determination of Anisidine Value, ISO Method 6885:2006, Geneva, Switzerland.
- [23] Anon. 2007. Animal and vegetable fats and oils - Determination of Peroxide Value - Iodometric (Visual) Endpoint Determination, ISO Method 3960:2007, Geneva, Switzerland.
- [24] Anon. 2009. Animal and vegetable fats and oils - Determination of Acid Value and Acidity, ISO Method 660:2009, Geneva, Switzerland.
- [25] Anon. 2011. Animal and vegetable fats and oils - Determination of Ultraviolet Absorbance Expressed as Specific UV Extinction, ISO Method 3656:2011, Geneva, Switzerland.
- [26] Anon. 2011. Animal and vegetable fats and Oils-Gas chromatography of fatty acid methyl Esters-Part 2: Preparation of fatty acid methyl esters. ISO 12966-2.
- [27] Anon. 2011. Animal and vegetable fats and Oils-Gas chromatography of fatty acid methyl Esters-Part 4: Determination by capillary gas chromatography. ISO 12966-4.
- [28] Dimic, E., Karlovic, D. J. & Turkulov, J. 1994. Pretreatment efficiency for physical refining of sunflowerseed oil. *Journal of the American Oil Chemist Society*, 71, 1357-1361.
- [29] SedaghatBoroujeni, L., Ghavami, M., PiraviVanak, Z. & GhasemiPirbalouti, A. 2020b. Optimizing the simultaneous effect of change in bleaching parameters on the quality of sunflower oil using response surface methodology (RSM). *Innovative Food Technologies*, 8(1), 83-95.
- [7] Skevin, D., Domijan, T., Kraljic, K., Gajdoš, J., Nederal, S. & Obranovi, M. 2012. Optimization of bleaching parameters for soybean oil. *Food Technology and Biotechnology*, 50(2), 199-207.
- [8] Fennema, O. R. 1996. *Food chemistry*. Marcel Dekker, Inc.
- [9] AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 4th edition, Champaign, IL: AOCS Press.
- [10] SedaghatBoroujeni, L., Ghavami, M., PiraviVanak, Z. & GhasemiPirbalouti, A. 2020a. Optimization of sunflower oil bleaching parameters: using Response Surface Methodology (RSM). *Food Science and Technology*, 40(1), 322-330.
- [11] Anderson, D. 2005. *A primer on oils processing technology*. In Shahidi, F (Ed). Bailey's industrial oil and fat products. 6th Ed. Wiley-interscience publication, pp. 1-57.
- [12] Wu, Y., Zhou, R., Wang, Z., Wang, B., Yang, Y. & Ju, X. 2019. The effect of refining process on the physicochemical properties and micronutrients of rapeseed oils. *PLoS One*, 14(3), 1-16.
- [13] Mortazavi, A., Seifkordi, A., Kadkhodae, R. & Shafafi, M. 2005. *An Introduction to Food Industry Engineering* (3th ed.). Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad Press (In Farsi).
- [14] Naji, M. H., Ghavami, M., Amin Lari, M. 2010. The effect of different bleaching earths on the quality edible oils. *Food Technology and Nutrition*, 7(4): 5-19 (In Farsi).
- [15] Hamilton, R. J. & Bhati, A. 2001. *Fats and oils: chemistry and technology*, applied science publishers LTD, Landon, pp. 135-165.
- [16] Ortega-García, J., Gámez-Meza, N., Noriega-Rodríguez, J. A., Dennis-Quinonez, O., García Galindo, H. S., Angulo-Guerrero, J. O. & Medina-Juárez, L. A. 2006. Refining of high oleic safflower oil: Effect on the sterols and tocopherols content. *European Food Research and Technology*, 223, 775-779
- [17] Sabah, E. & Sabri, M. 2005. Sepiolite: An effective bleaching adsorbent for the physical refining of degummed rapeseed oil. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 82(12), 911-916.
- [18] Saneei, M., Goli, S. A. H., Keramat, J., Shirvani, M. & Vatankhah, H. 2013. Optimization of soybean oil bleaching process by response surface methodology.



Optimizing the simultaneous effect of change in bleaching parameters on oxidative stability, bleaching efficiency and bioactive compounds of corn oil using response surface methodology

SedaghatBorogeni, L. ^{1*}, Naqshbandi, B. ², Habibi Najafi, B. ³

1. PhD in Food Science and Industry, Department of Food Science and Industry, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran .
2. MSc in Food Science and Industry, Department of Food Science and Industry, Islamic Azad University, Shahrekord Branch, Shahrekord, Iran.
3. Ph.D. in Food Science and Industry, Deputy of Food and Drug, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 08/28
Accepted 2022/ 10/ 03

Keywords:

Bioactive compounds,
Bleaching efficiency,
Corn oil,
Oxidative stability,
Response surface methodology.

DOI: 10.22034/FSCT.19.130.245
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.130.20.9

*Corresponding Author E-Mail:
leila.sedaghat65@yahoo.com

ABSTRACT

One of the most important steps in the refining process for edible oils is the coloring step. Decolorization is an absorption process that involves the use of acid-activated clay to remove undesirable components of oil. Therefore, it is necessary to optimize the parameters of decolorization, mainly temperature, time and concentration of decolorizing soil in order to prevent adverse changes of the oil in the next stages and during storage. In this research, corn oil was selected and the effect of changing the dyeing parameters on the chemical properties of the oil was studied in order to optimize the process. For this purpose, the effect of time (15, 25, 35, 45 and 55 minutes), temperature (80, 90, 100, 110 and 120 degrees Celsius) and the concentration of soil-dye remover (0.4, 0.6, 0.8), 1 and 1.2 percent) was investigated using the statistical design of the response level in 5 levels by the Central Composite Design method with the aim of reducing the consumption of soil-dye remover. The effect of decolorization parameters on oxidative stability (peroxide number, anisidine number, totox number, free fatty acid amount, Rancimet test and specific absorption at 232 nm and 270 nm), decolorization efficiency (carotenoid amount) and bioactive compounds (sterols amount) in Corn oil was studied. The results showed that after optimizing the best conditions for the decolorization stage in corn oil in order to minimize impurities, preserve bioactive compounds, and minimize the consumption of decolorizing soil, the time of decolorization was 35.59 minutes, the temperature was 103.61 degrees Celsius, and the soil concentration The dye was 1%, which was able to meet 57% of expectations. The practical results did not show any significant differences with the theoretical values and confirmed these results.