

مروری بر پارامترهای موثر در فرآیند بوبری روغن های خوراکی

آسیه دوستی^۱، مرضیه حسین پور^{۲*}، کاظم جعفری نعیمی^۳

۱- دانش آموخته دکتری تخصصی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

* ایمیل نویسنده مسئول: marziyehoseinpoor@yahoo.com

چکیده

وجود ناخالصی‌ها در روغن سبب تیرگی، کف کردن یا دود کردن و تشکیل رسوب در هنگام حرارت دادن روغن، کاهش پایداری روغن در مقابل اکسیداسیون و سایر واکنش‌هایی می‌شود که در جریان فرایند روغن‌گیری مشکلاتی را پدید آورده و از کیفیت محصول نهایی می‌کاهد. این ناخالصی‌ها شامل اسیدهای چرب آزاد، فسفاتیدها و سایر مواد صمغی، موم‌ها، رنگدانه‌ها، پراکسیدها و مواد حاصل از اکسیداسیون، فلزات کمیاب و غیره هستند. بوبری یک فرآیند جداسازی است که در آن مقدار مشخصی از عامل جداساز در مدت زمان معینی از میان روغن داغ تحت فشار پایین می‌گذرد و ترکیبات فرار و عامل ایجاد بو را از روغن خارج می‌کند. بوبری یکی از مراحل حساس و بحرانی تصفیه به شمار رفته و اثر مهمی بر کیفیت روغن تصفیه شده دارد. در این مقاله به بررسی پارامترهای فرایند بوبری روغن‌های خوراکی، مروری بر تحقیقات انجام شده در این زمینه و مدت زمان و دماهای انجام فرایند پرداخته شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بوبری روغن باعث کاهش اسیدهای چرب آزاد، سایر ترکیبات فرار، توکوفرول، استرول و مواد آلاینده از روغن می‌گردند که این مهم باعث پایداری و افزایش کیفیت روغن می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داد با افزایش زمان و دمای بوبری، شاخص‌های فساد در روغن دنبه بوبری شده کاهش می‌یابد همچنین قرمزی رنگ روغن‌ها پس از بوبری کاهش می‌یابد. طبق نتایج استفاده از امواج فراصوت موجب تسریع فرایند، کاهش دما و موجب بهبود خصوصیات کیفی روغن می‌گردد، همچنین ممکن است با کاهش دادن زمان و دمای فرایند، موجب افزایش صرفه اقتصادی گردد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب آزاد، بوبری، تصفیه روغن، چربی‌های خوراکی، روغن خوراکی

مقدمه

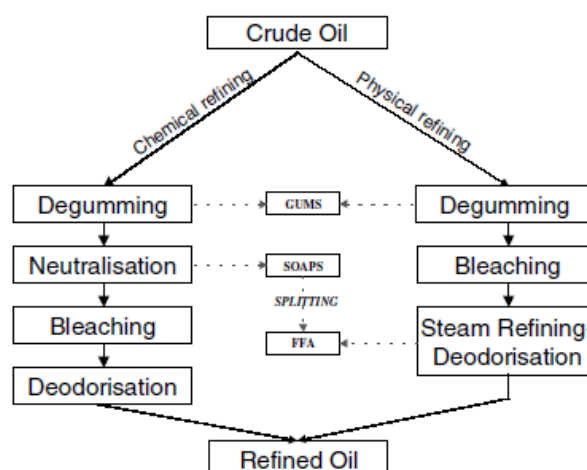
روغن‌ها و چربی‌های خوراکی بر اساس منبع، به دو گروه گیاهی و حیوانی تقسیم می‌شوند. این ترکیبات یکی از اجزاء مهم مواد غذایی محسوب شده که علاوه بر تامین بخشی از انرژی مورد نیاز برای فعالیت‌های روزانه، اسیدهای چرب ضروری که بدن قادر به ساخت آنها نمی‌باشد، را تامین می‌نمایند و پیش‌ساز هورمون‌ها و مکانیسم‌های مهمی در بدن می‌باشند. بر اساس مطالعات متعدد به عمل آمده در سراسر

دنیا، اگر در انتخاب و مقدار مصرف این بخش از مواد غذایی دقت نشود، می‌تواند عاملی بسیار مهم در راستای بیماری‌های قلب و عروق، فشار خون بالا، دیابت، چاقی و سایر امراض خطرناک غیر واگیردار محسوب شود. بر همین اساس در بیانیه سازمان بهداشت جهانی در خصوص تامین انرژی از چربی‌ها و روغن‌ها، از دولت‌ها خواسته شده که به عنوان یک سیاست سلامت محور، این رویکرد را در جوامع نهادینه و در قالب مقررات اجرایی نمایند (Hooper et al., 2012).

وجود ناخالصی‌ها در روغن سبب تیرگی، کف کردن یا دود کردن و تشکیل رسوب در هنگام حرارت دادن روغن، کاهش پایداری روغن در مقابل اکسیداسیون و سایر واکنش‌هایی می‌شود که در جریان فرایند روغن مشکلاتی را پدید آورده و از کیفیت محصول نهایی می‌کاهد. این ناخالصی‌ها شامل اسیدهای چرب آزاد، فسفاتیدها و سایر مواد صمغی، موم‌ها، رنگدانه‌ها، پراکسیدها و مواد حاصل از اکسیداسیون، فلزات کمیاب و غیره هستند (Majdan and Sabah, 2009).

تصفیه روغن عبارت است از حذف کلیه ناخالصی‌های موجود در روغن به کمک مواد شیمیایی، روش‌های فیزیکی یا مخلوطی از هر دو. روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و تلفیقی جهت حذف اسیدهای چرب بکار رفته است که بسیاری از آنها با محدودیت‌های صنعتی مواجه شده‌اند (Muralidhara and Cui, 2010). تصفیه فرایندی برای خارج کردن ناخالصی‌ها از روغن خام است. در جریان تولید روغن‌هایی خام توسط هر یک از روش‌های استخراج معمولی صنعتی مقداری از مواد غیرگلیسیریدی داخل روغن می‌شود. این ناخالصی‌ها طی یک سلسله عملیات که به طور کلی تصفیه نامیده می‌شود از روغن خارج می‌شود (مالک، ۱۳۸۹).

تصفیه روغن در مورد روغن‌های با اسیدیته بالا و خصوصیات حسی نامطلوب به کار می‌رود. تصفیه چربی‌ها و روغن‌های خوراکی به منظور حذف ناخالصی‌ها به صورت شیمیایی یا فیزیکی انجام می‌شود که در شکل ۱ به اختصار معرفی شده است. تصفیه شیمیایی شامل صمغ‌گیری، خنثی‌سازی، رنگبری و بوبری است. در تصفیه فیزیکی، پس از صمغ‌گیری و رنگبری مقدماتی، مرحله بوبری در دمای بالا و فشار پایین صورت می‌گیرد (Cui and Muralidhara, 2010).



شکل ۱- نمای کلی از روش‌های تصفیه فیزیکی و شیمیایی (Shahidi, 2005)

تصفیه شیمیایی حساس‌ترین و مشکل‌ترین مرحله تصفیه روغن می‌باشد که نه تنها از بعد کیفیت محصول نهایی که در اختیار مصرف‌کننده

قرار می‌گیرد حائز اهمیت است، بلکه از بعد اقتصادی نیز اهمیت شایانی دارد و کنترل صحیح این مرحله از فرایند، تأثیر بسزایی در کاهش افت روغن و در نتیجه در کاهش قیمت تمام شده محصول دارد. در تصفیه شیمیایی اسیدهای چرب آزاد روغن پس از خنثی‌سازی با قلیا به صورت صابون خارج می‌شوند (Anderson, 2005).

تصفیه فیزیکی به فرایند خارج کردن اسیدهای چرب آزاد از چربی‌ها و روغن‌ها توسط تقطیر با بخار اطلاق می‌شود و با تصفیه شیمیایی متفاوت است تصفیه فیزیکی بازده کلی بالاتری دارد، از مواد شیمیایی کمتری استفاده می‌کند و فاضلاب بسیار کمتری به وجود می‌آورد. تصفیه فیزیکی زمانی که اسیدیته روغن به مقدار کافی بالا باشد مفید است (Yang et al., 2006). تصفیه فیزیکی که در آغاز قرن بیستم مورد استفاده قرار گرفت بر اساس تقطیر و خارج کردن اسیدهای چرب آزاد، در فرآیندی شبیه به بی بو کردن است و امروزه بیشتر تجهیزات بی بو کردن به نحوی طراحی و ساخته می‌شود که بتوان تصفیه فیزیکی را نیز توسط آن انجام داد (Shahidi, 2005).

فرایند بوبری

اساس بی بو کردن اختلاف زیاد موجود بین فراریت روغن (تری‌گلسیریدها) و ناخالصی‌های فرار معطر در روغن است. این فرایند، اساساً یک 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 مقدار مشخصی از عامل جداسازی (معمولاً بخار) در مدت زمان مشخصی از میان روغن داغ تحت فشار پایین (کمتر از یک کیلو پاسکال) می‌گذرد. بوبری واقعی یک فرایند طولانی‌تر و پیچیده‌تر از جداسازی است و در آن تمام پیش‌سازهای طعمی غیرفرار به مواد مولد بوی فرار تبدیل می‌شوند. اگر حداقل زمان برای بوبری کامل رعایت نشود برخی پیش‌سازهای طعمی در روغن باقی می‌مانند و در زمان استفاده روغن در دماهای بالاتر (سرخ کردن عمیق) موجب بروز بد طعمی می‌گردند. معمولاً آخرین مرحله در تصفیه شیمیایی روغن خوراکی، تصفیه با بخار می‌باشد. در تصفیه شیمیایی، روغن صمغ‌گیری، خنثی‌سازی شده و رنگبری شده به واحد بوبری وارد می‌شود تا اسیدهای چرب آزاد (۹۵-۹۲٪) و مواد فرار (مواد ایجاد کننده بو و طعم به طور عمده لاکتون‌ها، کتون‌ها، آلدئیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای چرب آزاد هستند که در میان آنها، اسیدهای چرب آزاد سنگین‌تر بوده و دارای فشار بخار پائین‌تری هستند و به همین خاطر در دما پائین‌تر فرارتر می‌باشد) خارج شوند. بوزدایی یکی از مراحل حساس و بحرانی تصفیه به شمار رفته و اثر مهمی بر کیفیت روغن تصفیه شده دارد. (Akterian, 2009) تفاوتی بین بوبری و تصفیه با بخار در مقالات وجود نداشته و با نام کلی بوبری شناخته می‌شود. در این مرحله اسیدهای چرب آزاد، ترکیبات مولد بو، توکوفرول، استرول و مواد آلاینده از روغن جدا می‌گردند. طراحی و عملیات بوگیری در تصفیه شیمیایی بسیار مشابه تصفیه فیزیکی است با این تفاوت که در تصفیه فیزیکی به دلیل خروج مقادیر بیشتر اسیدهای چرب و تأثیر آنها در خوردگی از استیل ضد زنگ و دیگر موادی که در اثر تماس با اسیدهای چرب تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند، استفاده می‌شود (Shahidi and Zhong, 2005).

این فرایند باقیمانده ذراتی که در اثر فرآیندهای قبلی در روغن ایجاد شده است را جدا می‌سازد. بوبری مخرب‌ترین مرحله در تولید روغن‌های تصفیه شده است و در دمای 200°C تا 270°C انجام می‌شود. چربی‌های غیر اشباع در دمای بالای 150°C جهش‌زا می‌شوند. در دمای بالاتر از 160°C چربی‌های ترانس شروع به شکل‌گیری می‌کنند و در بالاتر از 200°C چربی‌های ترانس در مقادیر بالا به طور تصاعدی تولید

می‌شوند. در این مرحله ویتامین E از روغن جدا می‌شود، البته دمای بالا و نوع فرآیند باعث جداسازی برخی از مواد سمی باقی‌مانده از مراحل قبلی هم می‌شود اما در عین حال باعث ایجاد بزرگترین تغییرات در مولکول‌های روغن می‌شود و مولکول‌هایی ایجاد می‌کند که به هیچ عنوان در روغن طبیعی یافت نمی‌شوند. در این فرایند با استفاده از خلاء بالا و دمای بالا، یک سری ترکیبات خارج می‌شوند. بیشترین خلاء در سیستم‌های بوگیری اعمال می‌شود. فشار خلاء در حد چند میلیمتر جیوه می‌باشد. دما در این فرایند بالا می‌باشد اما به کارگیری خلاء بالا (فشار پایین) باعث محافظت روغن در برابر اکسیداسیون می‌شود. از آن جا که در این سیستم مقداری بخار زنده فرستاده می‌شود، روغن در معرض بخار می‌باشد اما به کارگیری خلاء بالا از واکنش‌های هیدرولیز جلوگیری می‌کند. فشار پایین مانع از اکسیداسیون و هیدرولیز روغن شده و میزان بخار زنده مورد نیاز را نیز کاهش می‌دهد. پس از این فرآیند است که روغن حاصله بدون بو و مزه است و شما نمی‌توانید بگویید که از چه نوع دانه‌ای بدست آمده است (Rousseau, 2003).

در فرآیند بوبری، نحوه گرم و سرد کردن روغن اهمیت خاصی دارد. برای جلوگیری از اکسیداسیون روغن از طریق تماس با هوا، قبل از آنکه روغن، هواگیری و اکسیژن حل شده در آن به حجمی کمتر از ۰/۰۵٪ برسد نباید تحت دمای بیشتر از 100°C - 120°C قرار گیرد. هواگیری با پاشش روغن گرم، به داخل تانک تحت خلاء، یا حرارت دادن آن تحت خلاء انجام می‌شود. وقتی دما از 150°C بیشتر شود، اغلب روغن‌ها مخصوصاً، روغن‌های غیراشباع پلیمریزه می‌شوند. در دستگاه‌هایی که در آنها حرارت دادن تحت خلاء انجام می‌شود این مشکل کمتر وجود دارد. سردکردن بعضی از روغن‌ها نظیر سویا، برای کاربردهایی که حساسیت به طعم دارند باید تحت خلاء انجام شود و روغن تا دمای کمتر از 150°C سرد شود. اگر سرد کردن روغن در خلاء انجام نشود و در یک مبدل حرارتی خارج از برج تقطیر، خنک شود در این صورت روغن طعم و پایداری لازم را ندارد. به نظر می‌رسد که در دمای بالا (بالتر از 150°C) ترکیباتی در روغن ایجاد می‌شود. وقتی عمل سرد کردن به طور مداوم و تحت خلاء و با استفاده از یک گاز بهیم زن، انجام شود این مواد، تبخیر و از روغن خارج می‌شوند. نحوه فرآوری روغن در مراحل قبل از بی بو کردن، در کیفیت روغن بی‌بو شده موثر است. ترکیب اصلی که توسط بی بوکردن از روغن جدا می‌شود، اسیدهای چرب آزاد است. شرایط بوزدایی نیز به حذف آلاینده‌ها کمک کرده، تاریخ مصرف را افزایش داده، پایداری مزه را ارتقاء بخشیده و رنگ روغن را به خاطر تجزیه کاروتن‌های باقی‌مانده در دمای بالا کاهش می‌دهد (Ruiz-Mendez, 2011).

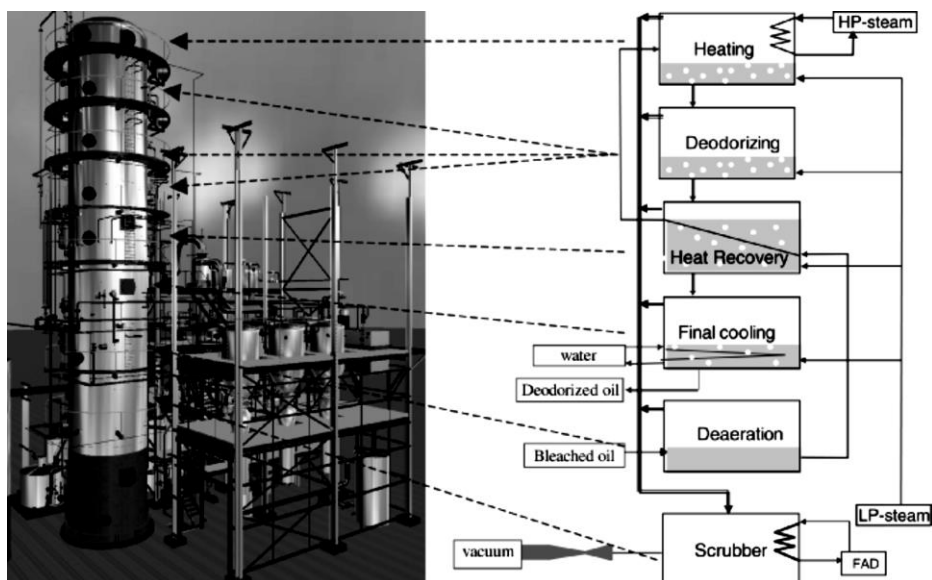
مراحل فرآیند بوبری

بوبری یک فرآیند چند مرحله‌ای است که هواگیری، گرمایش چند مرحله‌ای، بوزدایی - حذف اسیدیته و سرمایش چند مرحله‌ای روغن را در بردارد (شکل ۲).

هواگیری روغن

روغن صمغ‌گیری و رنگبری شده جهت جلوگیری از اکسیداسیون و پلیمریزاسیون قبل از رسیدن به دمای بی‌بوکردن هواگیری می‌شود. عمل هواگیری در یک مخزن مجزا خارجی که به سیستم خلاء رنگبری (۵۰ حدوداً میلی بار) وصل است یا در فشار یکنواخت پایین در یکی از

قسمت‌های تجمع شده در بوبری انجام می‌شود. بعضی از تصفیه‌کنندگان جهت بهبود هواگیری یک مقدار کم بخار پاششی اضافه می‌نمایند (Shahidi and Zhong, 2005).



شکل ۲- نمایش شماتیک مراحل مختلف فرایند بوبری (Shahidi, 2005).

گرمایش و سرمایش

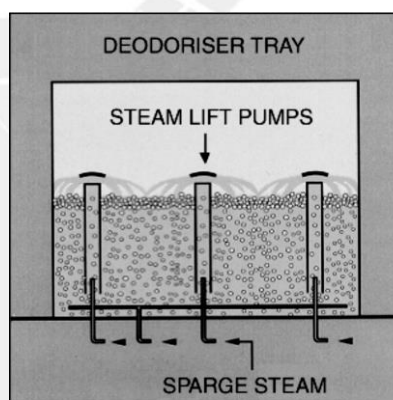
گرمایش روغن معمولاً در دو مرحله یا بیشتر انجام می‌شود. برای کم کردن هزینه خالص انرژی، روغن رنگبری شده ابتدا در یک یا دو مرحله در مبدل حرارتی با یکی از دو سیال روغن داغ یا بخار پیش‌گرم می‌شود. می‌توان بیشترین بازیافت انرژی حرارتی (بالای ۸۵ درصد) را در بوبری‌های پیوسته بدست آورد که روغن رنگبری شده بطور غیرمستقیم با روغن داغ بوبری شده پیش‌گرم می‌شود. این بازیابی انرژی حرارتی معمولاً در قسمت بازیافت انرژی حرارتی بوبری رخ می‌دهد اما همچنین می‌تواند در یک مبدل حرارتی خارجی مجزا نیز انجام شود. هر دو گزینه موافقین و مخالفین خود را دارد. مبدل‌های حرارتی خارجی اثر بهتری در بازیافت حرارت بالا دارند و دسترسی بهتری جهت تمیز کردن فراهم می‌نمایند. از سوی دیگر، تبادل حرارت در داخل بوبری درهم آمیختن (اختلاط) کمتر محصول و خطر کمتر رسوب را تضمین می‌نماید و همچنین تحت خلاء انجام می‌شود. سیستم ترموسیفون یک روش ویژه بازیافت حرارت است که در بوبری‌های نیمه پیوسته استفاده می‌شود. بخار تولید شده در بخش سردکردن روغن در یک حلقه بسته به قسمت پیش‌گرمکن روغن جریان می‌یابد. این بخار در آنجا کندانس (میعان) شده و آب به قسمت سردکردن بر می‌گردد. با این روش، بسته به طراحی سیستم ترموسیفون (حلقه تک یا مضاعف، با یا بدون تولید بخار با فشار پایین) می‌توان به بازیافت حرارتی ۴۵-۷۵ درصد ناقل شد. خنک‌کردن نهایی روغن می‌تواند تحت خلاء یا تحت فشار انجام شود (Shahidi, 2005).

بوبری - حذف اسیدیته

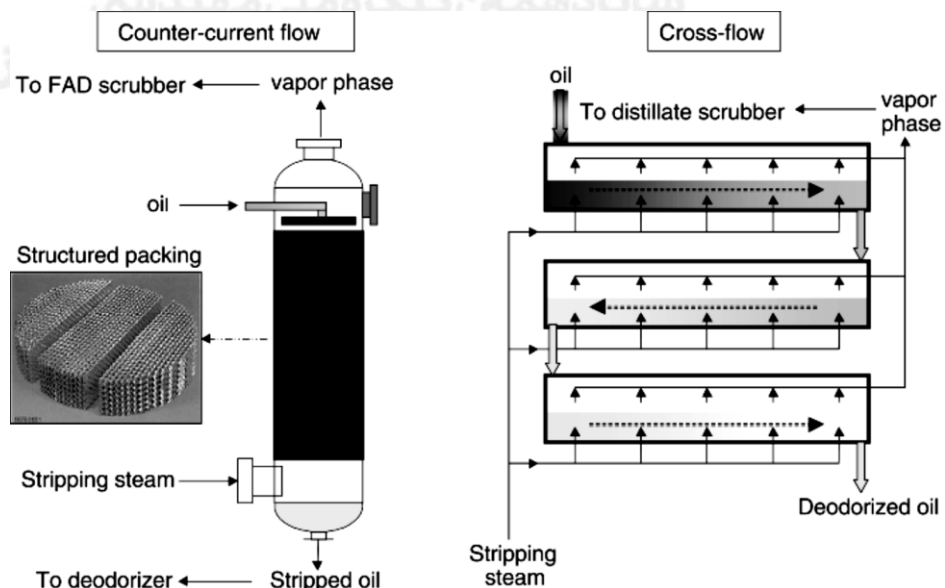
به دلیل اینکه غلظت اکثر ترکیبات فرار در روغن خیلی پایین است بایستی یک عامل جداکننده در طول بی‌بوکردن تزریق شود. بنا به دلایل

اقتصادی، در اکثر موارد معمولاً بخار به عنوان عامل جداکننده استفاده می‌شود اما استفاده از نیتروژن نیز بصورت گسترده‌ای مطالعه شده است. نیتروژن یک گاز بی اثر است و از نظر تئوری استفاده از آن افت کمتر (عدم وجود هیدرولیز) و کیفیت بالاتر فرآورده‌های تقطیر حاصل از بوبری را دارد. به هر حال در عملیات صنعتی نیتروژن به طور عمده استفاده نمی‌شود زیرا یک گاز غیرقابل میعان است. این امر باعث نیاز به سیستم خلاء خیلی گران‌تر در مقابل استفاده از بخار می‌شود که قابل میعان است (Salunkhe et al., 1992).

اکثر بوبری‌های پیوسته و نیمه پیوسته به اصطلاح بوبری‌های سینی نامیده می‌شوند که مطابق با قاعده کلی جریان متقاطع کار می‌کنند. بوزدایی-حذف اسیدیتیه در چندین قسمت (سینی‌ها) انجام می‌شود که بخار جداکننده به واسطه کوئل‌های پاششی مخصوص با سوراخ‌های خیلی ریز یا پمپ‌های بالابرنده بخار وارد روغن می‌شود. پمپ‌های بالابرنده بخار با تازه کردن مداوم روغن در لایه بالایی (جایی که بوبری موثر انجام می‌شود) تلاطم خوبی می‌دهند، در نتیجه بوبری با کارایی بالا را تضمین می‌نمایند. (شکل ۳) یک حداقل عمق لایه روغن (بیشتر از ۰/۸ متر) لازم است تا اجازه دهد پمپ‌های بالابرنده بخار به خوبی کار کنند (Shahidi, 2005).



شکل ۳-۱ اصول کارکرد پمپ‌های بالابرنده بخار برای وارد کردن بخار پاششی (Shahidi, 2005)



شکل ۴-۱ اصول کلی جداسازی به روش جریان غیر همسو و جریان متقاطع. (Shahidi, 2005)

راندمان بوبری با ستون پر جداکننده (ستون متراکم تفکیک) بهبود پیدا می‌کند. این جداساز یک جداکننده است که با مواد جاذب فشرده در مساحت سطح بالا (۳۵۰-۲۵۰ مترمربع بر متر مکعب) پر شده است. تماس جریان مخالف (غیرهمسو) روغن و بخار جداکننده روی مواد جاذب فشرده باعث جداسازی خیلی موثر در زمان تماس کوتاه می‌شود (شکل ۴). چندین دهه است که برج‌های متراکم در بوبری روغن‌های خوراکی بکار برده می‌شوند. اغلب آنها برای افزایش ظرفیت بوبری‌های موجود نصب شده‌اند. برج‌های متراکم جهت جداسازی اسیدهای چرب آزاد یا آلاینده‌های فرار خیلی موثر هستند. زمان تماس کوتاه، آن را برای جداسازی اسیدهای چرب و آلاینده‌های فرار روغن‌های حساس به حرارت مانند روغن جلبک، روغن ماهی و کره کاکائو مناسب می‌نماید. در عین حال این زمان تماس کوتاه بوبری را کامل انجام نخواهد داد. برای رسیدن به این هدف مخازن نگهداری اضافی قبل یا بعد از ستون پر تعبیه شده است (Shahidi, 2005).

سیستم‌های تصفیه بخار

بخاراتی که بوبری را ترک می‌کنند شامل بخار آب، ترکیبات فرار مانند اسیدهای چرب آزاد، استرول‌ها، توکوفرول‌ها، آلاینده‌ها، مقادیر ناچیز روغن خنثی (تری گلیسریدها) که به صورت مکانیکی وارد شده است و مقداری مواد غیرقابل چگالش مانند هوا می‌باشد. میعان ترکیبات فرار در یک شوینده انجام می‌شود و دست آورد آن محصول فرعی است که فرآورده تقطیر بوبری نامیده می‌شود. میعان به وسیله ایجاد یک تماس خیلی خوب بین فاز بخار داغ و میعانات سرد شده که تا اندازه‌ای در شوینده مجدداً به گردش در آمده‌اند انجام می‌شود. در عمل این امر به وسیله مجموعه‌ای از افشانه‌های تعبیه شده در داخل مجرا یا بر روی یک بستر فشرده با ارتفاع محدود در داخل خود مخزن شوینده انجام می‌شود. جهت به حداقل رساندن سرریز و غلیان مواد چرب به داخل آب کندانسورهای بارومتربیک معمولاً یک گیرنده ذرات کوچک اضافی قبل از واحد خلاء نصب شده است (Shahidi, 2005).

طراحی خوب یک شوینده بایستی تلفیق حداکثر میعان شدن و بازیافت مواد چرب از فاز بخار با حداقل افت فشار (کمتر از ۱ میلی‌بار، ترجیحاً کوچکتر از ۰/۵ میلی‌بار) باشد. بیشتر بوبری‌ها یک شوینده دارند که میعانات حاصل از یکبار بوبری در آن جمع می‌شود. مقدار و ترکیب و ارزش این جریان جانبی به وسیله چندین فاکتور شامل ترکیب روغن فرآیند شده، نوع روش تصفیه بکار برده شده (شیمیایی یا فیزیکی) و همچنین شرایط بوبری تعیین می‌شود. میعانات حاصل از بوبری به روش تصفیه فیزیکی، محتوای اسیدهای چرب آزاد خیلی بالایی دارند (بیشتر از ۸۵٪) و به طور کلی جهت کاربردهای صنعتی ویژه مانند تولید صابون استفاده می‌شوند. در سال‌های اخیر فرآورده تقطیر بوبری حاصل از تصفیه روغن پالم (اسیدهای چرب فرآورده تقطیر روغن پالم) به عنوان مواد اولیه جهت تولید بیودیزل (سوخت‌های زیستی) استفاده می‌شود. فرآورده تقطیر بوبری حاصل از تصفیه شیمیایی به دلیل غلظت بالای ترکیبات جزئی با ارزش مانند توکوفرول‌ها و استرول‌ها می‌تواند ارزش بالاتری داشته باشد. مخصوصاً ارزش فرآورده تقطیر بوبری حاصل از تصفیه شیمیایی روغن سویا بالاست (Gunstone et al., 2007). در مورد تصفیه فیزیکی، بخش غنی از توکوفرول‌ها و استرول‌های فرآورده تقطیر می‌تواند به وسیله یک شوینده مضاعف بدست آید. ابتدا فاز بخار بصورت جزئی در دمای بالاتر کندانس می‌شود. فرآورده حاصل عصاره تقطیر داغ نامیده می‌شود که جزئی‌ترین ترکیبات فرار مانند توکوفرول‌ها و استرول‌ها در آن تغلیظ شده‌اند. سپس میعان قسمت اعظم ترکیبات فرار باقیمانده (به طور عمده اسیدهای چرب آزاد) در قسمت

دوم، شوینده سرد انجام می‌شود. به شرطی که دماهای میعان شوینده‌های سرد و گرم به درستی تنظیم شود، این روش، جداسازی خیلی خوبی بین اسیدهای چرب آزاد و توکوفرول‌ها ارائه می‌دهد (Shahidi, 2005).

سیستم‌های خلاء

خلأ در بوبری‌ها به وسیله تلفیق اجکتورهای بخار (بوسترها)، کندانسورهای بخار و پمپ‌های خلأ مکانیکی ایجاد می‌شود. این سیستم‌های نیرومند، به فشار بوبری بین ۵-۲/۵ میلی بار می‌رسند اما مصرف بخار محرک بالا می‌باشد (بالای ۸۵٪ مصرف کل بخار). به وسیله سرد کردن آب کندانسورهای بارومتريک مصرف بخار محرک می‌تواند مقدار قابل توجهی (با ضریب تقریبی ۲/۵-۳) کاهش یابد. به هر حال منفعت ناشی از مصرف کمتر بخار محرک بایستی در مقابل ظرفیت سرمایش اضافی مورد نیاز (مصرف برق بیشتر) سنجیده شود. فایده دیگر استفاده از سیستم خلأ آب بارومتريک سرد، میعان بهتر مواد فرار است که فشار پایین‌تری در بوبری (به عنوان مثال ۱/۵ میلی بار) می‌دهد (Bockisch, 1998).

این سیستم‌های خلأ قدیمی بطور فزاینده‌ای شروع به جایگزین شدن با سیستم‌های میعان انجماد خشک نموده‌اند. به وسیله چنین سیستم‌هایی، بخار جداکننده بر روی کندانسورهای سطحی که به صورت متناوب در دمای خیلی پایین (-30°C) کار می‌کنند میعان می‌شود. انجماد موثر بخار و دیگر مواد فرار فشار خیلی پایینی در بوبری (۱/۵ میلی بار) می‌دهد و همچنین انتشار بو را کاهش می‌دهد. با سیستم خلأ آب بارومتريک سرد کندانسورهای انجماد خشک انرژی الکتریکی فوق العاده زیادی می‌خواهند. سیستم‌های تجاری موجود مرکب از دو کندانسور انجماد با لوله‌های مستقیم که به صورت عمودی یا افقی تراز شده‌اند، یک واحد تبرید جهت ایجاد مبرد (ماده سردکننده) که در لوله‌ها تبخیر می‌شود و یک مخزن برای یخ‌زدایی و پاک کردن لوله‌ها پس از یک دوره معین انجماد می‌باشد (Shahidi, 2005).

سیستم‌های بوبری

بوبری روغن‌های خوراکی به روش‌های مختلفی (پیوسته، نیمه پیوسته، روش ناپیوسته) با شکل‌هایی متفاوت از دستگاه‌های بی‌بوکننده (مخازن افقی یا عمودی، نوع سینی یا ستون‌های پر (متراکم)) انجام می‌شود. انتخاب مناسب‌ترین فن‌آوری فرآیند به وسیله ظرفیت کلی واحد و تعداد ورودی‌های روغن تعیین می‌شود (Bockisch, 1998).

بی‌بوکننده‌های ناپیوسته

بی‌بوکننده ناپیوسته، از یک تانک استوانه‌ای یک جداره که هر دو انتهای آن عدسی شکل است، تشکیل شده است. بدنه بی‌بوکننده جوشکاری شده و ارتفاع آن حدود ۲ برابر قطرش است. فضای خالی مخزن در حدود فضای روغن می‌باشد که به منظور جلوگیری از خروج روغن به همراه بخار تعبیه شده است. تزریق بخار مستقیم سبب پاشیدن روغن می‌گردد که جهت جلوگیری از خروج کلاهکی در فضای خالی نصب می‌کنند. در داخل مخزن بی‌بوکننده، ماریچ‌هایی برای گرم کردن روغن توسط بخار آب یا روغن‌های معدنی و سرد کردن در خلأ قوی قرار دارد. این نوع بی‌بوکننده به دلیل هزینه عملیاتی بالا (مصرف بخار بالاتر، بازیافت حرارت پایین) و زمان طولانی‌تر فرآیند، جذابیت کمتری دارد. به هر حال برای واحدهای با ظرفیت پایین (۵۰ تن در روز) یا واحدهایی که بچ‌های کوچک‌تر و با کیفیت متفاوت را فرآیند می‌کنند (مانند تصفیه‌کنندگان روغن ماهی)، یک بوبری ناپیوسته هنوز بهترین گزینه است. جدا از هزینه سرمایه‌گذاری پایین، مزیت اصلی یک بی‌بوکننده

ناپیوسته انعطاف پذیری بالاتر (پارامترهای فرآیند می توانند به سادگی مطابق با کیفیت روغن ورودی تنظیم شوند) و حداقل اختلاط بین دو بچ متوالی می باشد (مالک، ۱۳۸۹).

بی بوکننده های نیمه پیوسته

بی بوکننده های نیمه پیوسته، سیستم های ناپیوسته ای هستند که برای ظرفیت های بیشتر طراحی شده اند. این بی بوکننده از یک استوانه با طول زیاد ساخته شده است که در داخل آن بسته به نوع طرح از ۳ تا ۵ سینی فولاد ضد زنگ قرار دارد. به این بی بوکننده اصطلاحاً دو جداره می گویند. زمان نگهداری روغن ۲۰ تا ۳۰ دقیقه است. روغن از مخزن اندازه گیر به میزان معین وارد سینی اول می شود. روغن در این سینی توسط روغن سینی چهارم، که روغن آن بی بو شده است گرم می شود، با این عمل هوای موجود در روغن سینی اول جدا می شود. در سینی دوم روغن توسط بخار غیرمستقیم و گاهی توسط روغن های معدنی گرم می شود و به دما مورد نظر می رسد در سینی سوم عمل بی بو کردن توسط تزریق بخار مستقیم انجام می شود. سینی چهارم به منظور بازیابی حرارت است و در سینی پنجم عمل سرد کردن روغن توسط آب انجام می شود. بین سینی ها شیرهای خودکار وجود دارد. روغن ابتدا از سینی ۵ خارج و کاملاً تخلیه می شود. سپس شیر خودکار بین ۴ و ۵ باز می شود و روغن کلاً از سینی ۴ به ۵ وارد می شود، سپس شیر بین سینی ۳ و ۴ باز می شود و ادامه می یابد. کاربرد اصلی آنها در کارخانجاتی با تغییرات متوالی روغن های حساس به اختلاط می باشد. مانند کارخانجاتی که چربی کره گیاهی و روغن های قنادی تولید می کنند بازیابی حرارت به وسیله اکونومایزرهای غیرمستقیم (مانند سیستم های ترموسیفون) انجام می شود که حرارتی بیشتر از آنچه که در بوبری های بچ می توان بدست آورد را بازیابی می کنند. اختلاط کمتر و زمان کوتاه تر برای تغییرات خوراک ورودی مزایای اصلی بی بوکننده های نیمه پیوسته نسبت به نوع پیوسته می باشد (مالک، ۱۳۸۹).

بی بوکننده های پیوسته

بی بوکننده های پیوسته بهترین گزینه برای کارخانجات با ظرفیت بالا هستند که با یک نوع خوراک ورودی کار می کنند (اکثر کارخانجات تصفیه امروزه اینگونه کار می کنند). مزایای اصلی هزینه های سرمایه گذاری مناسب، قابلیت بازیافت حرارت بالا و تعمیر و نگهداری آسان است. بی بوکننده های عمودی نوع سینی، بیشترین نوع سیستم های مورد استفاده هستند. طراحی آنها بر اساس مجموعه سینی هایی است که در داخل یک بدنه استوانه ای بصورت عمودی بر روی هم قرار گرفته اند و هر سینی برای کار خاصی طراحی شده است. کلیه فرآیندها (بازیافت حرارت، گرمایش و سرمایش نهایی و بی بو کردن) در یک مخزن واحد تلفیق شده است. ایده یک مخزن واحد اجازه نصب و تعمیر و نگهداری آسان و ارزان تر را می دهد و خطر نشتی های ناخواسته هوا را کمتر می کند (مالک، ۱۳۸۹).

شرایط فرآیند بوبری

فرآیند بوبری تحت تاثیر چهار پارامتر قرار دارد: دما، زمان، فشار و مقدار بخار تفکیک کننده. اثرات شرایط فرآیند بر روی پارامترهای استاندارد کیفیت و کیفیت تغذیه ای روغن تصفیه شده به خوبی درک شده است و در تالیفات مختلف شرح داده شده است. پارامترهای فرآیند بهینه به نوع روغن (ویژگی های روغن تصفیه و رنگبری شده) و فرآیند تصفیه بکار گرفته شده (شیمیایی یا فیزیکی) بستگی دارد اما محدودیت

تجهیزات بوبری موجود و نیاز به کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز عوامل تعیین‌کننده هستند. اگر روغن کاملاً و به طور صحیح تصفیه نشده باشد (مقدار زیادی فسفاتیدها، آهن و دیگر ناخالصی‌ها در آن باشد)، طی بی بو کردن تیره‌تر می‌گردد. این پدیده "تثبیت رنگ" نامیده می‌شود چرا که حذف این نوع پیگمنت‌های رنگی در صورت تشکیل تقریباً غیر ممکن است.

حذف مواد با ارزش غذایی بالا مانند استرول‌ها که برای کاهش کلسترول و جلوگیری از بیماری‌های قلبی مفید هستند و یا توکوفرول‌ها با خاصیت ویتامینی و آنتی اکسیدانی در دمای بالا نیز یکی دیگر از تأثیرات منفی دمای بالا طی بی بو کردن می‌باشد. کیفیت روغن بوبری شده به وسیله پارامترهای کیفیت سنتی نظیر مقدار کم اسیدهای چرب آزاد باقیمانده، پایداری بالا در برابر اکسیداسیون، رنگ روشن، طعم و بو ارزیابی می‌شود. علاوه بر این لازم است روغن‌های خوراکی با کیفیت بالا حاوی مقدار پایین اسیدهای چرب ترانس، مقادیر بالای آنتی اکسیدان‌های طبیعی (توکوفرول‌ها)، میزان پایین تری گلیسریدهای پلیمری و اکسید شده و فاقد ترکیبات آلوده‌کننده یا محصولات تخریب باشند (مالک، ۱۳۸۹).

مروری بر پژوهش‌ها

در نخستین روزهای فرآیند چربی‌ها و روغن‌ها در نیمه اول قرن نوزدهم نیاز کمی به انجام فرآیند تصفیه بود. چربی‌های خوراکی مانند پیه، روغن زیتون و چربی شیر اغلب به صورت تصفیه نشده مصرف می‌شدند و از نظر طعم در ذائقه مصرف‌کنندگان دلپذیر بودند. با رشد صنعت تولید مارگارین در اروپا در اواخر قرن نوزدهم فرآیند بوبری چربی‌ها و روغن‌ها توسعه یافت. در وهله اول دستگاه بوبری‌های باتایل (۱۹۰۰) و لورگی (۱۹۱۴) که در مقیاس صنعتی به صورت بیج بودند بطور گسترده‌ای در اروپا مورد استفاده قرار گرفتند. این بوبری‌ها جهت تسهیل عمل جداسازی با بخار و جلوگیری از اکسیداسیون روغن تحت خلاء کار می‌کردند و جهت جلوگیری از هیدرولیز روغن از بخار داغ برای به غلیان درآوردن روغن استفاده می‌کردند.

اکستین (۱۸۹۱) در ایالات متحده آمریکا اولین دستگاه بوبری صنعتی را ساخت و اثبات کرد که مزه و بوی روغن پنبه دانه که به صورت قلیایی تصفیه شده است با دمیدن بخار زنده به داخل روغن در دمای بالا (160°C تا 170°C) تا حد زیادی بهبود می‌یابد. بزرگترین موفقیت آمریکائی‌ها در فرآیند بوبری توسط وسون (۱۹۰۰) انجام شد که توسط شرکت روغن پنبه جنوب معرفی گردید. حق امتیاز این فرآیند ثبت نشد اما احتمالاً اولین بوبری تحت خلاء در ایالات متحده آمریکا بود. کیفیت روغن بوبری شده وسون دهه‌های زیادی معیار کیفیت استاندارد روغن‌های خوراکی در سراسر جهان بود. با گذشت سال‌ها بوبری تدریجاً از یک فرآیند ساده جهت رفع مواد مولد برگشت طعم به یک واحد عملیاتی با تأثیر زیاد در کیفیت روغن‌های تصفیه شده تغییر پیدا کرد.

در دهه ۱۹۲۰ چندین کارخانه بی بوکننده روغن (سیستم بیج) در اروپا شروع به کار نمود و به تدریج اصلاحات مهمی در طرح این تجهیزات انجام گرفت که شامل استفاده از خلاء، افزایش دما توسط حرارت دادن غیر مستقیم و ساخت تجهیزات از فلزات مقاوم به اکسید شدن بود. بی بوکننده بیج مناسب برای کارخانه‌هایی با ظرفیت کم، معمولاً کمتر از ۱۰۰ تن در ۲۴ ساعت است که انواع روغن در بیج‌های کوچک فرآوری شده و لازم است مخلوط شدن روغن‌ها در کمترین حد ممکن باشد. معمولاً مقدار هر بیج ۱۰۰۰ کیلوگرم است. عیب اصلی این

سیستم زیاد بودن مصرف بخار بهم زن و مشکل مربوط به بازیابی حرارتی است. همچنین نیاز به مقدار زیادی بخار برای گرم کردن و آب برای خنک کردن دارد.

در سال ۱۹۴۸ در امریکا سیستم‌های کاری بزرگتر با استفاده از بی‌بوکننده نیمه مداوم گیردلر که توسط بایلی آماده بهره‌برداری شده بود، شروع به کار کرد. این دستگاه به شکل استوانه‌ای عمودی و دارای طرح سینی در یک بدنه بوده و تحت خلاء بالا کار می‌کرد. این سیستم‌ها اساساً غیر مداوم هستند که برای ظرفیت‌های بیشتر طراحی شده‌اند. کاربرد اصلی این سیستم‌ها برای کارخانه‌هایی است که معمولاً چندین نوع روغن در روز کار می‌شود و مخلوط شدن آن‌ها مشکل آفرین است یک بچ روغن به داخل سیستم وارد و سپس توسط وزن در فواصل زمانی مشخص از بین چند بخش مجزا یا سینی‌هایی که به طور عمودی روی هم قرار گرفته‌اند عبور می‌کند. به این ترتیب بچ روغن تحت خلاء هواگیری، گرم، بی‌بو و خنک می‌شود.

استفاده از دستگاه‌های بی‌بوکننده مداوم بسیار رایج بوده و یک نوع از این دستگاه در سال ۱۹۴۸ توسط ترمن ساخته شد. این سیستم در مقایسه با سیستم بچ و نیمه مداوم، نیاز به انرژی کمتری داشته و قیمت تجهیزات نسبتاً کمتر است. بی‌بوکننده مداوم در کارخانه‌هایی که روغن ورودی به دستگاه به ندرت تغییر می‌کند مناسب‌ترین انتخاب است. طرح معمول این دستگاه یک ردیف سینی یا بخش‌های جدا از هم است که به صورت عمودی بر روی هم در یک تانک استوانه‌ای قرار گرفته و روغن موجود در آنها توسط بخار بهم‌زده می‌شود. زمان نگهداری روغن در هر بخش ۱۰ تا ۳۰ دقیقه است.

در فرآیند فعلی تصفیه روغن‌های خوراکی، بوبری فرآیندی است که اسیدهای چرب آزاد و ناخالصی‌های فرار موجود در روغن را به وسیله تقطیر با بخار جدا می‌نماید و رنگدانه‌های رنگی نامطلوب را کاهش می‌دهد. اگرچه اصول کلی فرآیند بوبری نسبت به آنچه که در ابتدا بکار می‌رفت تغییری نکرده اما خود تکنولوژی بوبری به صورت عمده‌ای تغییر کرده است. این تکنولوژی به صورت پیوسته و یکنواخت جهت مواجه با نیاز برای فرآیند هر چه کارآمدتر (هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر، بازده بیشتر روغن تصفیه شده و ارزش‌گذاری بهتر شاخه‌های فرعی) بهبود پیدا کرده است. اخیراً توجه زیادی به اثر شرایط بوبری بر کیفیت تغذیه‌ای و چربی‌های خوراکی معطوف شده است (Shahidi, 2005)

رویز و همکاران (۱۹۹۶) عملکرد مقایسه‌ای جریان بخار و نیتروژن را در بوبری روغن زیتون، آفتابگردان و سویا بررسی نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از نیتروژن به جای بخار آب نه تنها کارایی بالاتری دارد، بلکه جزء پایین‌تر ماده غیر قابل تبدیل به صابون و کاهش افت تری‌گلیسیریدها را مهیا می‌کند. در کل بهره‌وری تقطیر اسید چرب آزاد بالاتر بود.

این روزها با نیاز مداوم جهت فرآیند با کارایی بیشتر (هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر، بازده بالاتر روغن تصفیه شده و ارزش‌گذاری بهتر جریان‌های فرعی) پیشرفت‌های جدیدی در بوبری روغن‌های خوراکی ایجاد شده است. اصولاً با نصب بوبری‌های پیوسته با ظرفیت بالاتر هزینه‌های ثابت کاهش می‌یابند. امروزه بی‌بوکننده‌هایی با ظرفیت بیشتر از ۱۵۰۰ تن در روز به ویژه برای بی‌بوکردن روغن‌های تجاری مانند روغن‌های پالم و سویا کم و بیش مرسوم شده‌اند.

جهت تضمین کیفیت خوب تغذیه‌ای، با هدف به حداقل رساندن تخریب حرارتی و به حداکثر رساندن جداسازی آلاینده‌ها شرایط فرآیند بهینه شده است. این امر می‌تواند به وسیله بکارگیری بوبری با دمای دوگانه و یا انضمام یک ستون تفکیک متراکم بدست آورده شود. کاهش بیشتر بار حرارتی می‌تواند با به کارگیری سیستم‌های خلاء قویتر (سیستم‌های خلاء آب بارومتریک سرد یا میعان انجماد خشک) انجام شود (Shahidi, 2005).

سریانی و میرلز (۲۰۰۴) به مدل‌سازی برج بوبری مداوم پرداخته‌اند. در این مدل‌سازی، برج بوبری به عنوان یک ستون حذف ترکیبات پیچیده با جریان متقاطع و مخالف در نظر گرفته شده است و اثر شرایط فرآیند بر کیفیت روغن خروجی بررسی شد. بوبری روغن سویا، کانولا و جوانه گندم تحت شرایط مرسوم دما، مقدار جریان بخار و فشار انجام گرفته است. ترکیبات مورد نظر در مدل‌سازی گلیسرول‌ها، اسیدهای چرب آزاد و دیگر ترکیبات کلیدی نظیر توکوفرول‌ها و استرول‌ها هستند. نتایج بی‌بوکردن بر مبنای میزان باقی ماندن توکوفرول‌ها، سیتوسترول‌ها و مقدار از دست رفتن روغن در ماده تقطیر شده برج بوبری محاسبه گردید. آنان برج بوبری مداوم را به عنوان یک ستون چند قسمتی با جریان مخالف بخار در نظر گرفتند (Ceriani & Meirelles, 2004).

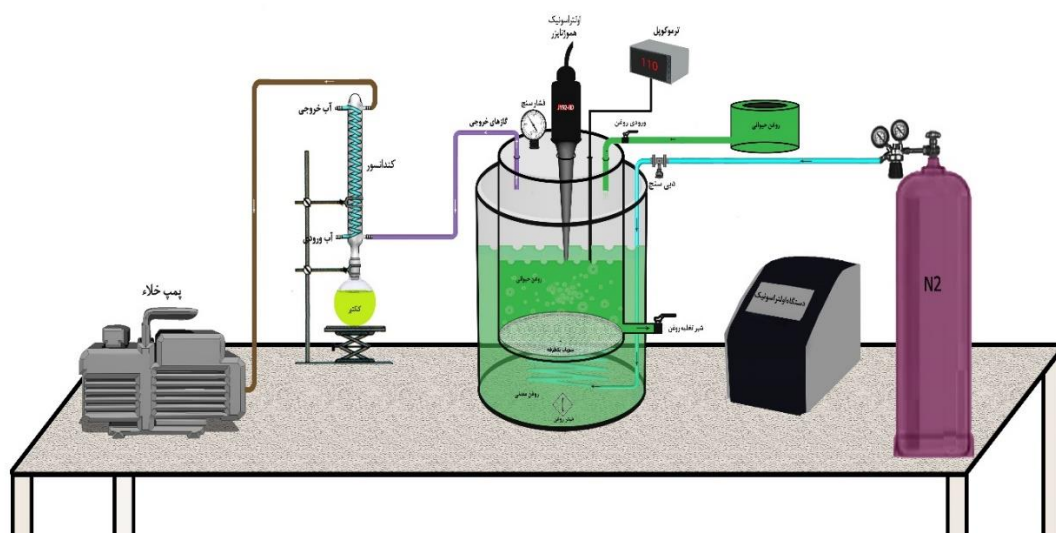
هرستر و همکاران (۲۰۱۱) روغن کاملینا سانیا که بر اساس محتوای تصفیه، از لینولینیک اسید و طعم خاص آن مشخص می‌شود را مورد بررسی قرار دادند این روغن به جهت مفید بودن برای سلامتی برای غذا و مصارف جهانی مناسب می‌باشد. در این مطالعه، روش سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند بوبری روغن کاملینا در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. مدل‌های ریاضی به دست آمده، تاثیرات این پارامترها (دما، زمان و جریان بخار) را بر روی چندین پارامتر مانند: اسیدهای چرب آزاد (FFA)، اسیدهای چرب ترانس (TFA)، رنگ و تری گلیسریدهای چندگانه (PTG) شرح دادند. این مدل‌ها می‌توانند جهت شناسایی شرایط بهینه بوبری به همراه الزامات انتخاب شده استفاده شوند. شرایط بهینه جریان بخار ثابت با نرخ ۴۲ میلی لیتر بر ساعت، دمای ۲۲۰-۲۱۰ درجه سلسیوس و زمان بوبری ۷۰-۱۲۰ دقیقه گزارش شده است. ۲۲۰ درجه سلسیوس حد نهایی دمای بحرانی می‌باشد. بالاتر از این دما، میزان ایزومری شدن بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Hrastar et al. 2011).

مطالعه دیگری برای بررسی پارامترهای دما و زمان در مرحله بوبری روغن کتان انجام شد. هدف از پژوهش بررسی اثرات دما (26°C - 180°C) و زمان ($0/5$ تا $2/5$ ساعت) بود. پارامترهای اسیدهای چرب آزاد، عدد پراکسید، عدد پارا-آنیزیدین، اختلاف رنگ کلی و توکوفرول و محتوای توکوترینول اندازه‌گیری شدند. آنها گزارش دادند، هنگامی که دمای بوبری از 180°C تا 230°C درجه سلسیوس افزایش می‌یابد عدد اسیدی کاهش می‌یابد، در حالی که هنگامی که دما از 230°C تا 260°C درجه سلسیوس افزایش می‌یابد، عدد اسیدی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که عدد اسیدی با زمان در محدوده $0/5$ تا 2 ساعت کاهش می‌یابد و بعد از آن (2 تا $2/5$ ساعت)، تغییرات عدد اسیدی روند رو به رشد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد مدل‌ها برای پاسخ به اسیدهای چرب آزاد مناسب بودند و پارامترهای بهینه در دمای 220°C و زمان $1/5$ ساعت بدست آمد (Chew et al., 2017). به طور مشابه، ویتارتا و همکاران گزارش دادند که در مرحله بوبری روغن پالم در مقیاس آزمایشی، مقدار عدد اسیدی به مقدار $0/13$ درصد کاهش یافت (Widarta et al., 2012). همچنین در تحقیقی جداسازی اسیدهای

چرب آزاد از روغن سویا در محدوده دمایی ۱۰۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس انجام شد و دبی جریان بخار آب در محدوده ۵-۱/۲۳ gr/min بود. نتایج نشان داد که حذف اسیدهای چرب آزاد ۹۶/۱۶ درصد بود (Martins et al., 2006).

وی و همکاران (۲۰۱۵) بوبری روغن بذر چای را به مدت یکساعت انجام دادند. آنها گزارش دادند که بوبری روغن بذر چای در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس برای تبخیر ترکیبات فرار کافی نبود، اما دما بالاتر از ۱۵۰ درجه سلسیوس (۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ درجه سلسیوس) به میزان قابل توجهی مقدار خروج ترکیبات فرار را افزایش داد. برای از بین بردن ترکیبات بوی نامطلوب و حفظ مواد فعال زیستی روغن بذر چای، دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس با فشار ۳ kpa به عنوان شرایط مطلوب انتخاب شد (Wei et al., 2015).

در پژوهشی اثر تصفیه شیمیایی و بوبری بر پروفیل‌های اسید چرب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حسی روغن ماهی توسط هیدرولیز آنزیمی مورد ارزیابی قرار گرفت. بوبری در دماها و زمان‌های مختلف انجام شد. ویژگی‌های بوی ماهی، بوی سرخ کردن، و بوی تند، عمدتاً با ارزیابی حسی انجام شد. از طرح آزمایشی مرکب مرکزی و شرایط آزمایشی مورد آزمایش از طرح فاکتوریل ۲۲ (۲ متغیر ارزیابی شده در دو سطح) پیروی کردند که در سه تکرار در نقطه مرکزی (سطح صفر) انجام شد. پس از تصفیه و بوبری روغن ماهی (Thunnus albacares)، مقدار عدد اسیدی روغن خام از ۱/۹۶ درصد به ۰/۳ درصد پس از بوبری کاهش یافت که به میزان ۸۵ درصد کاهش یافته است. در نهایت شرایط ۲۰۰°C و یک ساعت برای بوبری روغن ماهی توصیه شد (de Oliveria et al., 2016).



شکل ۵- شماتیک دستگاه بوبری با امواج اولتراسونیک (Doosti et al., 2021)

در تحقیقی بوبری روغن دنبه با استفاده از امواج فراصوت بررسی شد. در این تحقیق اثرات دما، زمان و توان فراصوت بر برخی خصوصیات کیفی و پروفایل اسیدهای چرب روغن دنبه گوسفند در مرحله بوبری بررسی و شرایط بهینه پارامترهای مورد نظر با استفاده از روش آماری سطح پاسخ تعیین گردید. نتایج نشان داد با افزایش زمان و دمای بوبری، شاخص‌های فساد در روغن دنبه بوبری شده کاهش می‌یابد. شرایط بهینه در این تحقیق برای بوبری روغن دنبه، دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، زمان ۸۰ دقیقه و توان فراصوت ۳۰۷ وات با استفاده از سیستم

بوبری با امواج فراصوت بدست آمد. طبق نتایج استفاده از امواج فراصوت موجب تسریع فرایند، کاهش دما و موجب بهبود خصوصیات کیفی روغن دنبه می گردد، همچنین با کاهش دادن زمان و دمای فرایند، موجب افزایش صرفه اقتصادی می گردد (Doosti et al., 2021).

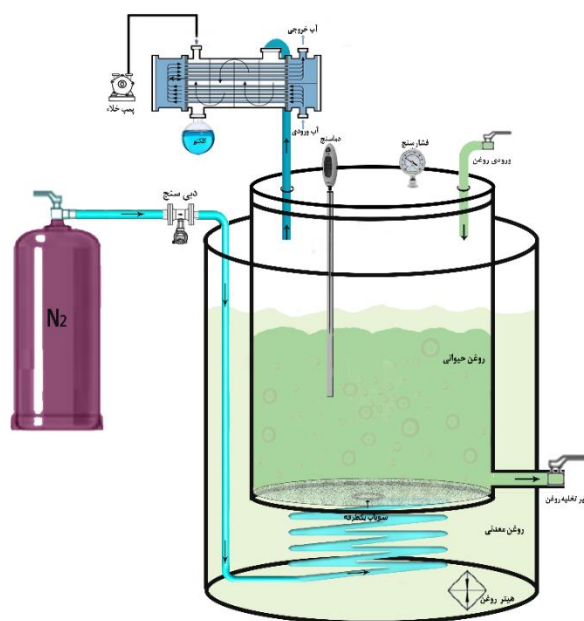
مایمال و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند که بوی نامطبوع در روغن پالم بوبری شده در ۱۳۰ درجه سلسیوس و پس از ۲ ساعت بوبری بود (Mayamol et al., 2007). ریادی و همکاران (۲۰۱۶) روغن پالم را بوبری نمودند. برخی از پارامترهای کیفیت از جمله رطوبت، اسید چرب آزاد، عدد پراکسید، رنگ و بو تجزیه و تحلیل شدند. تمام تیمارها عملکرد خوبی برای کاهش رطوبت داشتند. از نیتروژن به عنوان گاز خنثی در دماهای ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰°C و در دو زمان یک و دو ساعت برای بوبری روغن استفاده شد، آنها گزارش دادند که افزایش دما می تواند بوی روغن را کاهش دهد. بوی نامطبوع روغن در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت بوبری کاهش یافت (Riyadi et al., 2016).

گاریسا و همکاران (۲۰۰۶) بوبری روغن گلرنگ را در دمای ۲۶۰ درجه سلسیوس و فشار ۳ کیلو پاسکال انجام دادند. ایشان گزارش دادند که بوبری به طور معنی داری ($P < 0.05$) عدد پراکسید، عدد اسیدی و عدد پارآنیزیدین را کاهش می دهد (O rtega-Garcia et al., 2006).

زاجی و اگر (۲۰۰۸) تصفیه و بوبری روغن کلزا را به دو روش شیمیایی و فیزیکی انجام دادند. آنها اعلام کردند که پارامترهای دما، زمان و دبی بخار آب، اثربخشی بوبری بر مقدار تجزیه هیدروپراکسید را تحت تاثیر قرار می دهد (Zacchi and Eggers, 2008). ماریود و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که در بوبری روغن سویا، پراکسید و اسیدهای چرب آزاد به طور معنی داری ($P < 0.05$) در تمام نمونه ها با افزایش دما و زمان بوبری کاهش یافتند و تقریباً به طور کامل در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس حذف شدند (Mariod et al., 2010).

ذاکری (۱۳۹۲) برخی از روش های جدید بوگیری روغن خام ماهی و نتایج حاصل از آن را مورد بررسی قرار داد. در ابتدا برخی از خواص فیزیک و شیمیایی روغن ماهی با استفاده از روش های متداول اندازه گیری را بررسی و سپس بوگیری به روش شیمیایی و بر اساس حذف پروتئین های موجود در روغن را انجام داد. نتایج این پژوهش نشان داد که بوبری با استفاده از آمونیوم سولفات بهترین راندمان را در پی خواهد داشت. در پژوهش دیگری روغن هسته انار بوبری گردید و شاخص های بوبری مورد بررسی قرار گرفت. روغن هسته انار مورد ارزیابی حسی نیز قرار گرفت. نتایج نشان داد بهترین پارامترهای بوبری روغن هسته انار در این پژوهش وقتی است که نمونه در دمای ۱۵۰°C، زمان یک ساعت و جریان بخار ۳۰۰ میلی لیتر بر دقیقه قرار گیرد (ذاکری، ۱۳۹۲).

تحقیق دیگری به بررسی سینتیک بوبری دنبه گوسفند در دماهای مختلف در یک سیستم بوبری ناپیوسته پرداخته است. برای مطالعه سینتیک بوبری روغن دنبه، مدل سازی ریاضی تغییرات شاخص های فیزیک و شیمیایی انجام شد. برای این منظور، چهار مدل ریاضی، از جمله مدل لگاریتمی، وانگ و سینگ، هنون و همکاران و خطی برای مدل سازی شاخص های فساد روغن بررسی گردید. شاخص های فساد روغن (عدد اسیدی، عدد پراکسید، عدد پارا-آنیزیدین، ضریب خاموشی، عدد توتکس و شدت رنگ) تجزیه و تحلیل و پارامترهای عملکرد با استفاده از نرم افزارهای EXCEL 2013 و SPSS 23 انجام گرفت. نتایج مدل سازی نشان داد که مدل لگاریتمی برای پیش بینی عدد اسیدی، مدل خطی برای عدد پراکسید، عدد توتکس و ضریب خاموشی و مدل هونون برای پیش بینی تغییرات پارا-آنیزیدین در طول بوبری روغن دنبه انتخاب شد (Doosti et al., 2020).



شکل ۶- شکل شماتیک دستگاه بوبری روغن دنبه (Doosti et al. , 2020)

دوستی و همکاران (۱۳۹۹) بوبری روغن دنبه گوسفند را با امواج فراصوت انجام دادند و شدت بو را با استفاده از بینی الکترونیک و آزمون حسی و همچنین پروفایل اسیدهای چرب روغن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که به کارگیری امواج فراصوت بر شدت بوبری روغن دنبه اثر معنی داری دارد. همچنین نتایج آنالیز واریانس روش ماشین بویایی نشان داد که امواج فراصوت اثر معنی داری بر شدت بوی روغن دارد. شرایط بهینه در این تحقیق برای بوبری روغن دنبه، دمای ۱۶۲ درجه‌ی سلسیوس، زمان ۱۱۰ دقیقه و توان فراصوت ۱۶۵ وات بدست آمد. نتایج پروفایل اسیدهای چرب روغن دنبه نشان داد که حدود ۴۶/۷۳٪ اسیدهای چرب روغن دنبه را اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک، استئاریک، مارگاریک و میریستیک) تشکیل می‌دهد. نتایج نشان داد میزان اسیدهای چرب قبل و بعد از بوبری تغییر جزئی داشتند و نوع اسیدهای چرب در طول بوبری و قبل آن یکسان می‌باشد. بر اساس نتایج آزمون دانکن اختلاف معناداری بین ترکیب اسیدهای چرب نمونه کنترل و نمونه بوبری شده وجود ندارد. بنابراین امواج فراصوت تاثیری بر ترکیب شیمیایی نمونه نداشته است و به عنوان روشی سالم و ایمن در بوبری روغن می‌تواند استفاده شود.

اریکسون (۱۹۹۵) بیان داشتند که ترکیب اسیدهای چرب روغن سویا در اثر فرایندهای تصفیه روغن تغییر چشمگیری نمی‌کند (Erickson) و ۱۹۹۵. یونس سینکی (۱۳۸۶) نیز در پژوهش خود که مربوط به بوبری روغن سویا بود به نتیجه عدم تغییر مقدار اسیدهای چرب در طول بوبری روغن رسید (یونس سینکی، ۱۳۸۶).

گرتز و همکاران (۲۰۲۰) بوبری روغن زیتون را تحت خلا ۲۰۰ mbar و با گاز نیتروژن انجام دادند. بوبری در زمان ۱ تا ۲ ساعت و دمای ۱۱۰ تا ۱۷۰ درجه سانتیگراد در مقیاس آزمایشگاهی بود. نتایج نشان داد در مدت زمان بوبری روغن زیتون عدد اسیدی و عدد پراکسید به صورت محسوسی کاهش پیدا کرد (Gertz et al. 2020).

در آزمایشی تاثیر بوبری روغن سبوس برنج با نیتروژن و بخار آب اندازه گیری و مقایسه شد. تغییرات در کسر سیتوسترول، که بیشترین درصد فیتواسترولها را در روغن سبوس برنج تشکیل می دهد، با کروماتوگرافی گازی (GC)، طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و رزونانس مغناطیسی هسته ای (NMR) آنالیز شد. نتایج نشان داد که استفاده از نیتروژن به عنوان گاز جداساز برای بوزدایی مناسبتر است. تشکیل استرهای فیتواسترول را ترویج کرد، تولید محصولات اکسیداسیون فیتواسترول را کاهش داد و کیفیت روغن را بهبود بخشید (Yu et al., 2023).

در تحقیقی بوبری روغن ذرت در دمای ۱۸۰ درجه و زمان ۴۵ دقیقه به وسیله بخار آب و خلاء ۳-۵ بار مورد آزمایش قرار گرفت و کیفیت آن با روغن های ذرت موجود در بازار مقایسه شد. مشخص شد که کیفیت روغن به دست آمده از نظر پارامترهایی مانند مقدار ید، ارزش اسیدی و پایداری اکسیداتیو مشابه روغن جوانه ذرت است. جالب توجه است، علیرغم دمای بالای فرآیند پالایش، محتوای قابل توجهی از ترکیبات زیست فعال مانند فیتواسترولها (بالتر از ۹۰۰ میلی گرم در ۱۰۰ گرم) را حفظ کرد. تجزیه و تحلیل حسی نشان داد که روغن دارای طعم و عطر قابل قبولی است که نشان دهنده پتانسیل آن به عنوان یک ماده خام جایگزین برای تولید روغن خوراکی در آینده است (Susik & Ptasznik, 2024).

در تحقیقی دیگر روغن دانه کاملیا، به عنوان یک روغن خوراکی غنی بوی زدایی شد. زمان بوبری یک ساعت و در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد انجام شد. نتایج نشان داد از طریق فرآیندهای بهینه سازی اسید زدایی، رنگ زدایی و بوی زدایی، مقدار اسید چرب آزاد به ۰.۰۵۱۵ میلی گرم KOH/g کاهش یافت همچنین پس از فرآیند بوی زدایی، پارامترهای ضریب شکست، مقدار اسید، مقدار صابونی سازی، مقدار ید، جذب، غیرصابونی سازی، رطوبت و فرار، ترکیب اسیدهای چرب و محدودیت های فلزات سنگین، همگی با استانداردهای دارویی روغن تزریقی در بسیاری از کشورها و مناطق مطابقت دارند (Zhang et al., 2024).

نتیجه گیری کلی

اساس بی بو کردن اختلاف زیاد موجود بین فرارایت روغن (تری گلسیریدها) و ناخالصی های فرار معطر در روغن است. این فرایند، اساساً یک انتقال جرم است که از طریق حرارت دادن روغن، در دمای بالا و تحت خلاء انجام می شود. اگر حداقل زمان برای بوبری کامل رعایت نشود برخی پیش سازهای طعمی در روغن باقی می ماند و در زمان استفاده روغن در دماهای بالاتر (سرخ کردن عمیق) موجب بروز بد طعمی می گردند. معمولاً آخرین مرحله در تصفیه شیمیایی روغن خوراکی، تصفیه با بخار می باشد. بوزدایی یکی از مراحل حساس و بحرانی تصفیه به شمار رفته و اثر مهمی بر کیفیت روغن تصفیه شده دارد. این فرآیند باقیمانده ذراتی که در اثر فرآیندهای قبلی در روغن ایجاد شده است را جدا می سازد. ترکیب اصلی که توسط بوبری از روغن جدا می شود، اسیدهای چرب آزاد است. مقدار اسیدهای چرب آزاد با عدد اسیدیته سنجیده می شود که در تمام تحقیقات این عدد در طول فرایند بوبری کاهش پیدا کرده است یعنی خاصیت اسیدی روغن کم شده و کیفیت روغن بهبود یافته است. همچنین شاخص های عدد پراکسید، عدد پارا-آنیزیدین و عدد توتکس که نشان دهنده محصولات اکسیداسیون روغن هستند و فساد شیمیایی روغن را اندازه گیری می کنند در طول بوبری روغن کاهش پیدا کرده اند که این نشان می دهد بعد از بوبری فساد

شیمیایی روغن کاهش پیدا می کند و مدت زمان نگهداری روغن افزایش می یابد. نتایج نشان داد که ضریب خاموشی و عدد صابونی در مدت بوبری روغن کاهش می یابند که هردو پارامتر نشان از افزایش کیفیت روغن را دارند. عدد یدی که تعداد پیوندهای دوگانه روغن را در طول بوبری نشان می دهد افزایش می یابد یعنی دمای ذوب روغن بوبری شده کاهش می یابد. نتایج نشان داد بوبری به حذف آلاینده ها کمک کرده، تاریخ مصرف را افزایش داده، پایداری مزه را ارتقاء بخشیده و رنگ روغن را به خاطر تجزیه کاروتن های باقی مانده در دمای بالا کاهش می دهد. در نهایت کیفیت روغن تصفیه شده معمولاً به وسیله پارامترهای کیفیت مثل پایین بودن میزان اسیدهای چرب آزاد باقیمانده، افزایش پایداری نسبت به اکسیداسیون، رنگ شفاف و طعم و بوی مناسب افزایش می یابد.

منابع

دوستی، آ.، جعفری نعیمی، ک.، بلوردی، م.، مرتضی پور، ح. ۱۳۹۹. بوبری روغن دنبه گوسفند با امواج فراصوت و ارزیابی شدت بو با استفاده از بینی الکترونیکی و آزمون حسی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۷(۹۸)، ۱۳-۲۶.

ذاکری، ط. ۱۳۹۲. طراحی مرحله بوبری روغن هسته انار، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی صنایع غذایی.

مالک، ف. ۱۳۸۹. چربی ها و روغن های نباتی خوراکی، چاپ دوم، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، ۴۷۲ صفحه.

یونس سینکی، ن. ۱۳۸۶. اثر شرایط بی بو کردن روغن سویا بر میزان از دست رفتن توکوفرول ها و استرول ها و اکسیداسیون روغن بی بو شده، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه تهران.

Akterian, S. 2009. Modeling and evaluating the batch deodorization of sunflower oil. Journal of Food Engineering, 91(1), 29-33.

Anderson, D. 2005. A primer on oils processing technology. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 1-56.

Bockisch, M. 1998. Vegetable fats and oils. Fats and oils handbook, 174-344.

Ceriani, R., Meirelles, A. J. 2004. Simulation of continuous deodorizers: effects on product streams. Journal of the American Oil Chemists' Society, 81: 1059-1069.

Chemat, F., Grondin, I., Sing, A. S. C., & Smadja, J. 2004. Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 11(1), 13-15.

Chew, S. C., Tan, C. P., & Nyam, K. L. 2017. Optimization of neutralization parameters in chemical refining of kenaf seed oil by response surface methodology. Industrial Crops and Products, 95, 742-750.

Cui, Z., Muralidhara, H. 2010. Membrane Technology: A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing: Elsevier.

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.

- Doosti, A., Jafari Naeimi, K., Balvardi, M., & Mortezaipoor, H. 2020. Ultrasound-assisted deodorization of sheep tail fat and evaluation of odor intensity using electronic nose and sensorial analysis. *Journal of food science and technology (Iran)*, 17(98), 13-26.
- Doosti, A., Jafarinaiimi, K., Balvardi, M., & Mortezaipoor, H. 2021. Parameters Optimization of Ultrasound-Assisted Deodorization of Sheep Tail Fat Using Response Surface Technique. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 40(3), 815-831.
- Erickson, D. R. 1995. Degumming and lecithin processing and utilization. *Practical handbook of soybean processing and utilization*, 174-183: Elsevier.
- Gertz, C., Matthäus, B., & Willenberg, I. 2020. Detection of soft-deodorized olive oil and refined vegetable oils in virgin olive oil using near-infrared spectroscopy and traditional analytical parameters. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(6), 1900355.
- Gunstone, F. D., Harwood, J. L., & Dijkstra, A. J. 2007. *The Lipid Handbook With CD-ROM*: CRC press.
- Hooper, L., Abdelhamid, A., Moore, H. J., Douthwaite, W., Skeaff, C. M., & Summerbell, C. D. 2012. Effect of reducing total fat intake on body weight: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and cohort studies. *Bmj*, 345, e7666.
- Hrastar, R., Cheong, L. Z., Xu, X., Miller, R. L., & Košir, I. J. 2011. Camelina sativa oil deodorization: balance between free fatty acids and color reduction and isomerized byproducts formation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88: 581-588.
- Mariod, A., Matthäus, B., Eichner, K., Hussein, I. H., & Bustamam, A. 2010. Effects of deodorization on the quality and stability of three unconventional Sudanese oils. *Afr. J. Biotechnol.*, 37 (8), 189-196.
- Martins, P., Ito, V., Batistella, C., & Maciel, M. W. 2006. Free fatty acid separation from vegetable oil deodorizer distillate using molecular distillation process. *Separation and Purification Technology*, 48(1), 78-84.
- Mayamol, P., Balachandran, C., Samuel, T., Sundaresan, A., & Arumughan, C. 2007. Process technology for the production of micronutrient rich red palm olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(6), 587-596.
- Ortega-García, J., Gámez-Meza, N., Noriega-Rodriguez, 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.
- 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.

- Rousseau, D. 2003. Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses: FD Gunstone. Blackwell Publishing and CRC Press (USA/Canada), pp. 337. ISBN 0-8493-2816-0 (USA). Price:£ 90.00: Elsevier.
- Ruiz-Méndez, M. V. 2011. Contribution of denaturing and deodorization processes of oils to toxic oil syndrome. *Chemico-Biological Interactions*, 192(1-2), 142-144.
- Sabah, E., & Majdan, M. 2009. Removal of phosphorus from vegetable oil by acid-activated sepiolite. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 423-427.
- Salunkhe, D., Chavan, J., Adsule, R., & Kadam, S. 1992. Sunflower (pp. 97-139): Van Nostrand Reinhold: New York.
- Shahidi, F. 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6 Volume Set (Vol. 4): Chapter.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. 2005. Lipid oxidation: measurement methods. Bailey's Industrial Oil and Fat Products.
- Susik, J., & Ptasznik, S. 2024. Comparison of deodorized post-fermentation corn oil to commercial corn germ oil. *LWT*, 200, 116161.
- Wei, J., Chen, L., Qiu, X., Hu, W., Sun, H., Chen, X., & Chen, H. 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.
- 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.
- Yang, B., Wang, Y. H., & Yang, J. G. 2006. Optimization of enzymatic degumming process for rapeseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(7), 653-658.
- Yu, D., Dong, T., Zhang, L., Zhou, X., Wang, L., Yang, F., & Liu, T. 2023. Effects of different deodorization methods on the oxidation of sterol components in rice bran oil. *Food Chemistry*, 404, 134568.
- Zacchi, P., & Eggers, R. 2008. High-temperature pre-conditioning of rapeseed: A polyphenol-enriched oil and the effect of refining. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(2), 111-119.
- Zhang, H., Han, M., Nie, X., Fu, X., Hong, K., & He, D. 2024. Production of Camellia oleifera Abel Seed Oil for Injection: Extraction, Analysis, Deacidification, Decolorization, and Deodorization. *Foods*, 13(10), 1430.

An overview on the effective parameters in deodorization process of edible oils

Abstract

The presence of impurities in the oil causes darkening, foaming, or smoking and the formation of deposits when heating the oil, reducing the stability of the oil against oxidation and other reactions that create problems during the oil extraction process. It reduces the quality of the final product. These impurities include free fatty acids, phosphatides and other gummy substances, waxes, pigments, peroxides and substances resulting from oxidation, rare metals, etc. Fat deodorization is a vacuum-steam distillation process that is usually accomplished at the conditions of high temperature, low pressure, and the presence of the steam as stripping gas for removing the unwanted components such as free fatty acids, odoriferous matter, moisture, and color pigments. Deodorization is one of the sensitive and critical stages of refining and has an important effect on the quality of refined oil. In this article, the parameters of the edible oil refining process, an overview of the research done in this field, and the duration and temperatures of the process were discussed. The results of the studies showed that oil refining reduces free fatty acids, other volatile compounds, tocopherol, sterols, and oil pollutants, which increases the stability and quality of the oil. The results of the research showed that with the increase in the time and temperature of the oil, the spoilage indicators in the oil are reduced, and the redness of the oil after oil is reduced. According to the results, the use of ultrasonic waves accelerates the process, reduces the temperature, and improves the qualitative characteristics of the oil. Also, by reducing the time and temperature of the process, it may increase economic efficiency.

Keywords: Deodorization, Edible oil, Free fatty acids, Oil refining