

بوبری روغن دنبه گوسفند با امواج فراصوت و ارزیابی شدت بو با استفاده از بینی الکترونیکی و آزمون حسی

آسیه دوستی¹، کاظم جعفری نعیمی²، محمد بلوردی^{3*}، حمید مرتضی پور²

1- دانشجوی دکتری، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

2- استادیار، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

3- استادیار، بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

(تاریخ دریافت: 98/10/09 تاریخ پذیرش: 98/12/19)

چکیده

روغن دنبه گوسفند به دلیل پایداری در برابر اکسیداسیون و طعم مطلوب آن، یک روغن سرخ کردنی مناسب است. این روغن با داشتن اسیدهای چرب مفید می‌تواند نقش موثری در سلامت مصرف کننده ایفا نماید. فرایندهای تصفیه روغن دنبه، از جمله بوبری آن در افزایش کیفیت روغن اهمیت زیادی دارند. بوبری یک فرآیند جداسازی است که در آن مقدار مشخصی از گاز جدا کننده ترکیبات فرار، در مدت زمان معینی از میان روغن داغ تحت شرایط خلاء عبور می‌کند و ترکیبات فرار و عامل ایجاد بو را از روغن خارج می‌کند. در این پژوهش، بوبری روغن دنبه با کمک امواج فراصوت انجام شد و اثرات دما، زمان و توان فراصوت روی شدت بو در طی فرایند بوبری، با استفاده از روش سطح پاسخ بررسی گردید. شدت بو به دو روش حسی و بینی الکترونیکی ارزیابی شد. همچنین، ترکیب اسیدهای چرب قبل و بعد از فرایند بوبری مقایسه شدند. نتایج پروفایل اسیدهای چرب نشان داد که حدود 46/72% از اسیدهای چرب روغن دنبه را اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک، استئاریک، مارگاریک و میریستیک) و مابقی (53/28%) آن را اسیدهای چرب غیر اشباع تشکیل داده بود که عمده‌ترین آن‌ها اسید اولئیک (39/67%) بود. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، ترکیب و نوع اسیدهای چرب قبل و بعد از بوبری نزدیک به هم بوده و مقدار اسیدهای چرب در طول بوبری تغییر جزئی داشتند. در نهایت، شرایط بهینه در دمای 162 درجه سلسیوس، زمان 110 دقیقه و توان فراصوت 165 وات برای بوبری روغن دنبه به کمک امواج فراصوت، به وسیله بینی الکترونیکی و ارزیابی حسی تعیین شد.

کلید واژگان: امواج فراصوت، اسیدهای چرب، بوبری، ترکیبات فرار، روش سطح پاسخ.

* مسئول مکاتبات: mbalvardi@uk.ac.ir

1- مقدمه

کشور ما از نظر روغن‌های خوراکی به خارج وابسته است و بیش از 50% از روغن لازم برای مصرف‌های مختلف غذایی از منابع خارجی تامین می‌شود. بی‌تردید مقابله با چنین مسئله مهمی نیازمند یک برنامه جامع و فراگیر است که در آن تمام عوامل و شرایط موثر و تعیین‌کننده در راه رهایی از این وابستگی به طور منطقی لحاظ شده باشند. از جمله این عوامل در نظر گرفتن کلیه منابع روغنی است که می‌توانند در رژیم غذایی جامعه استفاده گردند. چربی ذخیره گاو و گوسفند به عنوان یکی از این منابع می‌باشد [1]. چربی دنبه، بالاترین کیفیت تغذیه‌ای را از لحاظ ترکیب اسیدهای چرب در میان انواع چربی‌های ذخیره شده در بدن گوسفند دارا می‌باشد [2]. حذف بوی نامطلوب چربی دنبه گوسفند مشکل است. این مساله، استفاده خوراکی از دنبه گوسفند را برای بیشتر افراد با مشکل مواجه می‌سازد. چربی دنبه گوسفند نسبت به چربی گاو سخت‌تر و تردتر بوده و قابلیت سرخ کردن بیشتری دارد [3]. بالا بودن میزان اسید اولئیک در چربی دنبه و گران بودن روغن‌های گیاهی مشابه نظیر کره کاکائو سبب شده است که توجه محققین بر اصلاح خصوصیات روغن دنبه نظیر حذف کلسترول و بوبری آن معطوف گردد [4].

اساس بوبری اختلاف بین فرارایت روغن (تری‌گلسیریدها) و ناخالصی‌های فرار معطر در روغن است. این فرایند، اساساً یک فرایند انتقال جرم است که از طریق حرارت دادن روغن، در دمای بالا و تحت خلاء انجام می‌شود. در واقع بوبری یک فرایند جداسازی است که در آن عامل جداسازی (معمولاً بخار) در مدت زمان معینی از میان روغن داغ تحت فشار پایین (کمتر از یک کیلو پاسکال) می‌گذرد. معمولاً آخرین مرحله در تصفیه شیمیایی روغن خوراکی، تصفیه با بخار می‌باشد [3]. فرایند بوبری به حذف ترکیبات عامل فساد کمک کرده، مدت ماندگاری را افزایش داده، پایداری طعم را ارتقاء بخشیده و رنگ روغن را کاهش می‌دهد [5]. جز اصلی ساختار تری‌گلسیرول‌ها، اسیدهای چرب می‌باشند و بر اساس نوع و درصد وزنی اسیدهای چرب موجود در روغن‌ها می‌توان به منشا آن‌ها پی برد. میزان اسیدهای چرب با توجه به فاکتورهای اثرگذار روی آن‌ها مانند وارینه گیاهان مورد استفاده در تغذیه دام، اقلیم و عملیات کشاورزی و همچنین نژاد دام تا حدودی تغییر می‌کند. ویژگی‌های روغن‌ها اهمیت بسزایی در

تعیین ماهیت و اصالت آن‌ها دارد [6].

در مطالعات متعددی بوبری روغن و اثرات آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این زمینه می‌توان به تصفیه شیمیایی و بوبری روغن ماهی در دماها و زمان‌های مختلف اشاره کرد. در یک پژوهش ویژگی‌های بوی ماهی، بوی سرخ کردن و بوی تند، عمدتاً با ارزیابی حسی بررسی شد. در نهایت شرایط دمایی 200°C و زمان یک ساعت برای بوبری روغن ماهی توصیه شد [7]. احمدزاده و گلی (1389) برخی از روش‌های جدید بوبری روغن ماهی و نتایج حاصل از آن را مورد بررسی قرار دادند. در ابتدا برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی روغن ماهی با استفاده از روش‌های متداول، اندازه‌گیری و سپس بوگیری به روش شیمیایی و بر مبنای حذف پروتئین‌های موجود در روغن انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که بوبری با استفاده از آمونیم سولفات بهترین کارایی را در پی داشت [8].

از کاربردهای بینی الکترونیک در بخش کشاورزی می‌توان به تشخیص تقلب در روغن [9]، پیش‌بینی زمان برداشت و میزان رسیدگی محصول [10] و تعیین کیفیت محصولات در طول دوره انبارداری [11] اشاره نمود. در یک پژوهش بوبری روغن هسته انار و شاخص‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت این روغن به دو روش حسی و بینی الکترونیک ارزیابی شد. از نتایج ارزیابی حسی مشخص شد بهترین شرایط بوبری وقتی است که نمونه در دمای 150°C ، زمان یک ساعت و دبی گاز 300 میلی‌لیتر بر دقیقه بوبری شود [12].

هدایتی‌فر (1396) در تحقیقی میزان اسیدهای چرب ترانس و اشباع روغن‌های حیوانی و دنبه را مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد در روغن دنبه، مجموع اسیدهای چرب ترانس و اسیدهای چرب اشباع به ترتیب 0/3% و 40/7% است [13]. بیلماز و کاراکایا (2010) چربی دنبه گوسفندی ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد دنبه دارای درصد بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشد که 38% آن را اسید چرب تک غیر اشباع اولئیک تشکیل می‌دهد [14].

جاهوچ-ربایی و همکاران (2008) برای رنگبری روغن زیتون از تکنیک فراصوت در دمای 47°C و زمان‌های 20 تا 45 دقیقه استفاده نمودند. نتایج نشان داد روش فراصوت نسبت به روش متداول رنگبری، توانایی بیشتری در کاهش رنگ در دماهای کمتر و زمان کوتاه‌تر دارد [15].

طرح‌واره دستگاه بوبری روغن مورد استفاده در این پژوهش در شکل 1 آورده شده است. این سامانه شامل مخزن روغن حیوانی از جنس استیل 316، مخزن روغن معدنی (به منظور ایجاد دماهای بالا تا 250°C و جلوگیری از سوختن روغن حیوانی)، پمپ خلا (S5 0006 F, Push, Iran)، دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک (JY92-IIID, Scientz, Taiwan)، کندانسور، کلکتور، فشارسنج، ترموکوپل (TC4S-24R, Autonics, South Korea)، مخزن گاز نیتروژن، دی‌سنج گاز نیتروژن، شیر کنترل یکطرفه و المنت حرارتی (2000 W) بود. در هر مرحله 300 میلی‌لیتر روغن دنبه برای بوبری وارد مخزن روغن حیوانی شد. دی‌سنج گاز نیتروژن در حین فرآیند 2 L/min و فشار مطلق محفظه تحت خلا برابر با mm Hg 20 بود.

با توجه به اهمیت بوبری روغن‌های خوراکی بر ویژگی‌های محصول نهایی و مصرف زیاد روغن دنبه گوسفند در ایران، تحقیق حاضر با هدف بررسی شرایط بهینه کاهش شدت بوی روغن دنبه گوسفند انجام شد. برای این منظور اثرات دما، زمان و توان فراصوت روی شدت بوی روغن دنبه مورد بررسی قرار گرفت و در پایان پروفایل اسیدهای چرب روغن بوبری شده با روغن اولیه مقایسه شد. بررسی‌ها حاکی از آن است که اطلاعات چندانی در خصوص بوبری روغن دنبه با کمک امواج فراصوت و ارزیابی و بهینه‌سازی آن با روش‌های بینی الکترونیک در پژوهش‌های پیشین گزارش نشده است.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تنظیمات دستگاه بوبری

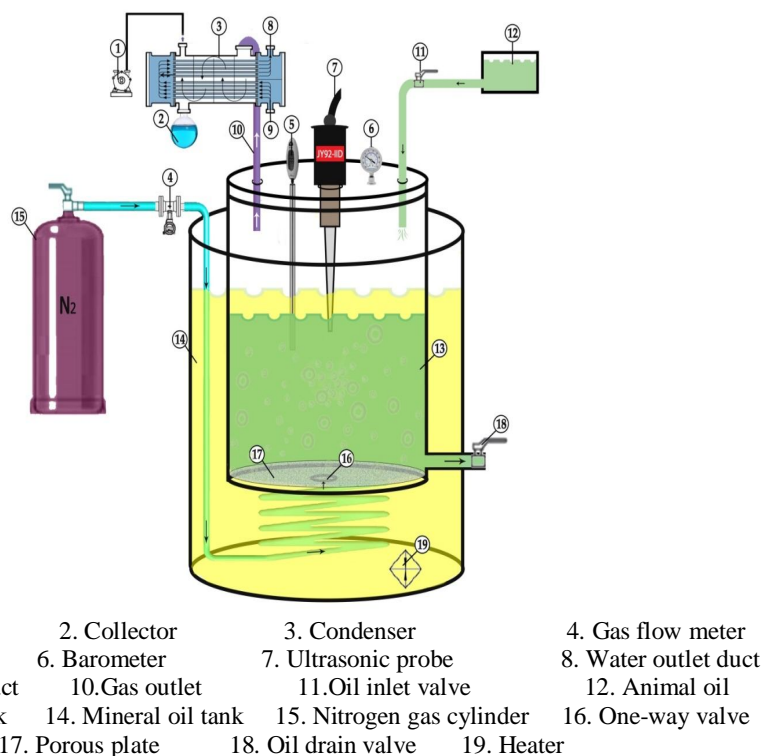


Fig 1 A schematic of the deodorization system

روش، هریک از ارزیاب‌ها محصولات را با استفاده از یک پرسش‌نامه توصیف می‌کنند. در پژوهش حاضر ارزیابی حسی با استفاده از تست هدونیک 9 نقطه‌ای توسط 36 ارزیاب آموزش دیده در محدوده سنی 18 تا 45 سال انجام شد.

2-2- اندازه‌گیری شدت بو

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری شدت بو وجود دارد. قدیمی‌ترین روش مورد استفاده ارزیابی حسی می‌باشد. در این

حسگر است که به منظور آماده‌سازی پاسخ حسگر گازی برای تجزیه و تحلیل انجام می‌شود. پیش پردازش اطلاعات، تاثیر زیادی روی عملکرد روش‌های تشخیص الگو دارد و به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود [17]. در این پژوهش، از رابطه 1 برای نرمال‌سازی و پیش پردازش داده‌های حسگر گازی استفاده شد [18].

$$O = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max}} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در رابطه فوق O: داده نرمال‌سازی شده، V_{\max} : داده بیشینه و V_{\min} : داده کمینه است.

2-3- تعیین پروفایل اسیدهای چرب روغن

دنبه با کروماتوگرافی گازی

کروماتوگرافی گازی یکی از روش‌های کروماتوگرافی است که برای بررسی و جداسازی مواد فرار بدون تجزیه آن‌ها به کار می‌رود. ترکیب اسیدهای چرب روغن دنبه مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره 4091 با استفاده از یک دستگاه کروماتوگرافی گازی اندازه‌گیری شد [19]. دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-FID 6890, Agilent, USA) مورد استفاده مجهز به آشکارساز FID و ستون موئین (CP-) Sill 88, Agilent, USA بود. دمای آشکارساز، محفظه تزریق نمونه و آون به ترتیب 260، 280 و 180°C بود. از گاز نیتروژن با دبی 0/7 میلی‌لیتر بر دقیقه به عنوان گاز حامل استفاده شد.

2-4- تجزیه و تحلیل اطلاعات

جهت آنالیز آماری و تعیین شرایط بهینه از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی² استفاده گردید. فاکتورهای مورد آزمایش دما، زمان و توان فراصوت بودند (جدول 1) که هر کدام در پنج سطح مورد بررسی قرار گرفتند. از تکرار در نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش و محاسبه تکرارپذیری روش استفاده شد. پارامتر به دست آمده در هر آزمون، شدت بو (OD) بود. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 آنالیز و نمودارها ترسیم شد. مناسب بودن مدل با ضریب همبستگی R^2 مورد بررسی قرار گرفت و اهمیت آماری آن با تجزیه و تحلیل آزمون F بررسی شد.

ارزیاب‌ها با بررسی هر پارامتر در محصول مورد ارزیابی به هر نمونه یک امتیاز دادند (به عنوان مثال، 1= شدت بو بسیار زیاد و نامطلوب تا 9= شدت بو بسیار ضعیف و مطلوب) [12]. یک روش دیگر برای ارزیابی بو استفاده از بینی الکترونیک است. بینی الکترونیک از ترکیبات فرار برای شناسایی و دسته‌بندی نمونه‌ها استفاده می‌کند. در این پژوهش برای طبقه‌بندی بوی روغن دنبه در حالت‌های مختلف بوبری از سامانه چند حسگری ماشین بویایی بر پایه حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی¹ استفاده شد. این سامانه توسط کرامت جهرمی و همکاران (2019) به منظور ایجاد روشی سریع، حساس و قابل اطمینان طراحی و ساخته شد. کرامت جهرمی و همکاران (2019) در پژوهش مذکور هشت حسگر مختلف را برای شناسایی موثرترین حسگر در طبقه‌بندی نمونه‌های مختلف بررسی نمودند که در نهایت حسگر TGS 822 به عنوان موثرترین حسگر در ارزیابی بوی نمونه‌ها در نظر گرفته شد [16]. شکل 2 سامانه ماشین بویایی مورد نظر را نشان می‌دهد.

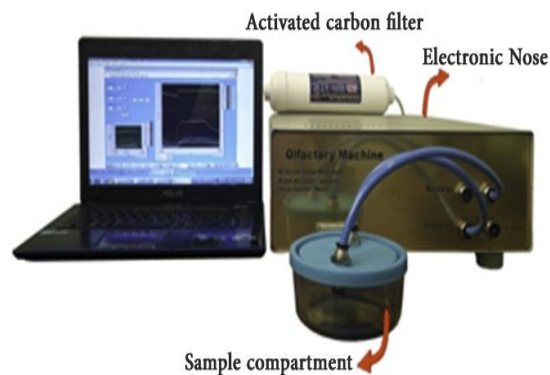


Fig 2 Electronic nose system [16]

به منظور ارزیابی سامانه بویایی، نمونه‌های بوبری شده در محفظه نمونه قرار گرفت. 20 گرم روغن دنبه ذوب شده در دمای 50 درجه سلسیوس به مدت 30 دقیقه درون محفظه نمونه (با حجم 200 میلی‌لیتر) نگه داشته شد تا به منظور انجام آزمایش‌ها، رایحه روغن دنبه به محفظه نمونه منتقل شود. سپس آزمایش‌های ماشین بویایی انجام شد. اولین مرحله در تجزیه و تحلیل داده‌های حسگر گازی، پیش پردازش پاسخ

2. Central Composite Design

1. Metal-Oxide Semiconductor (MOS)

Table 1 Coded and actual values of independent variables used for central composite design in the deodorization of sheep tail fat

Symbol	Variables	Levels				
		-1.68	-1	0	+1	+1.68
X ₁	Temperature (°C)	119.55	140	170	200	220.45
X ₂	Time (min)	9.55	30	60	90	110.45
X ₃	Ultrasonic power (W)	22.05	80	165	250	307.95

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی شدت بو

3-1-1- روش ارزیابی حسی

(X₂) و توان دوم درجه حرارت (X₁²) اثرات بسیار زیادی (P < 0/01) روی کاهش شدت بوی روغن دنبه داشتند. پارامترهای توان فراسوت (X₃)، اثر متقابل زمان و دما (X₁X₂) و توان دوم پارامترهای زمان و توان فراسوت (X₃²) و (X₂²) نیز اثر معنی‌داری (P < 0/05) بر کاهش شدت بوی روغن داشتند. ضریب همبستگی برای امتیاز ارزیاب‌ها 0/9770 بدست آمد.

شدت بوی نمونه‌های روغن به روش هدونیک 9 نقطه‌ای ارزیابی شد. جدول 2 نتایج آنالیز واریانس ارزیابی شدت بو به روش حسی را نشان می‌دهد. مقادیر p-value از نتایج ANOVA نشان داد که درجه حرارت (X₁)، زمان بوبری

Table 2 The results of ANOVA analysis of response surface model for odor intensity estimated by sensorial evaluation in deodorization of sheep tail fat

Source	Sum of squares	Degree of freedom	F-value	p-value
Odor (R ² = 0.9770)				
Model	38.41	7	72.69	< 0.0001
X ₁	32.14	1	425.79	< 0.0001
X ₂	1.18	1	15.67	0.0019
X ₃	0.51	1	6.71	0.0236
X ₁ X ₂	0.48	1	6.36	0.0268
X ₁ ²	3.60	1	47.74	< 0.0001
X ₂ ²	0.44	1	5.83	0.0326
X ₃ ²	0.55	1	7.33	0.0190
Residual	0.91	12		
Lack of Fit	0.79	7	4.82	0.0511 ^{ns}
Pure Error	0.12	5		
Correction total	39.31	19		

P < 0.05 indicates statistical significance. X₁: Temperature, X₂: Time, X₃: Ultrasonic power, and ns: not significant.

در شکل 3 نشان داده شده است. اثرات درجه دوم پارامترها همان‌طور که از نمودار پیداست، سبب حالت انحنا در نمودار شدند. از رابطه 2 و شکل 3 مشاهده می‌شود با افزایش درجه حرارت و مدت زمان بوبری، امتیاز ارزیاب‌ها به روغن دنبه بوبری شده افزایش یافته است. دلیل افزایش بوبری با افزایش درجه حرارت را می‌توان به خاطر نقطه جوش پایین‌تر ترکیبات فرار روغن دانست که با افزایش دما با سرعت بیشتری وارد فاز گازی می‌شوند. در مورد زمان بوبری می‌توان به این نکته اشاره کرد که با گذشت زمان ترکیبات فرار، مدت زمان بیشتری برای تماس با گاز نیتروژن دارند بنابراین با افزایش

مدل سطح پاسخ بدست آمده برای شدت بوی روغن بر اساس معادله چند جمله‌ای مرتبه دوم برای فاکتورهای معنی‌دار به شرح زیر است:

رابطه 2

$$OD1 = -23.18361 + 0.25637 X_1 + 0.079388 X_2 + 0.011216 X_3 - 2.72222 \times 10^{-4} X_1 X_2 - 5.55584 \times 10^{-4} X_1^2 - 1.94174 \times 10^{-4} X_2^2 - 2.71239 \times 10^{-5} X_3^2$$

که در این رابطه OD1 نشان دهنده شدت بوی روغن در روش ارزیابی حسی می‌باشد.

نمودار سه بعدی سطح پاسخ تأثیر پارامترهای دما، زمان و توان فراسوت بر شدت بو در ارزیابی حسی روغن دنبه بوبری شده

سه عامل در کاهش بو موثر بوده‌اند.

زمان، میزان بوبری افزایش می‌یابد. در کل بوبری روغن دنبه با افزایش دما، زمان و توان فراصوت افزایش یافته است و هر

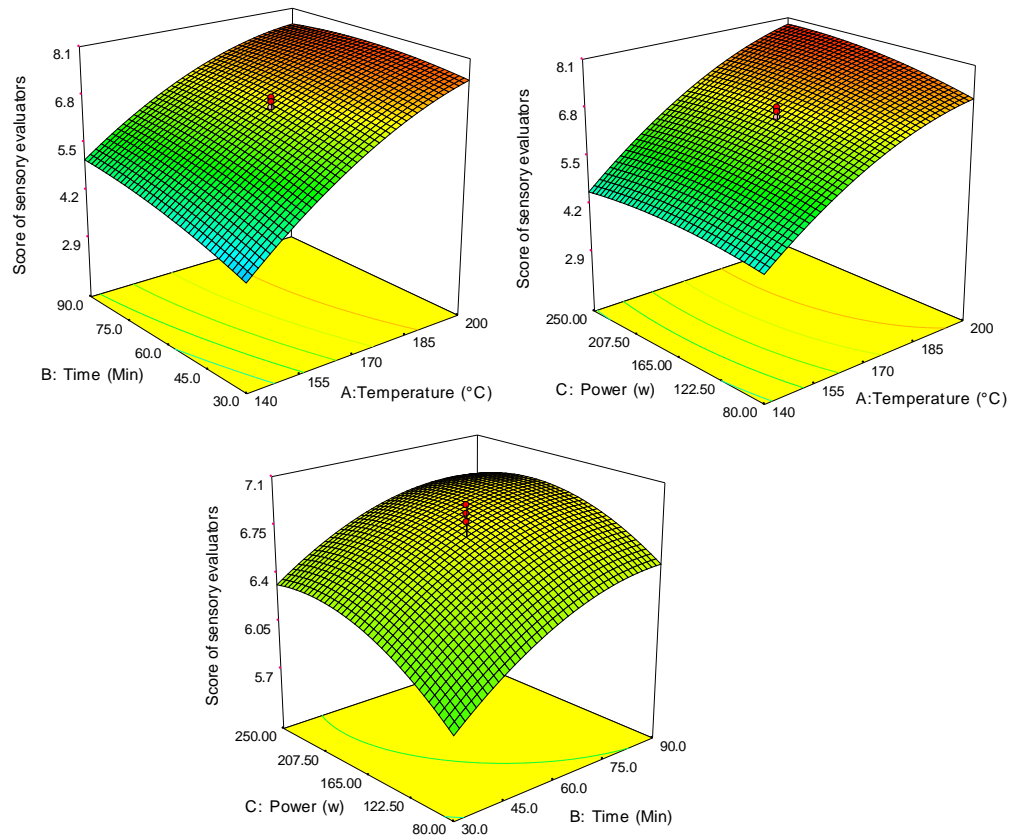


Fig 3 The effects of different parameters on sensorial evaluation scores of sheep tail fat after deodorization (A: Temperature, B: Time, and C: Ultrasonic power)

سطح 1% ($P < 0/01$) بر شدت بوی روغن دنبه معنی‌دار است و پارامترهای زمان (X_2)، توان فراصوت (X_3) و اثر متقابل زمان و دما (X_1X_2) نیز بر شدت بو اثر معنی‌دار ($P < 0/05$) دارند.

3-1-2- روش ماشین بویایی

نتایج تجزیه واریانس بررسی اثر پارامترهای دما، زمان و توان فراصوت بر پاسخ شدت بو به روش بینی الکترونیک در جدول 3 آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد درجه حرارت (X_1)

Table 3 The results of ANOVA analysis of response surface model for odor intensity estimated by electronic nose in deodorization of sheep tail fat

Source	Sum of squares	Degree of freedom	F-value	p-value
Odor ($R^2=0.9372$)				
Model	0.13	4	55.97	< 0.0001
X_1	0.12	1	197.91	< 0.0001
X_2	8.65×10^{-3}	1	14.68	0.0016
X_3	3.57×10^{-3}	1	6.05	0.0266
X_1X_2	3.08×10^{-3}	1	5.22	0.0372
Residual	8.84×10^{-3}	15		
Lack of Fit	7.77×10^{-3}	10	3.63	0.0837 ns
Pure Error	1.07×10^{-3}	5		
Correction total	0.14	19		

$P < 0.05$ indicates statistical significance. X_1 : Temperature, X_2 : Time, X_3 : Ultrasonic power and ns: not significant.

الکترونیک در شکل 4 آورده شده است. نمودار نشان می‌دهد که شدت بوی روغن دنبه بوبری شده با افزایش درجه حرارت به شدت کاهش می‌یابد و نشان دهنده این نکته است که در دماهای بالاتر ترکیبات فرار بیشتری از روغن جدا شده‌اند. همچنین میزان شدت بو با افزایش زمان و توان فراصوت به مقدار کمتری نسبت به درجه حرارت کاهش می‌یابد. در این شکل نیز روند تقریباً مشابهی با روش ارزیابی حسی مشاهده می‌شود و با افزایش همزمان دو پارامتر زمان و دمای بوبری، شدت بو کاهش مشهودی دارد.

پاسخ شدت بو بر اساس پارامترهای معنی‌دار در بوبری روغن با روش سطح پاسخ مدل شد که مدل بدست آمده براساس معادله چند جمله‌ای به صورت زیر می‌باشد:

رابطه 3

$$OD2 = 1.18171 - 4.38882 \times 10^{-3} X_1 - 4.54511 \times 10^{-3} X_2 - 1.90076 \times 10^{-4} X_3 + 2.18004 \times 10^{-5} X_1 X_2$$

که در این رابطه OD2 نشان دهنده شدت بوی روغن در روش بینی الکترونیک می‌باشد. ضریب همبستگی برای شدت بوی روغن دنبه توسط بینی الکترونیکی 0/9372 بدست آمد. نمودار سطح پاسخ سه بعدی شدت بو به روش بینی

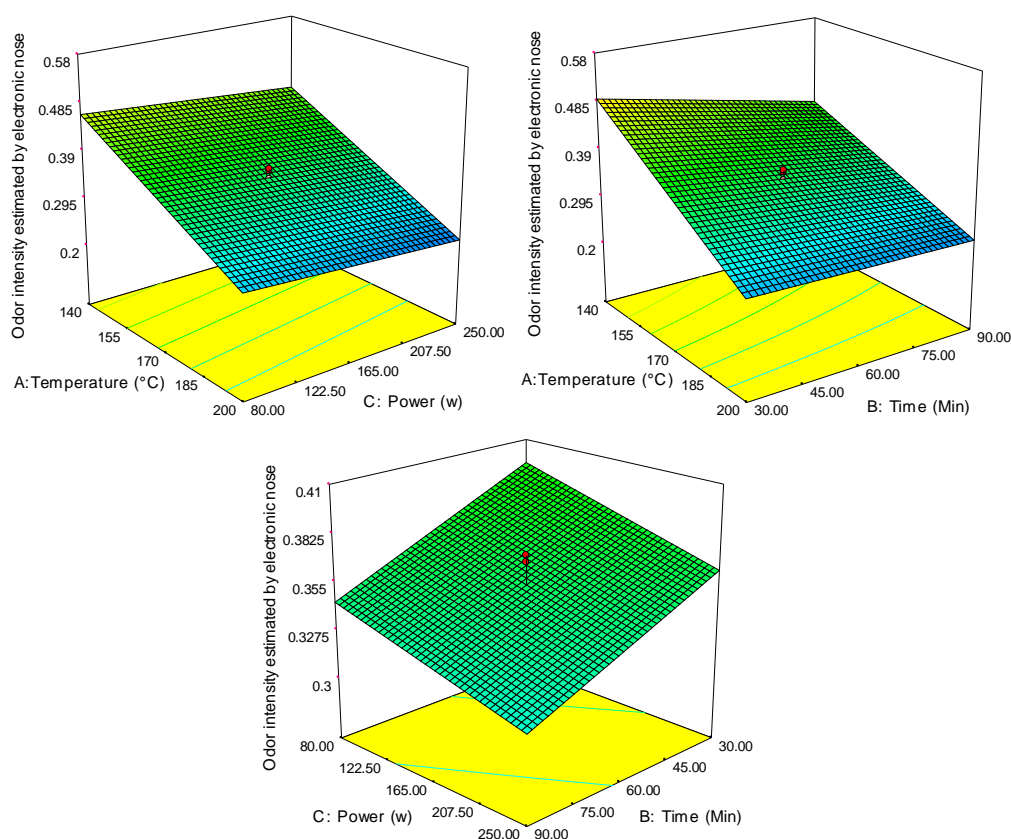


Fig 4 The effects of different parameters on sheep tail fat odor intensity estimated by electronic nose after deodorization (A: Temperature, B: Time, and C: Ultrasonic power)

100°C برای تبخیر ترکیبات فرار کافی نبوده اما افزایش درجه حرارت بالاتر از 150°C (150، 200، 250°C) به میزان قابل توجهی خروج ترکیبات فرار از روغن را افزایش داد [25]. چو و همکاران (2017) در تصفیه و بوبری روغن دانه کنان پارامترهای بهینه دمای 220°C و زمان 1/5 ساعت را بدست آوردند [21]. در یک پژوهش از امواج فراصوت در دمای بالا برای استخراج کافئین و ترکیبات عامل عطر و طعم از قهوه

ریادی و همکاران (2016) روغن پالم را بوبری نمودند و گزارش کردند افزایش دما می‌تواند شدت بو را کاهش دهد. بوی روغن در دمای 150°C به مدت 2 ساعت به میزان قابل توجهی کاهش یافت [20]. مطالعات انجام شده روی بوبری روغن دمای 200 تا 250°C و زمان 1 تا 2 ساعت در شرایط خلا را برای بوبری پیشنهاد نمودند [21-24]. وی و همکاران (2015) گزارش دادند که بوبری روغن بذر چای در دمای

زمان و توان فراصوت، و همچنین شدت بوی پیش‌بینی شده توسط مدل در حالت بهینه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده برای پاسخ‌ها اختلاف معنی‌داری ($p < 0/05$) وجود ندارد که نشان می‌دهد مدل‌ها برای پیش‌بینی پاسخ‌ها مناسب می‌باشند. با استفاده از دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا، داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های آزمایشی مقایسه شدند که نتایج در جدول 4 آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود این مدل‌ها با ضرایب همبستگی بالا (بیش از 0/90) و میانگین مربعات خطای پایین (کمتر از 0/07) قادر به پیش‌بینی روند تغییرات پاسخ‌ها بودند. بنابراین، می‌توان با اطمینان بالا از این مدل‌ها برای بهینه‌سازی و کنترل فرایند بوبری استفاده نمود که این امر می‌تواند به صرفه‌جویی در انرژی و زمان منجر شود.

با در نظر گرفتن هر دو روش حسی و ماشین بویایی می‌توان به این نتیجه رسید که هر دو روش، کاهش بوی روغن دنبه را طی مراحل بوبری نشان می‌دهند و سامانه ماشین بویایی به عنوان یک روش غیر مخرب برای پایش و کنترل فرایند بوبری روغن‌های حیوانی قابل استفاده می‌باشد. همچنین مقایسه نتایج دو روش ارزیابی مویید این مطلب است که ارزیابی‌های حسی به خوبی آموزش دیده بودند و توانایی تشخیص بوی روغن دنبه را داشتند.

استفاده شد. نتایج نشان داد در دمای بالا و به کمک امواج فراصوت خروج ترکیبات عطر و طعمی قهوه به سرعت انجام می‌شود [26]. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر که نشان می‌دهد افزایش دما و زمان در حضور امواج فراصوت باعث کاهش شدت بوی روغن می‌شود همخوانی دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود امواج فراصوت خروج ترکیبات عامل بو را از روغن تسریع می‌کنند که این پدیده می‌تواند به دلیل ایجاد کائیتاسیون در حضور امواج فراصوت باشد. وقتی که حباب‌های گاز نیتروژن در اثر انقباض و انبساط‌ها رشد کرده و در نهایت در مرز بین دو فاز روغن و گاز نیتروژن متلاشی شوند، انفجار حباب‌ها باعث ایجاد اغتشاشات شدید و تلاطم‌های گرداب گونه و همین‌طور ایجاد حباب‌های کوچک‌تر می‌شود. تبدیل حباب‌های بزرگ به حباب‌های کوچک‌تر و ایجاد جریان‌های گردابی سطح تماس را در لایه مرزی بین روغن و گاز نیتروژن زیاد کرده و سرعت انتقال جرم در سیستم را افزایش می‌دهند و در نتیجه جداسازی ترکیبات فرار از روغن بهتر صورت می‌گیرد [27].

برای تعیین نقاط بهینه متغیرهای مستقل در بوبری روغن دنبه، از روش سطح پاسخ استفاده شد. پارامترهای بهینه در این مطالعه دمای 162°C ، زمان 110 دقیقه و توان اولتراسونیک 165 W بدست آمد که بر اساس این مقادیر بهینه، پاسخ‌های شدت بو محاسبه شدند. جدول 4 نتایج آزمایش شدت بوی روغن بوبری نشده و روغن بوبری شده در شرایط بهینه دما،

Table 4 Odor intensity of crude oil and experimental and predicted values of the responses in sheep tail fat after deodorization under optimized conditions

Responses	Crude oil	deodorized under optimized conditions		RMSE	R ²
		Experimental	Predicted		
OD1	3.80	6.92±0.35	6.59	0.0649	0.9770
OD2	0.584	0.312±0.016	0.326	0.0146	0.9372

OD1: Score of odor estimated by sensorial evaluation, OD2: Odor intensity estimated by electronic nose.

اشباع (پالمیتیک، استئاریک، مارگاریک و میریستیک) و مابقی (53/28%) را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل داده که عمده‌ترین آن‌ها اسید اولئیک (39/67%) است. این روغن به علت دارا بودن مقدار بالای اسید اولئیک نسبت به سایر روغن‌ها از نظر ارزش غذایی و پایداری از پتانسیل مناسبی برای پخت و پز برخوردار می‌باشد. غالب بودن اسید اولئیک (C18:1 n9) در ترکیب اسیدهای چرب روغن دنبه قبلاً گزارش شده است. ترکیب اسیدهای چرب و خصوصیات

3-2- بررسی اسیدهای چرب روغن دنبه قبل و

بعد از بوبری

اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب روغن دنبه با دستگاه کروماتوگرافی گازی انجام شد. مقایسه درصد اسیدهای چرب روغن دنبه قبل و بعد از بوبری روغن (در نقطه بهینه) در جدول 5 آورده شده است. در مجموع می‌توان گفت که حدود 46/72% از اسیدهای چرب روغن دنبه را اسیدهای چرب

فیزیکی و شیمیایی دنبه نژادهای مختلف گوسفندان ایرانی توسط محققینی چون خورگامی و همکاران (1372)، امام جمعه و همکاران (1374)، علی پناه (1374) و قراچورلو (1385) مورد بررسی قرار گرفته است. این محققان گزارش

دادند قسمت اعظم اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن دنبه را اسید اولئیک تشکیل می‌دهد و پس از آن اسید پالمیتیک و اسید استئاریک در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند [2، 13 و 28-30].

Table 5 Fatty acid composition of sheep tail fat before and after deodorization in optimal condition

	Fatty acids (%)												
	C14:0	C14:1	C16:0	C16:1	C17:0	C17:1	C18:0	C18:1 T	C18:1 n9	C18:1 n11	C18:2 T	C18:2	C18:3
Before deodorization	5.23 ^a	1.74 ^a	25.87 ^a	3.37 ^a	2.55 ^a	1.78 ^a	13.07 ^a	1.44 ^a	39.67 ^a	0.43 ^a	0.37 ^a	3.31 ^a	1.17 ^a
Optimal condition	5.26 ^a	1.85 ^a	26.36 ^a	3.29 ^a	2.71 ^a	1.75 ^a	13.63 ^b	1.88 ^a	38.24 ^a	0.38 ^a	0.36 ^a	3.58 ^a	0.71 ^b

Values in the same column followed by the same letters are not significantly different ($P < 0.05$).

1/17 به 0/71 گرم در 100 گرم روغن رسیده است. با توجه به پایداری حرارتی کم اسید چرب لینولنیک احتمالاً بخشی از آن به ایزومر ترانس تبدیل شده است. همچنین مقداری از این اسید چرب در دمای بالای مورد استفاده در فرایند بوبری اکسید و به محصولات اولیه و ثانویه حاصل از اکسیداسیون تبدیل شده که عمده این ترکیبات با توجه به فراریت آن‌ها در فرایند بوبری از روغن جدا می‌شوند [31-32].

یکسان بودن ترکیب اسیدهای چرب و تفاوت بسیار کم آن‌ها قبل و بعد از بوبری با کمک امواج فراصوت تاکید بر این مطلب دارد که امواج فراصوت اثر تخریبی و اکسایشی بر روغن ندارند. این نتایج یافته‌های دیگر محققان که گزارش مشابهی از تخریبی نبودن امواج فراصوت بر روغن دارند را تایید می‌کند [33-34]. چمات و همکاران (2004) تأثیر امواج فراصوت را بر ساختار اسیدهای چرب روغن‌های گیاهی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ترکیب اسید چرب روغن‌های گیاهی در مقابل امواج فراصوت تغییری نمی‌کند [35]. فشنندی و همکاران (1393) به بررسی استفاده از امواج فراصوت در فرایند صمغ‌گیری روغن‌های سویا و آفتابگردان به منظور کاهش دما و زمان فرایند و مقایسه این تکنیک با روش متداول صمغ‌گیری پرداختند و نشان دادند امواج فراصوت در ترکیب اسیدهای چرب تغییر چندانی ایجاد نمی‌کند. این امواج در دما و زمان پایین‌تری نسبت به روش متداول، قادر به جداسازی فسفر از روغن خام بوده و به عنوان روشی جایگزین برای روش متداول صمغ‌گیری در مجاورت آب، اثر مخربی روی ترکیب اسیدهای چرب روغن ندارند [36]. عباسی و

همانطور که در جدول 5 مشاهده می‌شود میزان اسید اولئیک در روغن دنبه از دیگر اسیدهای چرب بیشتر است و همین مقدار قابل توجه اسید اولئیک سبب می‌شود که استفاده از روغن دنبه بیشتر مورد توجه قرار گیرد. بعد از اسید اولئیک، اسید پالمیتیک (25/87%) دومین اسید چرب است که به میزان قابل توجهی در روغن دنبه وجود دارد. دیگر اسیدهای چرب روغن دنبه اسید لینولنیک 1/17، اسید لینولئیک 3/31، اسید واکسنیک 0/43، اسید استئاریک 13/07، اسید هپتادکانوئیک 1/78، اسید پالمیتولئیک 3/37، اسید مارگاریک 2/55، اسید مریستولئیک 1/74، اسید مریستیک 5/23، اسید ترانس لینولئیک 0/37 و اسید ترانس الئیدیک 1/44 گرم در 100 گرم روغن می‌باشند.

مقایسه پروفایل اسیدهای چرب روغن دنبه قبل و بعد از بوبری با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان اسیدهای چرب روغن بوبری شده در مقایسه با چربی اولیه مشاهده نمی‌شود. آنچه که از جدول 5 مشهود است یکسان بودن ترکیب و نوع اسیدهای چرب قبل و بعد از بوبری و تغییر جزئی مقدار اسیدهای چرب در طول بوبری می‌باشد. این بدین معنی است که ترکیب اسیدهای چرب روغن تحت تأثیر امواج فراصوت قرار نمی‌گیرد. همچنین عدم تغییر درصد اسیدهای چرب را می‌توان به پایین بودن میزان اکسایش، تخریب تری گلیسریدها یا هر واکنش شیمیایی که به تغییر ساختار اسیدهای چرب روغن مرتبط باشد نسبت داد. طبق نتایج ارائه شده در جدول 5 مقدار اسید چرب لینولنیک به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده و از

5- منابع

- [1] Bashiri, P., & Fateme. H. 2004. Fractionation of beef tallow for proper food application. *Iranian Journal of Food Science and Technology*: 11-19. [In Persian].
- [2] Imam Jomeh, N., Ali Panah, M., & Egbaleh, A. 1995. Evaluation of fatty acids in sheep tail fat, visceral fat and meat of Iranian three-lamb sheep. *Proceedings of the First Iranian Sheep and Goat Research Conference*. Iranan National Animal Science Research Center. Tehran. Iran: 223-230. [In Persian].
- [3] Belitz, H.D., & Grosch, W. 1999. *Edible fats and oils*. Food Chemistry. Springer, Berlin, Heidelberg. 602-630.
- [4] MacKenzie, A.D., & Stevenson, D.E. 2000. Production of high-oleic acid tallow fractions using lipase-catalyzed directed interesterification, using both batch and continuous processing. *Enzyme and Microbial Technology* 27: 302-311.
- [5] Akterian, S. 2009. Modelling and evaluating the batch deodorization of sunflower oil. *Journal of Food Engineering* 91: 29-33.
- [6] Ruiz-Méndez, M.V. 2011. Contribution of denaturing and deodorization processes of oils to toxic oil syndrome. *Chemico-Biological Interactions* 192: 142-144.
- [7] de Oliveira, D.A., Minozzo, M.G., Licodiedoff, S., & Waszczynskyj, N. 2016. Physicochemical and sensory characterization of refined and deodorized tuna (*Thunnus albacares*) by-product oil obtained by enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry* 207: 187-194.
- [8] Ahmadzadeh, S., & Goli, A.H. 2010. Evaluation of new methods to deodorize crude fish oil. 3rd International Seminar on Oil Seeds and Edible Oils. Tehran. [In Persian].
- [9] Oliveros, M.C.C., Pavón, J.L.P., Pinto, C.G.A., Laespada, M.E.F., Cordero, B.M., & Forina, M. 2002. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as a fast alternative for the detection of adulteration of virgin olive oils. *Analytica Chimica Acta* 459: 219-228.
- [10] Yang, W., Yu, J., Pei, F., Mariga, A.M., Ma, N., Fang, Y., & Hu, Q. 2016. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-

همکاران (1393) در رنگبری روغن سویا با امواج فراصوت تایید کردند به کارگیری این امواج در فرایند رنگبری روغن، میزان رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید را در حد مطلوبی کاهش داده است و می‌تواند یک جایگزین بالقوه برای روش‌های معمول رنگبری باشد. در این پژوهش گزارش شد استفاده از امواج فراصوت روی ترکیب اسیدهای چرب روغن تأثیری نداشته و به عنوان روشی سالم و ایمن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [37]. با توجه به اینکه ساختار شیمیایی و نسبت اسیدهای چرب نقش اساسی در خصوصیات شیمیایی روغن دارد و حتی حالت فیزیکی روغن نیز تحت تأثیر این امر قرار می‌گیرد، می‌توان ثبات در ترکیب اسیدهای چرب را دلیلی بر مناسب و مفید بودن تیمار فراصوت در فرایند بوبری روغن دانست.

4- نتیجه گیری

در این مطالعه، اثرات دما، زمان و توان فراصوت بر شدت بوی روغن دنبه گوسفند در مرحله بوبری بررسی و شرایط بهینه پارامترهای مورد نظر با استفاده از روش آماری سطح پاسخ تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که مدل‌های رگرسیونی از نظر آماری در سطح معنی‌داری $P < 0/01$ 1% برای پاسخ شدت بو (به روش حسی و بینی الکترونیک) مناسب بودند. نتایج ارزیابی حسی بیانگر آن بود که به کارگیری امواج فراصوت تأثیر کمتری در مقایسه با دو پارامتر دیگر بر شدت بوی روغن دنبه دارد. همچنین نتایج آنالیز واریانس روش ماشین بویایی نشان داد که امواج فراصوت اثر معنی‌داری بر شدت بوی روغن دارد. شرایط بهینه در این تحقیق برای بوبری روغن دنبه، دمای 162 درجه سلسیوس، زمان 110 دقیقه و توان فراصوت 165 وات به دست آمد. مدل‌های معرفی شده در این مطالعه برای بهبود فرآیند بوبری روغن دنبه گوسفند و تهیه محصولی با خصوصیات غذایی و کیفی مناسب جهت استفاده در صنایع غذایی مفید است. بر اساس نتایج آزمون دانکن اختلاف معناداری بین ترکیب اسیدهای چرب نمونه کنترل و نمونه بوبری شده وجود ندارد. بنابراین امواج فراصوت تأثیری بر ترکیب شیمیایی نمونه نداشته است و به عنوان روشی سالم و ایمن در بوبری روغن می‌تواند استفاده شود.

- [21] Chew, S.C., Tan, C.P., & Nyam, K.L. 2017. Application of response surface methodology for optimizing the deodorization parameters in chemical refining of kenaf seed oil. *Separation and Purification Technology* 184: 144-151.
- [22] Karabulut, I., Topcu, A., Yorulmaz, A., Tekin, A., & Ozay, D.S. 2005. Effects of the industrial refining process on some properties of hazelnut oil. *European Journal of Lipid Science and Technology* 107: 476-480.
- [23] Ortega-García, J., Gámez-Meza, N., Noriega-Rodríguez, J.A., Dennis-Quiñonez, 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.
- [24] Widarta, I.W.R., Andarwulan, N., & Haryati, T. 2012. Optimasi proses deasidifikasi dalam pemurnian minyak sawit merah skala pilot plant [Optimization of Deacidification Process in Red Palm Oil Purification on Pilot Plant Scale]. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 23 (1): 41-47.
- [25] Wei, J., Chen, L., Qiu, X., Hu, W., Sun, H., Chen, X., Bai, Y., Gu, X., Wang, C., Chen, H., & Hu, R. 2015. Optimizing refining temperatures to reduce the loss of essential fatty acids and bioactive compounds in tea seed oil. *Food and Bioproducts Processing* 94: 136-146.
- [26] Wang, C.C., Chou, Y.Y., Sheu, S.R., Jang, M.J., & Chen, T.H. 2011. Application of ultrasound thermal process on extracting flavor and caffeine of coffee. *Thermal Science* 15 (1): 69-74.
- [27] Shotipruk, A., Kaufman, P.B., & Wang, H.Y. 2001. Feasibility study of repeated harvesting of menthol from biologically viable menthaxpiperata using ultrasonic extraction. *Biotechnology Progress* 17 (5): 924-928.
- [28] Khorgami, M.H., Ganjali, M.R., & akhgar, M.R. 1993. Investigation of physical and chemical properties of tail fat oil and its esterified root exchange. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 2: 66-72. [In Persian].
- [29] Aliepanah, M. 1995. Evaluation of fat characteristics of Baluchi, Kurdish, and Badghis sheep. M.Sc. thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. [In SPME-GC-MS and electronic nose. *Food Chemistry* 196: 860-866.
- [11] Wei, Z., Wang, J., & Zhang, W. 2015. Detecting internal quality of peanuts during storage using electronic nose responses combined with physicochemical methods. *Food Chemistry* 177: 89-96.
- [12] Zakeri, T. 2013. Designing of pomegranate seed oil deodorization process. M.Sc. thesis. Department of Food Science and Engineering. University of Tehran. [In Persian].
- [13] Hedayatifar, R. 2017. Evaluation the rate of trans fatty acids isomers in ghee and tail sheep consumption in Lorestan. *Lorestan University of Medical Sciences Journal* 19 (2): 1-8. [In Persian].
- [14] Yılmaz, M., & Karakaya, M. 2010. Thermal analysis of lipids isolated from various tissues of sheep fats. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 101: 403-409.
- [15] Jahouach-Rabai, W., Trabelsi, M., Van Hoed, V., Adams, A., Verhé, R., De Kimpe, N., & Frikha, M. 2008. Influence of bleaching by ultrasound on fatty acids and minor compounds of olive oil. Qualitative and quantitative analysis of volatile compounds (by SPME coupled to GC/MS). *Ultrasonics Sonochemistry* 15: 590-597.
- [16] Keramat-Jahromi, M., Mohtesabi, S.A.Q., Musa Zadeh, H., Ghasemi Varnamekhati, M., Rafiei, S., & Sondi Roman, A. 2019. Evaluation of a machine olfaction to classify the quality of dried date fruit by electrohydrodynamic, hot air, and the hybrid drying techniques. *Iranian Biosystems Engineering* 50 (1): 241-251. [In Persian].
- [17] Pearce, T.C., Schiffman, S.S., Nagle, H.T., & Gardner, J.W. 2003. *Handbook of Machine Olfaction*. Willy-VCH. Weinheim.
- [18] Scott, S.M., James, D., & Ali, Z. 2006. Data analysis for electronic nose systems. *Microchimica Acta* 156: 183-207.
- [19] Iranian National Standardization Organization, Animal and vegetable fats and oils analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids (No. 4091). 1997. [In Persian].
- [20] Riyadi, A.H., Muchtadi, T.R., Andarwulan, N., & Haryati, T. 2016. Pilot Plant Study of Red Palm Oil Deodorization Using Moderate Temperature. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9: 209-216.

- High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International* 37: 731-738.
- [34] Zhang, Z.S., Wang, L.J., Li, D., Jiao, S.S., Chen, X.D., & Mao, Z.H. 2008. Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology* 62: 192-198.
- [35] Chemat, S., Lagha, A., Amar, H.A., & Chemat, F. 2004. Ultrasound assisted microwave digestion. *Ultrasonics Sonochemistry* 11: 5-8.
- [36] Fashandi, H., Ghavami, M., Gharachorloo M., & Abbasi, R. 2016. Application of ultrasound in degumming of soybean and sunflower oils. *Journal of Food Industry Research* 26 (1): 13-21. [In Persian].
- [37] Abbasi, R., Gharachorloo, M., Ghavami, M., & Asadi, G.H. 2014. Application of ultrasonic waves in bleaching of soybean oil and determination of time and temperature for ultrasonic bath. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 9 (2): 75-84. [In Persian].
- Persian].
- [30] Gharachorloo, M. 2006. Evaluation of fractionation quality and improvement of animal fat quality properties for production of oils with suitable applied properties in food industry. Ph.D. thesis. Department of Food Science and Technology. Islamic Azad University-Science and Research Branch. [In Persian].
- [31] Hénon, G., Kemény, Z., Recseg, K., Zwobada, F., & Kovari, K. 1999. Deodorization of vegetable oils. Part I: Modelling the geometrical isomerization of polyunsaturated fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76 (1): 73-81.
- [32] Guillen, M.D., & Goicoechea, E. 2009. Oxidation of corn oil at room temperature: Primary and secondary oxidation products and determination of their concentration in the oil liquid matrix from ¹H nuclear magnetic resonance data. *Food Chemistry* 116 (1): 183-192.
- [33] Li, H., Pordesimo, L., & Weiss, J. 2004.

Ultrasound-assisted deodorization of sheep tail fat and evaluation of odor intensity using electronic nose and sensorial analysis

Doosti, A. ¹, Jafarinaimi, K. ², Balvardi, M. ^{3*}, Mortezapour, H. ²

1. Ph.D. student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
3. Assistant Professor, Department of food science and technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

(Received: 2019/12/30 Accepted:2020/03/09)

Sheep tail fat is a suitable frying oil due to its good flavor and oxidation stability. This oil with its useful fatty acids can play a beneficial effect on consumer health. The refining processes of sheep tail oil, including its deodorization, have high importance in the enhancement of the oil quality. Deodorization is a separation process in which a certain amount of the volatile compounds separator gas passes through the hot oil under vacuum condition and removes the volatile and odorous compounds from the oil. In this study, the ultrasound-assisted deodorization of sheep tail fat was carried out and the effects of temperature, time, and ultrasonic power on odor intensity during the deodorization process were investigated using the response surface methodology. The intensity of the odor was assessed by electronic nose and sensorial evaluation. Also, the fatty acid composition was compared before and after the deodorization process. The results of fatty acids profile showed that about 46.72% of sheep tail oil fatty acids were saturated fatty acids (palmitic, stearic, margaric, and myristic) and the rest (53.28%) was unsaturated fatty acids, which the majority of them was oleic acid (39.67%). According to the results of analysis of variance, the composition and kind of the fatty acids before and after the deodorization were close together and the amount of fatty acids changed slightly during the deodorization. Finally, the optimized conditions at the temperature of 162 °C, the time of 110 min and the ultrasonic power of 165 W were determined using electronic nose and sensory evaluation for ultrasound-assisted deodorization of sheep tail oil.

Keywords: Ultrasound, Fatty acids, Deodorization, Volatile compounds, Response surface methodology.

* Corresponding Author E-mail Address: mbalvardi@uk.ac.ir