تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد۲۲ / شماره ۷۵ / پاییز و زمستان ۱۴۰۲/ ص ۱۳۲ - ۱۱۱

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر فرآیند اکستروژن بر ویژگی‌های کیفی روغن سبوس برنج ارقام طارم و خزر

سید مهدی حسینی بحری[1*]، رضا اسماعیل‌زاده کناری[2]، زینب رفتنی امیری[3]

[1*]مربی، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

[2] استاد، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[3]استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری دانشکده مهندسی زراعی گروه علوم و صنایع غذایی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

چکیده

سبوس برنج محصول جانبی فرآیند آسیابانی برنج و لایه خارجی برنج قهوه‌ای است. در این پژوهش سبوس برنج ارقام طارم و خزر پس از ۱۲ ساعت فرآیند آسیابانی در دستگاه اکسترودر قرار گرفتند و سپس روغن سبوس برنج با استفاده از حلال هگزان استخراج گردید. روغن استحصال شده تصفیه شد و آزمون‌های ارزیابی پروفایل اسیدهای چرب، میزان عدد پراکسید، اسید چرب آزاد، عدد یدی، عدد آنیزیدین، ترکیبات صابونی ناشونده، پارامترهای رنگی، میزان گاما اورایزانول و موم روغن انجام شدند. اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و پالمتیک سه اسید چرب عمده در روغن سبوس برنج بودند. با اعمال فرایند اکستروژن میزان اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع به ترتیب افزایش و کاهش یافتند. فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس از نظر میزان اسیدهای چرب آزاد، عدد پراکسید، عدد آنیزیدین و محتوای موم تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت؛ ولی باعث کاهش عدد یدی گردید. در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس منجر به افزایش عدد پراکسید، عدد آنیزیدین و میزان موم شد. همچنین با اعمال فرایند اکستروژن، میزان ترکیبات صابونی ناشونده و گاما اورایزانول کاهش یافت و از نظر پارامترهای رنگی، رنگ زرد روغن افزایش و رنگ قرمز و آبی روغن کاهش یافت. دما و اعمال فرایند اکستروژن بر خصوصیات کیفی روغن سبوس برنج حاصله تأثیر داشته‌اند بطوریکه استفاده از دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس باعث کیفیت نامطلوب در روغن حاصله گردیده ولی دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس تأثیر نامطلوبی بر قابلیت خوراکی و فساد روغن نداشته است. با توجه به اینکه اعمال فرایند اکستروژن باعث غیرفعال‌شدن عوامل ضد تغذیه‌ای، آنزیم لیپاز و افزایش توان انبارمانی سبوس برنج قبل از فرایند استحصال روغن می‌گردد، اکسترود نمودن سبوس برنج در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس می‌تواند روش مناسبی برای تثبیت سبوس برنج و بهبود خواص کیفی روغن حاصله باشد.

واژگان کلیدی: استخراج روغن، اکستروژن، خصوصیات کیفی، روغن سبوس برنج، سبوس برنج

مقدمه

سبوس برنج یکی از محصولات جانبی کارخانه‌ها سفید کردن برنج است که به عنوان ضایعات آن به‌حساب می‌آید و دارای ترکیبات باارزشی چون پروتئین، روغن، ویتامین‌ها و نیترات‌هاست و می‌تواند به عنوان یک منبع روغن گیاهی محسوب شود. سبوس برنج حاوی ۱۷-۱۱ درصد پروتئین، ۱۳-۱۸ درصد چربی، ۱۰ درصد فیبر، ۶۵-۴۵ درصد کربوهیدرات و منبع سرشاری از ویتامین‌های ب، توکوفرول و

نویسنده مسئول: **Mail**: mahdibahri2010@yahoo.com

http://doi: 10.22092/fooder.2024.363337.1373

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

همچنین مواد معدنی مانند فسفر، پتاسیم، آهن، کبالت و روی است (Orthoefer, 1996).

سبوس برنج دارای ۱۲ درصد روغن است که حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب چند غیراشباعی، تک غیراشباعی و بسیار پایدار در برابر حرارت می‌باشد. در میان روغن‌های خوراکی، روغن سبوس برنج منبع غنی از فیتوکمیکال‌های زیست فعال مهم تجاری می‌باشد که اغلب آنها در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فیتوکمیکال‌ها با ارزش تغذیه‌ای بالا شامل گاما اورایزانول، توکوفرول‌ها و توکوتری‌انول‌ها می‌باشند.گاما اورایزانول به طور اساسی از استرهای اسید فرولیک ترانس با فیتواسترول‌ها و الکل‌های تری ترپن مشتق شده است. امروزه تمایل به استفاده از روغن سبوس برنج به علت ارزش تغذیه‌ای، سلامتی و همچنین کاربردهای گسترده آن، افزایش یافته است (Lerma-Garcia et al, 2009).

روغن خام سبوس برنج شامل موم، صمغ، نشاسته، آب و غیره می‌باشد که می‌بایست از روغن جدا شوند. این روغن، روغنی شفاف با بوی برنج می‌باشد. روغن سبوس برنج عدد اسیدی پائین و رنگ زرد متمایل به سبز داشته که با افزایش عدد اسیدی رنگ آن تیره‌تر خواهد شد، به‌گونه‌ای که روغن با عدد اسیدی بالا رنگ قهوه‌ای متمایل به ارغوانی دارد. روغن سبوس برنج در حدود۳۰ درصد لینولئیک اسید، ۴۴ درصد اولئیک اسید و ۲۳ درصد اسیدهای چرب اشباع داراست. این روغن دارای نقطه دود ۲۴۵ تا ۲۵۷ درجه سلسیوس بوده و دارای مقادیر زیادی از مواد غیر قابل صابونی شونده مانند ویتامین E و گاما اورایزانول می‌باشد. یکی از مهم‌ترین خواص روغن سبوس نرم برنج خاصیت آنتی-اکسیدانی آن می‌باشد که به دلیل وجود ترکیبات آنتی-اکسیدانی همچون توکوفرول‌ها، گاما اورایزانول و ترکیبات فنولیک است (Lerma-Garcia et al, 2009). با توجه به ترکیب اسیدهای چرب این روغن خوراکی (جدول ۱) مشخص می‌گردد که روغن سبوس برنج دارای نسبت مطلوب از اسیدهای چرب اشباع (SFA)، تک غیراشباع (MUFA) و چند غیراشباع (PUFA) می‌باشد (Lerma-Garcia et al, 2009).

جدول ۱- ترکیب اسیدهای چرب در روغن سبوس برنج

Table 1- Composition of fatty acids in rice bran oil

Fatty Acid	W (%)
Myristic Acid (C14)	2.0
Palmitic Acid (C16)	12 – 17.3
Stearic Acid (C18)	1.8 –2.6
Arachidic Acid (C20)	0.5
Behinic Acid (C22)	0.5
Lignoceric Acid (C24)	0.7
Oleic Acid (C18:1)	41 – 45.6
Linoleic Acid (C18:2)	27.6 –36.7
Linolenic Acid (C18:3)	trivial

یکی از مشکلات عمده در فرآیند تولید روغن سبوس برنج، بالارفتن سریع اسیدهای چرب آزاد می‌باشد که دلیل اصلی این مسئله وجود میزان نسبتاً بالایی از آنزیم لیپاز در سبوس برنج می‌باشد که جهت جلوگیری از تجزیه لیپیدها و

به بیان دیگر جلوگیری از فساد سبوس برنج، پایدارسازی سبوس برنج به عنوان یک پیش فرآیند استخراج روغن ضروری است (Nicolosi et al, 1993).

فرآیند اکستروژن یکی از مناسب‌ترین روش‌های پایدارسازی سبوس برنج است که یک فرآیند گرمایی چند کاربردی است. شرایط دما، فشار و نیروی برشی بالا در طی فرآیند اکستروژن آنزیم‌هایی نظیر لیپاز و پراکسیداز را در سبوس برنج غیرفعال می‌کند که در نتیجه باعث پایدارسازی سبوس برنج می‌شود (Zhu & Yao, 2002). تحقیقات نشان داده‌اند که در مقایسه سبوس برنج فرآیند شده با روش اکستروژن و سبوس برنج فرآیند نشده، میزان اسیدهای چرب آزاد در سبوس برنج فرآیند شده کاهش یافته و مدت زمان نگهداری نیز افزایش یافته است. همچنین مواد مغذی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در سبوس برنج پس از فرآیند اکستروژن به میزان بالایی حفظ شده‌اند. به طور معمول فرآیند اکستروژن نسبت به سایر روش‌های پایدارسازی سبوس برنج دارای مزایایی همچون بهره‌وری بالاتر، زمان فرآیند کوتاه‌تر، عملیات ساده‌تر، حفظ بهتر یکنواختی شکل محصول و نهایتاً پایدارسازی بهتر محصول می‌باشد (Kim et al, 2006).

همچنین استفاده از حرارت خشک در فرآیند اکستروژن اثرات بهتری در پایدارسازی سبوس برنج داشته است بطوریکه خصوصیات کاربردی سبوس برنج مانند میزان جذب آب، میزان حلالیت در آب، دانسیته و میزان نشاسته با استفاده از فرآیند اکستروژن باحرارت خشک بهبود می‌یابند (Sharma et al, 2004). استفاده از فرآیند اکستروژن برای پایدارسازی سبوس برنج همچنین باعث بهبود رنگ و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن شده و میزان اسید فیتیک به مقدار زیادی کاهش یافته و باعث حفظ چربی، ویتامین‌ها و فولیک‌اسید می‌گردد و از سوی دیگر میزان فیبر رژیمی که روغن خام سبوس برنج شامل موم، صمغ، نشاسته، آب و غیره است که می‌بایست از روغن جدا شوند. این روغن، باعث بهبود عملکرد بالقوه سبوس برنج است، به مقدار زیادی افزایش می‌یابد (Rafe & Sadeghian, 2017).

بنابراین، با توجه به بهبود خصوصیات تغذیه‌ای سبوس برنج با به‌کارگیری فرآیند اکستروژن، کاربرد این روش در محدوده وسیعی از مواد غذایی سودمند و مفید است اما ممکن است از نظر کیفی بخصوص در مورد روغن استحصالی تغییراتی ایجاد نماید که مستلزم تحقیق و پژوهش است و تحقیق حاضر نیز بدین منظور انجام شده است و نوع آوری و ابتکار این پژوهش در این است که به طور نسبتاً جامع تغییرات خصوصیات کیفی روغن سبوس برنج ارقام پر مصرف ایرانی طارم و خزر شامل ترکیب اسیدهای چرب، عدد پراکسید، میزان اسیدهای چرب، عدد یدی، عدد آنیزیدین، ترکیبات صابونی ناشونده و برای اولین‌بار تغییرات پارامترهای رنگی و ترکیب آنتی‌اکسیدانی گاما اورایزانول در اثر فرایند اکستروژن در دو دمای ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سلسیوس تحت‌فشار ۴۰ بار و مدت زمان فرایند ۱۰۰ ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

در این پژوهش از ۲ رقم سبوس برنج طارم و خزر جهت فرآیند اکستروژن و سپس استحصال روغن استفاده شد. همچنین کلیه مواد آزمایشگاهی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شد. همچنین جداسازی سبوس برنج روغن‌گیری نشده از شلتوک برنج به‌وسیله الک مش ۸۰ انجام گرفت (Hitotsumatsu & Takeshita, 1994).

آماده‌سازی سبوس برنج و فرآیند اکستروژن

سبوس برنج ۲ رقم طارم و خزر ۱۲ ساعت پس از فرآیند

آسیابانی به مقدار لازم تهیه شد و در دستگاه اکستروژن در شرایط دمایی ۱۲۰ و۱۴۰ درجه سلسیوس و فشار ۴۰ بار قرار گرفت. جهت اکسترود نمودن سبوس برنج از دستگاه اکسترودر تک محفظه ای مدل Andritz Extruder Model EX620,Denmark با ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم در ساعت استفاده شد که طول و قطر محفظه اکسترودر ۱۶۰۰ و ۲۱۰ میلیمتر و نسبت طول به قطر برابر ۷/۶۲ بود. زمان اکسترود نمودن سبوس برنج ۱۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد (Zare-Sheibani et al, 2015).

استحصال روغن از سبوس برنج

برای استحصال روغن از سبوس برنج از روش استخراج با حلال هگزان استفاده شد. ۱۰۰ گرم از سبوس برنج آسیاب شده وزن شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت تا دیواره سلول های تشکیل دهنده آن شکسته شود و همچنین سبب شد تا مواد قابل حل در حلال آزاد شوند. سپس به آن مقدار لازم از حلال هگزان اضافه شد تا کاملا خیس شد. پس از مدت ۳ ساعت خیس خوردن وارد دستگاه سوکسله گردید. دمای حلال طی عمل استخراج دمای جوش حلال در نظر گرفته شد. پس از مدت زمان لازم جهت استخراج، روغن استخراجی صاف شد تا ناخالصی های آن جدا گردد و بوسیله دستگاه تبخیر دوار در خلا حلال زدایی گردید(Hitotsumats & Takeshita, 1994).

فرآیند تصفیه روغن استخراجی

جداسازی مواد صمغی و خنثی‌سازی

به منظور جداسازی مواد صمغی، ابتدا مقدار ۰/۵ درصد وزنی اسید فسفریک به مقدار ۱۰۰۰ گرم روغن سبوس برنج اضافه گردید. سپس جهت خنثی‌سازی روغن، به مخلوط روغن و اسید فسفریک محلول سود با درجه بومه ۱۴ افزوده گردید. میزان اضافه‌شدن سود به‌اندازه‌ای بود تا روغن خنثی شد. جهت تصفیه، روغن درون یک بشر ریخته شد و از یک حمام آب جهت یکنواخت شدن دمای روغن استفاده شد. در ادامه آب با نسبت ۱ درصد وزنی به روغن استخراجی اضافه شد. مخلوط هم زده شد و سپس به مدت ۵ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد تا مواد صمغی آن زمان کافی جهت ته‌نشینی داشته باشند و نهایتاً با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه صاف شد تا مواد صمغی و صابون جدا گردند (Hitotsumatsu & Takeshita, 1994).

مرحله بی‌رنگ نمودن روغن

از خاک اسیدی فعال شده (خاک فعال شامل بنتونیت و مونت موریلونیت اسیدی شده با اسیدسولفوریک ۳۰٪) برای بی‌رنگ کردن روغن تصفیه شده استفاده شد. این عمل به‌وسیله گرم نمودن روغن سبوس برنج تحت خلأ در یک سیستم دارای ترموستات و همزن مکانیکی انجام گرفت. وقتی دمای روغن سبوس برنج به ۱۳۰ – ۹۰ درجه سلسیوس رسید، ماده بی‌رنگ کننده (سیلیکات آلومینیم هیدراته دارای نسبت اکسید سیلیسیم به اکسید آلومینیم ۴ به ۱) به آن اضافه شد و روغن به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. پس از آن دمای روغن به‌سرعت تا رسیدن به دمای محیط سرد شد و خاک رنگ‌بر (خاک اسیدی فعال شده) به نسبت ۲ درصد وزنی روغن به آن اضافه شد و پس از فیلتر مقدار اسیدهای چرب آزاد آن تعیین گردید (Hitotsumatsu & Takeshita, 1994).

جداسازی مواد مومی (فرآیند زمستانه کردن)

به منظور جداسازی مواد مومی، روغن به مدت ۴۸ ساعت تا دمای ۳ – ۲ درجه سلسیوس سرد شد و سپس با دستگاه سانتریفیوژ صاف گردید و مواد مومی آن جدا شد (Hitotsumatsu & Takeshita, 1994).

فرآیند بی بو کردن

برای انجام فرآیند بی بو کردن تحت خلأ کامل ۰/۳ بار،

روغن به مدت ۰/۵ ساعت در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس در دستگاه بی بو کننده در مقیاس پایلوت قرار گرفت. در پایان جهت ارزیابی کیفیت فرایند پارامترهایی از جمله عدد پراکسید، درصد اسیدهای چرب آزاد و رنگ‌روغن مورد ارزیابی قرار گرفت که در محدوده استاندارد قرار داشتند (Shahidi & Zhong,۲۰۰۵).

آزمون‌های ارزیابی کیفی روغن سبوس برنج

بررسی ترکیب اسیدهای چرب

آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب مطابق روش AOCS Ce 2-66 و آنالیز آنها با دستگاه کروماتوگرافی گاز- مایع و بر طبق روش AOCS 1Ce -91 انجام گرفت (AOAC, 2005). ۰/۳۵ گرم نمونهٔ روغن و ۶ میلی‌لیتر سود متانولی (۰/۵ نرمال در متانول) در یک ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و با اتصال مبرد به آن به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس ۷ میلی‌لیتر محلول BF_3 متانولی (۱۲۵ گرم BF_3 در ۱ لیتر متانول) به آن افزوده و حرارت‌دهی ۲ دقیقه دیگر ادامه یافت. سپس حرارت قطع، مبرد جدا و به آن ۱۵ میلی‌لیتر آب‌نمک اشباع اضافه شد تا فاز آلی به خوبی جدا شد. ۱ میلی‌لیتر از فاز آلی برداشته و اندکی سولفات سدیم به آن افزوده و هم زده شد و با کاغذ صافی صاف گردید. به محلول صاف شده، ۱ میلی‌لیتر هپتان نرمال اضافه گردید و ۱ میکرولیتر از آن به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. مقدار اسیدهای چرب بر حسب درصد گزارش گردید.

اندازه‌گیری میزان پراکسید

اندازه‌گیری اندیس پراکسید با استفاده از تیتراسیون با تیوسولفات سدیم مطابق روش AOCS Cd 8-23 انجام شد (AOAC, 2005). به ۵ گرم نمونه روغن آماده شده در ارلن مایر ۳۰ میلی‌لیتر حلال (مخلوط اسید استیک و کلروفرم به نسبت ۳ به۲ شامل ۱۸ میلی‌لیتر اسید استیک و ۱۲ میلی- لیتر کلروفرم) اضافه شده سپس ۰/۵ میلی‌لیتر یدور پتاسیم افزوده و بهم زده می‌شود. سپس ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و چند قطره چسب نشاسته افزوده و با محلول تیوسولفات ۰/۰۲ نرمال تیتر می‌گردد.

اندازه‌گیری درصد اسیدهای چرب آزاد

این کار به روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم مطابق روش ACOS Ca 5a-40 و بر اساس اسید اولئیک انجام شد (AOAC, 2005). ۵ گرم از نمونه روغن را وزن کرده سپس ۱۰ میلی‌لیتر اتانول به همراه چند قطره معرف فنل فتالئین اضافه کرده و با سود ۰/۱ نرمال تیتر می‌شود و نتیجه بر حسب درصد اسید اولئیک بیان می‌شود.

اندازه‌گیری عدد یدی

این کار با محاسبه عدد یدی از پروفیل اسید چرب نمونه‌ها طبق روش AOCS Cd 1c-85 و رابطه ۱ انجام شد (AOAC, 2005). آنالیز ترکیب اسیدهای چرب با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گاز- مایع انجام گرفت. ۰/۳۵ گرم نمونهٔ روغن و ۶ میلی‌لیتر سود متانولی (۰/۵ نرمال در متانول) در یک ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و با اتصال مبرد به آن به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس ۷ میلی‌لیتر محلول BF_3 متانولی (۱۲۵ گرم BF_3 در ۱ لیتر متانول) به آن افزوده و حرارت‌دهی ۲ دقیقه دیگر ادامه یافت. سپس حرارت قطع، مبرد جدا و به آن ۱۵ میلی‌لیتر آب‌نمک اشباع اضافه شد تا فاز آلی به خوبی جدا شد. ۱ میلی‌لیتر از فاز آلی برداشته و اندکی سولفات سدیم به آن افزوده و همزده شد و با کاغذ صافی صاف گردید. به محلول صاف شده، ۱ میلی‌لیتر هپتان نرمال اضافه گردید و ۱ میکرولیتر از آن به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. مقدار اسیدهای چرب بر حسب درصد گزارش گردید.

(رابطه ۱)

$$IV=(0.95\times\%C16:1)+(0.86\times\%C18:1)+(1.732\times\%C18:2)+(2.616\times\%C18:3)+(0.785\times\%C20:1)+(0.723\times\%C22:1)$$

اندازه‌گیری میزان موم

اندازه‌گیری میزان کدورت و واکس روغن توسط دستگاه توربیدومتر (مدل لوترون TU-2016) انجام شد. میزان ۱۵۰ میلی‌لیتر روغن تا دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد تا هرگونه رطوبت یا کریستال‌های موم آن از بین برود. روغن گرم شده فیلتر شد. ۳۰ – ۲۰ میلی‌لیتر ابتدایی روغن دور ریخته شد. دوباره روغن تا دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد و نمونه روغن به داخل سل ریخته شد. با الکل جداره سل شیشه‌ای تمیز و با دستمال خشک گردید و در داخل دستگاه میزان توربیدی خوانده شد (T1). سل از دستگاه خارج و ابتدا در دمای محیط سرد و سپس در بشر پر از آب و یخ قرار داده شد و سپس در یخچال گذاشته شد. از زمانی که دمای سل به صفر درجه سلسیوس رسید به مدت ۲۰ دقیقه زمان تعیین گردید. سل بعد از ۲۰ دقیقه بیرون آورده شد و به مدت ۳ – ۲ دقیقه در دمای محیط رها گردید. جداره سل با الکل تمیز شد و در نهایت داخل دستگاه میزان توربیدی (T2) قرائت شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری عدد آنیزیدین

عدد پارا-آنیزیدین نمونه‌ها به روش اسپکتروفتومتری طبق روش رسمی به شماره AOCS Cd 18-90 تعیین شد. به طور خلاصه، ۴۰-۵۰ میلی‌گرم روغن سبوس برنج در یک فلاسک حجمی ۵۰ میلی‌لیتری توزین شد و با ایزو اکتان به حجم رسانده شد. جذب محلول در ۳۵۰ نانومتر در برابر ایزو اکتان به عنوان شاهد (خوانش قبل از واکنش) اندازه‌گیری شد. سپس ۲ لوله آزمایش تهیه شد. لوله اول حاوی محلول ذکر شده و لوله دوم حاوی همان مقدار (۵ میلی‌لیتر) حلال (ایزو اکتان) بود. ۱ میلی‌لیتر از معرف پارا-آنیزیدین به هر دو لوله اضافه شد و جذب لوله اول در برابر لوله دوم دقیقاً پس از ۱۰ دقیقه (خوانش پس از واکنش) اندازه‌گیری شد. عدد پارا-آنیزیدین نمونه‌ها با استفاده از قرائت‌های قبل و بعد از واکنش با معرف پارا-آنیزیدین طبق فرمول ذکر شده در روش رسمی AOCS محاسبه شد (AOAC, 2005).

اندازه‌گیری ترکیبات صابونی ناشونده

۵ گرم از نمونه توزین و ۳۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ ٪ به آن اضافه شد. در ادامه ۵ میلی‌لیتر KOH ۵۰ درصد به آن افزوده شد و به مدت ۱ دقیقه به هم زده شد. محتویات ارلن مایر به دستگاه سوکسله وصل شد و به مدت ۱ ساعت تحت کندانسور صابونی گردید. پس از سرد شدن، محتویات ارلن به یک دکانتور انتقال داده شد و به آن ۵۰۰ میلی‌لیتر پترولیوم بنزن اضافه گردید. پس از دو فاز شدن، فاز پائینی به ارلن منتقل شد و مجددا با پترولیوم شست و شو داده شد و سپس به دکانتور منتقل گردید (این عملیات حداقل ۸ بار تکرار شد). در انتها تمام محتویات فاز بالایی به دکانتور اول انتقال داده شد. سپس تمامی این مواد به یک بالن انتقال داده شد و درون آون ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا حلال آن کاملاً تبخیر شود. سپس ۲ میلی‌لیتر پرولیوم بنزن و ۵۰ میلی‌لیتر اتانول خنثی به آن اضافه شد و با سود ۰/۰۱ نرمال تا ایجاد رنگ صورتی کمرنگ تیر شد. مقدار ترکیبات غیر قابل صابونی شونده از رابطه ۲ محاسبه گردید (AOAC, 2005):

$$m_{fat}=v_{NaOH}*N*0.282$$

$$un.sap=\frac{(M-m_{fat})*100}{m}$$

(رابطه۲)

M: تفاوت وزن بالن خالی و بالن حاوی نمونه بعد از رسیدن به وزن ثابت

m_{fat}: جرم اسید چرب موجود در نمونه

m: وزن اولیه روغن

اندازه‌گیری میزان اورایزانول

اندازه‌گیری و شناسایی اوریزانول توسط روش فانگ و همکاران (۲۰۰۳) به کمک دستگاه RP-HPLC و متانول به عنوان فاز متحرک اندازه‌گیری شد (Fang, Yu, & Badger, 2003).

ارزیابی رنگ روغن

ارزیابی رنگ روغن با استفاده از دستگاه رنگ‌سنجی لاویباند انجام گرفت. روغن صاف شده تا دمای ۴۰ درجه سلسیوس دوباره گرم شد. روغن تا اندازه سه چهارم سل شیشه‌ای ۵ – ۱/۴ اینچ دستگاه لاویباند ریخته شد. سپس سل در داخل دستگاه در جای مخصوص آن قرارداد شد، درب دستگاه بسته و رنگ روغن در قالب ۴ رنگ قرمز، زرد، آبی و خنثی گزارش گردید (AOAC, 2005).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش برای بررسی تفاوت‌های آماری بین نمونه‌ها از طرح آماری فاکتوریل و همچنین طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. به منظور بررسی تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها از آزمون ANOVA یک‌طرفه در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

پروفایل اسیدهای چرب روغن سبوس برنج

اکستروژن یک پیش‌تصفیه جایگزین برای استخراج روغن از منابع غلات است (Liu et al., 2020). درصد استحصال روغن سبوس برنج که پس از فرایند اکستروژن و به روش استخراج با حلال هگزان انجام شد به میزان ۱۲/۵ درصد بود. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به اسیدهای چرب روغن سبوس برنج (جداول ۲ و ۳) نشان داد اثر جداگانه دمای اکستروژن و رقم برنج بر تمام اسیدهای چرب روغن استخراجی معنی دار بوده ($p<0/05$) و همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود سه اسید چرب عمده روغن سبوس برنج به ترتیب C18:1، C18:2 و C16 است. مصرف اسید چرب اولئیک منجر به کاهش ریسک ابتلا به بیماری های قلبی-عروقی می‌شود که این کار را با کاهش لیپوپروتئین با دانسیته بالا انجام می‌دهد (Covas et al, 2015).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر دما بر اسیدهای چرب روغن سبوس برنج. C14 : میرستیک اسید، C16: پالمیتیک اسید، C18: استئاریک اسید، C18:1: اولئیک اسید، C18:2: لینولئیک اسید، C18:3: لینولنیک اسید، C20: آراشیدیک اسید، C20:1: گادولئیک اسید

Table 2 Means comparison of temperature effect on fatty acids of rice bran oil. C14: Myristic Acid, C16: Palmitic Acid, C18: Stearic Acid, C18:1: Oleic Acid, C18:2: Linoleic Acid, C18:3: Linolenic Acid, C:20: Arachidic Acid, C20:1: Gadoleic Acid

Treatment	C20:1	C20	C18:3	C18:2	C18:1	C18	C16	C14
Control Treatment	1.28[a]	0.68[c]	1.68[a]	34.18[a]	42.63[a]	3.08[c]	16.36[c]	0.59[c]
Extrusion in 120°C	1.19[b]	1.05[b]	1.28[b]	32.87[b]	41.02[b]	3.94[b]	18.2[b]	099[b]
Extrusion in 140°C	0.76[c]	1.31[a]	1.19[c]	32.17[c]	40.4[c]	4.21[a]	18.92[a]	1.27[a]

Means in the same column with different letters differ significantly at 0.05 probability level according to DMRT

لینولئیک اسید نمی‌تواند توسط بدن انسان سنتز شود و یک اسید چرب ضروری در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شود. گزارش شده است که اسید لینولئیک می‌تواند با کاهش چربی بدن خطر تصلب شراین را کاهش دهد؛ لذا روغن سبوس برنج به دلیل دارابودن دو اسید چرب مذکور، یک روغن فراسودمند محسوب می‌شود (Kim et al, 2016). مشاهده می‌شود که با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس مقدار کمی اسیدهای چرب اشباع افزایش و مقدار کمی اسیدهای چرب غیراشباع کاهش یافته است و اختلاف از نظر آماری معنی‌دار است ($p<0/05$) که این امر نشان می‌دهد فرآیند اکستروژن تأثیر معنی‌دار آماری بر روی پروفایل اسیدهای چرب روغن داشته است. همچنین نمونه شاهد (فاقد اکستروژن) کمترین میزان اسیدهای چرب اشباع و بیشترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع را داشته است. لیو و همکاران (۲۰۲۰) مقدار اسیدهای چرب روغن سبوس جو اکسترود شده را اندازه‌گیری نمودند که اسیدهای چرب اولئیک (۴۴/۰۹ تا ۴۶/۶۸ ٪) و لینولئیک (۳۲/۵۴ تا ۳۲/۸۸ ٪) به ترتیب بیشترین اسیدهای چرب موجود در روغن بودند (Liu et al, 2020). نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار اکستروژن می‌تواند درصد اسیدهای چرب غیراشباع را در روغن سبوس جو دوسر کاهش دهد که دلیل احتمالی آن این است که دمای بالا در فرآیند اکستروژن باعث می‌شود مقداری از اسیدهای چرب غیراشباع از دست بروند که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

جدول ۳-مقایسه میانگین اثر تنوع بر اسید های چرب روغن سبوس برنج. C14: میرستیک اسید، C16: پالمیتیک اسید، C18: استئاریک اسید، C18:1: اولئیک اسید، C18:2: لینولئیک اسید، C18:3: لینولنیک اسید، C20: آراشیدیک اسید، C20:1: گادولئیک اسید

Table 3- Means comparison of variety effect on fatty acids of rice bran oil. C14: Myristic Acid, C16: Palmitic Acid, C18: Stearic Acid, C18:1: Oleic Acid, C18:2: Linoleic Acid, C18:3: Linolenic Acid, C20: Arachidic Acid, C20:1: Gadoleic Acid

Variety	C20:1	C20	C18:3	C18:2	C18:1	C18	C16	C14
Tarom	0.59^{b}	0.88^{b}	1.57^{a}	31.51^{b}	42.68^{a}	3.53^{b}	18.35^{a}	0.85^{b}
Khazar	0.68^{a}	1.14^{a}	1.19^{b}	34.64^{a}	40.01^{b}	3.96^{a}	17.30^{b}	1.05^{a}

Means in the same column with different letters differ significantly at 0.05 probability level according to DMRT

همان‌طور که در جدول۳ مشاهده می‌شود، روغن سبوس برنج دو رقم طارم و خزر از نظر پروفایل اسیدهای چرب با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری دارند ($p<0/05$) بطوریکه میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولنیک در روغن سبوس برنج رقم طارم بیشتر از رقم خزر بوده و رقم خزر از نظر میزان اسیدهای چرب میرستیک، استئاریک، لینولئیک، آراشیدیک و اسیدگادولئیک غنی‌تر از روغن سبوس رقم طارم می‌باشد.

ایراکلی و همکاران (۲۰۲۱) مقدار اسید چرب میریستیک در روغن سبوس برنج تیمار نشده را ۰/۳۶ و در نمونه‌های تیمار شده با مادون‌قرمز، حرارت‌دهی خشک و ماکروویو در محدوده ۰/۳۸ تا ۰/۴۸ درصد گزارش نمودند. همان‌طور که مشاهده می‌شود اعمال فرآیند حرارتی منجر به افزایش محتوای اسید چرب میریستیک شده است که نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابق با نتایج ایراکلی و همکاران است (Irakli et al, 2018).

پالمیتیک اسید، استئاریک اسید و آراشیدیک اسید سه اسید چرب اشباع عمده شناسایی شده در روغن سبوس برنج می‌باشد. لیائو و همکاران (۲۰۲۰) مقدار این سه اسید چرب را به ترتیب ۱۷/۶۳، ۱/۲۹ و ۰/۳۴ درصد گزارش نمودند که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد (Liao et al, 2020). افزایش مقدار اسیدهای چرب اشباع در روغن سبوس برنج پس از اعمال فرآیند حرارتی با نتایج گزارش شده توسط پژوهشگران دیگر نیز مطابق است. اولئیک اسید و لینولئیک اسید نیز به عنوان بیشترین اسیدهای چرب غیراشباع در روغن سبوس برنج گزارش شده‌اند و مقدار آنها تقریباً ۴۰ درصد است. نسبت اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع تقریباً ۲۰ به ۸۰ است و فرآیند تثبیت حرارتی تأثیری بر پروفایل اسیدهای چرب ندارد (Yilmaz et al, 2016 و Irakli et al, 2018 و Liao et al, 2020).

مشخصات اسیدهای چرب به دست آمده در این پژوهش با آنچه توسط ایراکلی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده بود مطابقت دارد. آنها نشان دادند که اسیدهای چرب غیراشباع بیش از ۷۵ درصد از کل اسیدهای چرب موجود در روغن سبوس برنج را تشکیل می‌دهند که اولئیک اسید (۴۰/۴ درصد) غالب و به دنبال آن لینولئیک اسید (۳۳/۶ درصد) و گامالینولئیک اسید (۱/۰۴ درصد) بود. سایر اسیدهای چرب اشباع شده، عمدتاً پالمیتیک اسید (۱۷/۵ درصد)، استئاریک اسید (۱/۶ درصد)، آراشیدیک اسید (۰/۷۷ درصد) و میریستیک اسید (۰/۳۶ درصد) اسید بودند (Irakli et al, 2018).

ایلماز و همکاران (۲۰۱۴) مقدار تقریبی اسیدهای چرب اشباع و چرب غیراشباع در روغن سبوس برنج را به ترتیب ۱۹ درصد و ۸۱ درصد اسیدهای چرب تعیین نمودند، از جمله سه اسید چرب غالب، یعنی اسیدهای پالمیتیک (۱۶ درصد)، اولئیک (۳۹ درصد) و لینولئیک (۴۱ درصد) که مجموعاً ۹۶ درصد از اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهند. چربی کل حاوی اسیدهای بوتیریک (C۴)، لوریک (C۱۲)، ایکوزانوئیک (C۲۰:۱)، بهنیک (C۲۲)، تریکوزانوئیک (C۲۳) و لیگنوسریک (C۲۴) بود که هر کدام کمتر از ۱ درصد بودند (Yilmaz et al, 2014).

عدد پراکسید روغن سبوس برنج

هیدروپراکسیدها محصولات اولیه اکسایش خودبخودی روغن هستند و اساساً ترکیبات بی‌مزه، بی‌رنگ و بی‌بو هستند. این ترکیبات پس از تجزیه‌شدن رنج وسیعی از ترکیبات کربونیلی، هیدروکربن‌ها، فوران‌ها و سایر محصولات را تولید می‌کنند (Thanonkaew et al, 2012). عدد پراکسید شاخصی برای تشخیص فساد در روغن می‌باشد. تشکیل هیدروپراکسیدها به عنوان ترکیبات اولیه اکسایش روغن نشان‌دهنده تجزیه‌شدن یا اکسایش روغن است که در نهایت منجر به فساد، ترشیدگی و ایجاد بوهای نامطلوب در روغن می‌شود (Liu et al, 2020).

نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های مربوط به خصوصیات کیفی روغن سبوس برنج در جداول ۴ و ۵ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مورد عدد پراکسید تنها تأثیر نوع رقم برنج بر آن معنی‌دار بوده است ($p<0/05$) و فرایند اکستروژن تأثیری بر میزان پراکسید نداشته است ($p>0/05$). در جدول ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس عدد پراکسید افزایش یافته است و اختلاف معنی دار آماری ($p<0/05$) مشاهده شد. درحالی‌که نمونه روغن شاهد و نمونه اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند. عدم اختلاف معنی‌دار آماری در اسیدهای چرب آزاد نمونه روغن اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با نمونه شاهد نشان‌دهنده این مطلب است

که فرآیند مذکور تأثیر نامطلوبی بر قابلیت خوراکی و فساد روغن نداشته است. لیو و همکاران (۲۰۲۰) عدد اسیدی و عدد پراکسید روغن خام سبوس جو دو سر را با نمونه روغن به دست آمده از سبوس اکسترود شده باهم مقایسه نمودند و نتایج آنها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار آماری بین نمونه روغن شاهد و نمونه‌های اکسترود شده بود (Liu et al, 2020) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. تانونکائو و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند عدد پراکسید در نمونه روغن سبوس استخراج شده به روش حلال و بدون اعمال فرایند حرارتی بالاتر از نمونه‌های سبوس تیمار شده با فرآیند حرارتی است (Thanonkaew et al, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به طور کلی اعمال فرآیند حرارتی منجر به تخریب آنزیم لیپاز می‌شود و در نتیجه از توسعه بیشتر اکسایش و تولید محصولات اکسایش جلوگیری می‌نماید (Thanonkaew et al, 2012). همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد، روغن سبوس استخراجی از واریته خزر عدد پراکسید بالاتری نسبت به واریته طارم دارد. مطابق با استاندارد بین‌المللی کدکس، مقدار استاندارد عدد اسید و عدد پراکسید در روغن‌های تصفیه شده به ترتیب ۰/۶ میلی‌گرم KOH برکیلوگرم روغن و ۱۵ میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده روغن های استحصالی در این پژوهش همگی در محدوده استاندارد قرار دارند.

جدول ٤ - اثر دمای متفاوت بر ویژگی های کیفی روغن سبوس برنج

Table 4- Effect of different temperature on quality characteristics of rice bran oil

Treatment	Wax Content (%)	Anisidine Value	Iodine Value	Peroxide Value	Free Fatty Acid (%)
Control Treatment	2.3 ± 0.15 ^{b}	3.57 ± 0.25 ^{b}	110.85 ± 0.24 ^{a}	0.14 ± 0.002 ^{b}	0.055 ± 0.0003 ^{a}
Extrusion in 120°C	2.26 ± 0.24 ^{b}	3.62 ± 0.32 ^{b}	110.11 ± 0.28 ^{b}	0.14± 0.003 ^{b}	0.055 ± 0.0002^{a}
Extrusion in 140°C	5.62 ± 0.36 ^{a}	5.65 ± 0.47 ^{a}	109.76 ± 0.32 ^{c}	0.15± 0.002 ^{a}	0.054 ± 0.0002 ^{b}

Means in the same column with different letters differ significantly at 0.05 probability level according to DMRT

جدول ٥ - مقایسه میانگین اثر تنوع بر ویژگی های کیفی روغن سبوس برنج

Table 5- Means comparison of variety effect on qualitative characteristics of rice bran oil

Variety	Wax Content (%)	Anisidine Value	Iodine Value	Peroxide Value	Free Fatty Acid (%)
Tarom	2.17 ± 0.08 ^{b}	4.63 ± 0.12 ^{b}	109.24 ± 0.25 ^{b}	0.13 ± 0.012 ^{b}	0.045 ± 0.005 ^{b}
Khazar	2.37 ± 0.06 ^{a}	4.90 ± 0.15 ^{a}	111.24 ± 0.32 ^{a}	0.16 ± 0.018 ^{a}	0.065 ± 0.002 ^{a}

Means in the same column with different letters differ significantly at 0.05 probability level according to DMRT

پاتیل و همکاران (۲۰۱۶) از دو روش پارابویل و میکروویو برای تثبیت سبوس برنج استفاده نمودند و نتایج آنها نشان داد که عدد پراکسید در نمونه‌های سبوس برنج تیمار نشده، پائین‌تر از دو نمونه دیگر است (Patil et al, 2016). نتایج پژوهش حاضر همراستا با نتایج پاتیل و همکاران (۲۰۱۶) است. آنزیم‌های لیپاز و لیپوکسیژناز عمدتاً مسئول تشکیل هیدروپراکسیدها هستند. تیمارهای حرارتی ممکن است فعالیت آنزیم‌های مربوطه را سرکوب کرده و منجر به کاهش سطح پراکسید سبوس برنج شود. یافته‌ها را می‌توان بر اساس این واقعیت اثبات کرد که فرآیند گرمایش کارآمد انرژی، می‌تواند باعث تجزیه برخی از هیدروپراکسیدهای تشکیل شده شود و در نهایت منجر به تشکیل محصولات فرار می‌شود (Shaker et al, 2013). کاهش مشابهی در مورد عدد پراکسید روغن سبوس برنج پس از تثبیت توسط دهینگرا و چوپرا (۲۰۱۴) و شاکر و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است (Shaker et al, 2013 و Dhingra & Chopra, 2014).

اسید چرب آزاد روغن سبوس برنج

اسیدهای چرب آزاد شاخصی برای تشخیص میزان قابلیت خوراکی روغن می‌باشد. تشکیل اسیدهای چرب آزاد نشان‌دهنده تجزیه‌شدن یا اکسایش روغن است که در نهایت منجر به فساد، ترشیدگی و ایجاد بوهای نامطلوب در روغن می‌شود (Liu et al, 2020). همان‌طور که نتایج جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهند، در مورد اسیدهای چرب آزاد تنها تأثیر نوع رقم برنج بر آن معنی‌دار است ($p <$ ۰/۰۵). همچنین در تیمارهای فرایند شده با اکستروژن، با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس اسیدهای چرب آزاد کاهش یافته است و اختلاف معنی‌دار آماری ($p <$ ۰/۰۵) مشاهده می‌شود. درحالی‌که نمونه روغن شاهد و نمونه اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری ندارند. عدم اختلاف معنی‌دار آماری در اسیدهای چرب آزاد نمونه روغن اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با نمونه شاهد نشان‌دهنده این مطلب است که فرآیند مذکور تأثیری نامطلوبی بر قابلیت خوراکی و فساد روغن نداشته است. یو و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که اعمال فرآیند اکستروژن در دو سرعت ۴۰۰ و۵۰۰ دور بر دقیقه منجر به کاهش عدد اسیدی روغن استحصال شده از سبوس برنج تثبیت شده می‌شود (Yu et al, 2020) که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. همچنین روغن سبوس استخراجی از واریته خزر اسیدهای چرب آزاد بالاتری نسبت به واریته طارم داشت. تانونکائو و همکاران (۲۰۱۲) از روش‌های حرارت‌دهی خانگی نظیر هوای داغ، برشته کردن، بخاردهی و ماکروویو جهت تثبیت سبوس برنج استفاده نمودند نتایج آنها نشان داد عدد اسیدی و میزان اسیدهای چرب آزاد در نمونه روغن تیمار نشده (شاهد) بیشتر از نمونه‌های روغن تثبیت شده است (Thanonkaew et al, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به‌طورکلی مقدار اسیدهای چرب آزاد بستگی به فعالیت آنزیم لیپاز دارد و زمانی که سبوس تحت‌تأثیر اکستروژن با دمای بالا قرار می‌گیرد، در اثر دمای بالای فرآیند عملکرد آنزیم مختل می‌شود و تأثیر مستقیم بر تجزیه اسیدهای چرب روغن دارد.

عدد یدی روغن سبوس برنج

عدد یدی نشان‌دهنده درجه غیراشباعیت روغن و تعداد باندهای دوگانه در اسیدهای چرب روغن است. مقادیر بالای عدد یدی در روغن نشان‌دهنده درجه غیراشباعیت بالای روغن‌ها می‌باشد (Gharby et al, 2016). با توجه به نتایج جداول ۴ و ۵ همان‌طور که مشاهده می‌شود در مورد عدد

یدی اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر آن معنی‌دار ($p <$ ۰/۰۵) است. در جدول۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس عدد یدی کاهش یافته است درحالی‌که نمونه روغن شاهد بالاترین عدد یدی را داشته و نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری دارند. همچنین روغن سبوس استخراجی از واریته خزر عدد یدی بالاتری نسبت به واریته طارم دارد. عدد یدی روغن‌های استحصالی در محدوده ۱۰۸/۸۰ تا ۱۱۱/۹۰ گرم بر ۱۰۰ گرم روغن نشان‌دهنده این است که این روغن حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب اشباع است و لذا دارای پایداری مناسبی طی دوره نگهداری است (Liu et al, 2020). حسین و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند انجام فرایندهای تثبیت به‌وسیله مادون‌قرمز و اولتراسونیک منجر به کاهش عدد یدی روغن سبوس برنج می‌شود (Hussain et al, 2021). نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج آنها مطابقت دارد و عدد یدی کاهش یافته است. کاهش عدد یدی در اثر فرایند اکستروژن در واقع به معنی کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع در اثر دمای بالای مورد استفاده در این فرایند است که پروفایل اسیدهای چرب آزاد نیز این مطلب را تأیید نمود بطوریکه میزان اسیدهای چرب اولئیک اسید، لینولئیک اسید و لینولنیک اسید در اثر فرایند اکستروژن کاهش یافتند.

عدد آنیزیدین روغن سبوس برنج

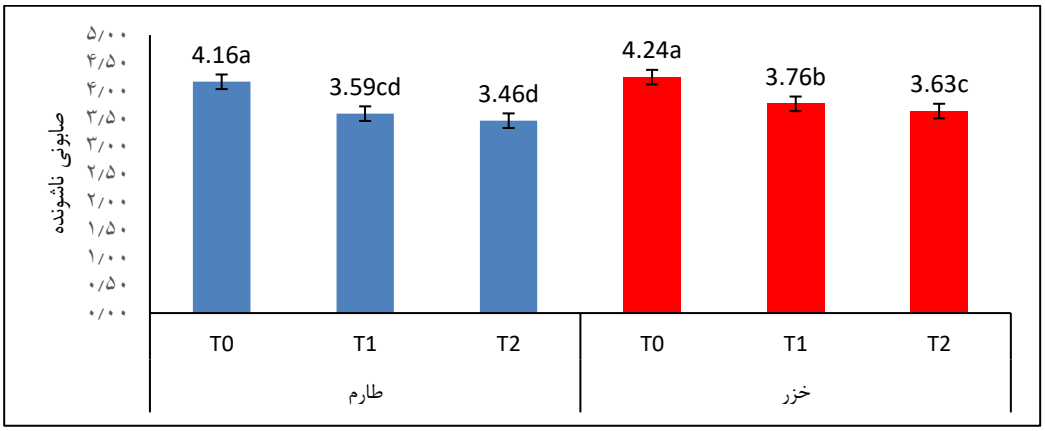
عدد آنیزیدین، محصولات ثانویه اکسایش چربی را اندازه‌گیری می‌نماید. عدد آنیزیدین عمدتاً منعکس‌کننده آلدئیدهای تولید شده در طی تجزیه هیدروپراکسیدها است و یک شاخص قابل‌اعتماد از فساد اکسیداتیو در چربی‌ها و روغن‌ها است (Tuncel & Korkmaz, 2021). همان‌طور که در جداول ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود، اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر عدد آنیزیدین معنی‌دار ($p <$ ۰/۰۵) است. در جدول ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس، عدد آنیزیدین افزایش یافته است بطوریکه نمونه روغن شاهد کمترین عدد آنیزیدین را دارد ولی تفاوت معنی‌داری با نمونه اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس ندارد. همچنین روغن سبوس استخراجی از واریته خزر عدد آنیزیدین بالاتری نسبت به واریته طارم دارد. بالا بودن عدد آنیزیدین در نمونه‌های تثبیت شده می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که استفاده از دمای بالای فرایند در اکستروژن بر خصوصیات روغن تأثیر نامطلوب داشته است. حسین و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند انجام فرایندهای تثبیت به‌وسیله مادون‌قرمز و اولتراسونیک منجر به افزایش عدد آنیزیدین روغن سبوس برنج می‌شود (Hussain et al, 2021) که نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نیز با نتایج آنها مطابقت دارد. با توجه به اینکه نمونه اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با نمونه شاهد از نظر عدد آنیزیدین تفاوت معنی‌داری ندارد می‌توان نتیجه گرفت که دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس برای تثبیت سبوس برنج با استفاده از فرایند اکستروژن مناسب است و کاربرد دمای بالاتر منجر به نامطلوب شدن روغن سبوس برنج از نظر کیفی می‌شود و جهت تثبیت سبوس برنج مناسب نیست.

میزان ترکیبات صابونی ناشونده روغن سبوس برنج

در بین روغن‌های خوراکی، روغن سبوس برنج دارای بالاترین میزان ترکیبات صابونی ناشونده است که عمده این ترکیبات شامل ترکیبات توکوترینول، توکوفرول یا ویتامین E و اورایزانول می‌باشد که به علت خواص آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات، از نظر تغذیه‌ای مصرف روغن سبوس برنج باعث کاهش کلسترول و بیماری‌های قلبی، عروقی می‌شود (El-Refai et al., 2017). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بین دو رقم طارم و خزر قبل از اعمال فرایند

اکستروژن تفاوت معنی‌داری از نظر میزان ترکیبات صابونی-ناشونده وجود ندارد و تنها مقدار اندکی در رقم خزر بیشتر است. اما اثر فرایند اکستروژن بر میزان ترکیبات صابونی ناشونده معنی‌دار ($p <$ ۰/۰۵) است بطوریکه که در اثر این فرایند میزان ترکیبات صابونی‌ناشونده در هر دو رقم کاهش یافته است. همچنین با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان ترکیبات صابونی ناشونده در هر دو رقم باز هم کاهش یافته است بطوریکه میزان کاهش در رقم خزر در دو دمای ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سلسیوس معنی‌دار است اما اختلاف معنی‌دار آماری ($p>$۰/۰۵) در رقم طارم مشاهده نشد ولی درعین‌حال میزان ترکیبات صابونی ناشونده در این رقم کاهش بیشتری نسبت به رقم خزر داشته است.

الرفاعی و همکاران (۲۰۱۷) مقدار ماده غیر صابونی روغن سبوس برنج را ۴/۵۷ – ۳/۳۵ mg KOH/g گزارش نمودند (El-Refai et al., 2017) که مقدار به دست آمده از پژوهش حاضر با آنها مطابقت دارد. نتایج مواد صابونی ناشونده مطابق با نتایج گزارش شده توسط ارتوافر (۲۰۰۵) بود که ۵-۳٪ گزارش کردند (Orthoefer, 2005). این مقادیر کمتر از مقادیر گزارش شده توسط انور و همکاران (۲۰۰۵) بود که گستره مواد غیر صابونی‌ناشونده چهار رقم روغن سبوس برنج را ۴/۹۸ تا ۶/۱۵ درصد گزارش کردند (Anwer, & Mahmood, 2005) که البته این اختلاف به دلیل متفاوت بودن ارقام مختلف برنج می‌باشد. با توجه به اینکه نوع رقم برنج و انتخاب دمای فرایند اکستروژن می‌تواند تأثیر بسزایی درتخریب و کاهش میزان ترکیبات صابونی‌ناشونده داشته باشد، بنابراین درتولید روغن سبوس برنج و استفاده از فرایندهایی نظیر اکستروژن برای پایدارسازی سبوس، بایستی مطالعه دقیقی صورت گیرد تا با انتخاب بهترین نوع رقم و دمای فرایند، کمترین آسیب به ترکیبات مهم تغذیه‌ای این روغن از جمله ترکیبات با ارزشی نظیر ترکیبات توکوترینولی، توکوفرولی و اورایزانول وارد شود.



شکل ۱- تغییرات مقدار ترکیبات صابونی ناشونده در نمونه‌های روغن سبوس برنج طارم و خزر قبل و بعد از فرآیند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و ۱۴۰ درجه سانتی گراد، T0 :بدون فرایند اکستروژن (تیمار کنترل)،T1 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰درجه سلسیوس ، T2: فرایند اکستروژن در دمای ۱۴۰درجه سلسیوس.

Fig 1 - Changes in Non-Saponifiable compounds in Tarom and Khazar oil bran of rice samples before and after extrusion process at 120°C and 140°C, T0: No extrusion process (control treatment), T1: Extrusion at temperature of 120°C, T2: Extrusion at temperature of 140°C

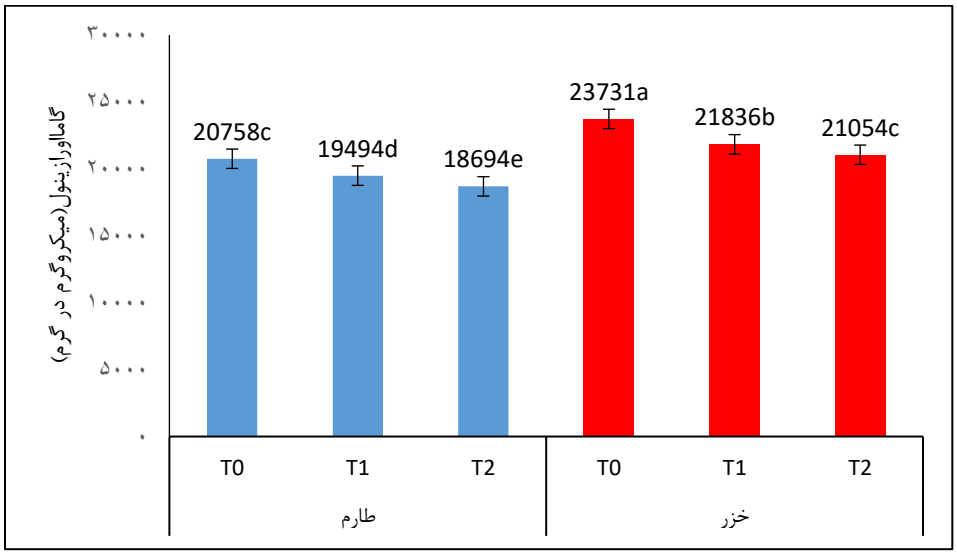
میزان گاما اورایزانول روغن سبوس برنج

گاما اورایزانول یکی از ترکیبات غیر قابل صابونی موجود در روغن سبوس برنج است که در کنار ترکیباتی نظیر توکوفرول‌ها و توکوتری‌انول‌ها اثرات آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجهی در مدل‌های اکسایشی کلسترول و اسید لینولئیک نشان می‌دهد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری در مقایسه با آنها دارد (Ghasemzadeh et al., 2015). از نظر ویژگی‌های فیزیکی گاما اورایزانول پودری شفاف و کریستالی، سفید رنگ و کمی متمایل به زرد است که در دمای اتاق پایدار بوده و از نظر نقطه ذوبی در محدوده دمایی ۱۳۷/۵ تا ۱۳۸/۵ درجه سلسیوس ذوب می‌شود. با استفاده از لامپ هپتان در طول موج های ۳۱۵، ۲۹۰ و ۲۳۱ نانومتر جذب نشان داده و در حلال‌هایی نظیر کلردی متیلن، دی اتیل اتر، الکل و استن محلول بوده ودرحلال‌های غیر قطبی مانند پترولیوم اتر و هگزان به مقدار کمی محلول می‌باشد اما در آب به طور کامل نامحلول است (Siripairoj et al., 2014). گاما اوریزانول دارای اثرات دارویی و درمانی از جمله هیپوکلسترولمی، تقویت رشد انسان، تحریک ترشحات هورمونی، تسهیل گردش خون و جلوگیری از تجمع پلاکتها و همچنین در بهبود اختلالات عصبی، ناراحتی‌های روده‌ای معده‌ای و درمان علائم ناشی از یائسگی موثر است (Thanonkaew et al., 2015) و از طریق بهبود میکروسیرکولاسیون پوست و محافظت در برابر پرواکسیداسیون و در نهایت هدایت ترشحات غدد چربی قادر است از پیر شدن پوست در اثر استفاده طولانی و مستمر جلوگیری نماید (Moy & Levenson, 2017) و در اثر متابولیزه شدن منجر به تولید اسید فرولیک در روده می‌شود. ضمن آنکه در ارتباط با سلولهای بدن فاقد هر گونه اثرات آلرژی زایی می‌باشد (Perez-Ternero et al., 2017).

شکل ۲ تأثیر پارامترهای دمای اکستروژن و رقم برنج بر میزان گاما اورایزانول روغن سبوس برنج را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر میزان گاما اورایزانول معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بوده و با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان گاما اوریزانول کاهش می‌یابد به طوریکه نمونه روغن شاهد بیشترین میزان گاما اورایزانول را داشته و با نمونه‌های روغن اکسترود شده اختلاف معنی دار آماری دارد. همچنین روغن سبوس استخراجی از واریته خزر میزان گاما اورایزانول بالاتری نسبت به واریته طارم دارد. تانونکائو و همکاران (۲۰۱۲) مقدار گاما اورایزانول در نمونه‌های مختلف روغن سبوس برنج را در محدوده ۲/۰۳ تا ۲/۳۰ گرم بر ۱۰۰ گرم روغن گزارش نمودند (Thanonkaew et al., 2012) که با مقادیر به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد. این امر نشان می‌دهد نوع واریته سبوس برنج و همچنین شرایط استحصال روغن، نقش به سزایی در مقادیر گاما اورایزانول آنها دارد. همچنین نتایج به دست آمده با مقدار گزارش شده توسط سیجر و همکاران نیز (۲۰۰۸) مطابقت دارد (Siger et al., 2008). یلماز و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاهش در مقدار گاما اورایزانول سبوس برنج تثبیت شده با اشعه مادون‌قرمز را گزارش نمودند که نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج آنها همراستا میباشد (Yılmaz et al., 2014).

پارامترهای رنگی روغن سبوس برنج

رنگ یک پارامتر کیفی مهم است که بر میزان مشتری پسندی محصول غذایی تأثیر دارد (Irakli et al., 2021). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود اثر جداگانه نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر میزان قرمزی روغن سبوس برنج ارقام طارم و خزر معنی‌دار است ($p<۰/۰۵$) بطوریکه میزان رنگ قرمز در روغن سبوس برنج رقم طارم بالاتر بوده و در هر دو رقم اعمال فرایند اکستروژن باعث گردیده تا میزان



شکل ۲- تغییرات مقدار گاما اورایزانول در نمونه‌های روغن سبوس برنج طارم و خزر قبل و بعد از فرآیند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و ۱۴۰ درجه سلسیوس، T0 :بدون فرایند اکستروژن (تیمار کنترل)،T1 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰درجه سلسیوس ،T2 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۴۰درجه سلسیوس.

Fig ۲ - Changes in γ - oryzanol content in Tarom and Khazar oil bran of rice samples before and after extrusion process at 120°C and 140°C, T0: No extrusion process (control treatment), T1: Extrusion at temperature of 120°C, T2: Extrusion at temperature of 140°C

رنگ قرمز بطور قابل‌توجهی کاهش یابد. همچنین با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان قرمزی مجددا کاهش یافته است و اختلاف معنی دار آماری ($p<۰/۰۵$) مشاهده می‌شود یعنی نمونه‌های روغن شاهد بالاترین میزان قرمزی را دارند و نمونه ها با یکدیگر اختلاف معنی دار آماری نیز دارند. نتایج پژوهش ایراکلی و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد پارامتر رنگی قرمز سبوس برنج با اعمال فرآیند حرارتی بطور کاهشی تغییر کرد و با سبوس برنج تثبیت نشده اختلاف معنی دار آماری داشت (Irakli et al., 2021). رودچوعاجین و همکاران (۲۰۱۶) نیز شاخص قرمزی در نمونه های سبوس اکسترود شده را کمتر از نمونه سبوس خام اعلام نمودند (Rodchuajeen et al., 2016) که موید نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر است.

شکل ۴ نیز تأثیر پارامترهای دمای اکستروژن و رقم برنج بر پارامتر رنگی زرد روغن سبوس برنج را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان رنگ زرد در رقم خزر بیشتر از طارم است ولی تفاوت معنی‌دار نیست و با اعمال فرایند اکستروژن و افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ درجه سلسیوس به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان زردی در روغن سبوس برنج رقم خزر مقداری افزایش یافته است. در رقم طارم نیز با عمال فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس میزان زردی روغن روندی صعودی نشان می‌دهد اما با افزایش دمای فرایند به ۱۴۰ درجه سلسیوس بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد. لیائو و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که فرآیند اکستروژن منجر به افزایش زردی سبوس می‌شود. آنها دلیل افزایش پارامتر رنگی زرد را مرتبط با

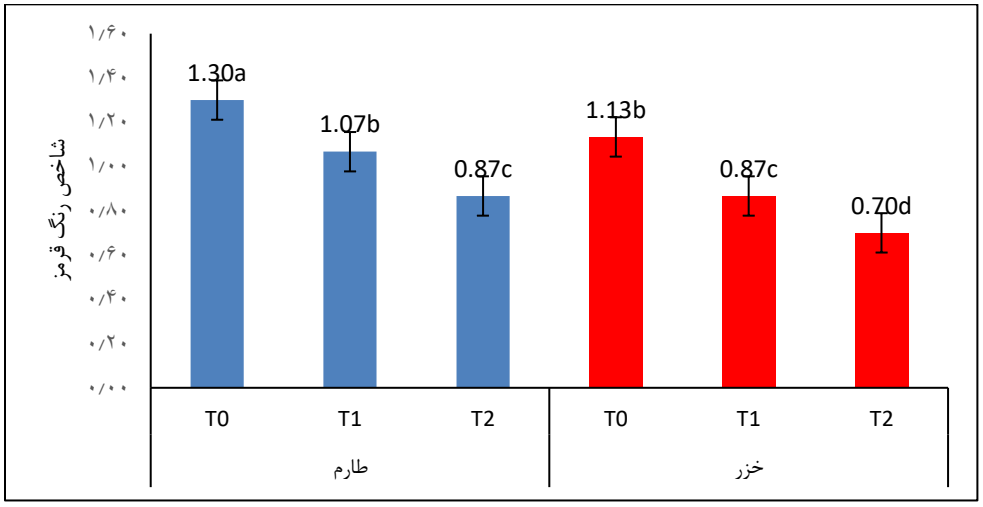
تشکیل برخی از فرآورده های واکنش میلارد و قهوه ای شدن دانستند (Liao et al., 2020). نتایج مشابه توسط پژوهشگران دیگر برای دمای بالای فرایندهای حرارت‌دهی خشک، حرارت‌دهی میکروویو و اتوکلاو گزارش شده است که منجر به افزایش پارامتر زرد می‌شود (Kim et al., 2014). از نتایج فوق می‌توان دریافت که انتخاب نوع رقم و دمای فرایند می‌تواند نتایج متفاوتی در رنگ روغن سبوس برنج تولیدی به همراه استفاده از فرایندهای تثبیت سازی نظیر اکستروژن داشته باشد. چنانچه ملاحظه شد دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس از نظر زردی رنگ روغن سبوس در دو رقم طارم و خزر نتایج متفاوتی داشت.

نتایج به دست آمده از این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که تأثیر پارامترهای دمای اکستروژن و رقم برنج بر پارامتر رنگی آبی روغن سبوس برنج معنی‌دار است ($p < ۰/۰۵$) بطوریکه پارامتر رنگی آبی که به عنوان *b- نیز شناخته می‌شود با اعمال فرآیند اکستروژن و افزایش دما به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است و نمونه‌های روغن شاهد در هر دو رقم بیشترین میزان پارامتر رنگی آبی را داشتند و در هر رقم نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار آماری داشتند.

در پژوهش رافع و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده شد که اعمال فرآیند اکستروژن منجر به کاهش پارامتر رنگی *b می‌شود که نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج آنها مطابقت دارد (Rafe et al., 2017). این نتایج همچنین تایید کننده این مطلب است که اعمال فرآیند اکستروژن منجر به تغییر رنگ نمونه ها به سمت آبی می‌شود. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که روغن سبوس استخراجی از واریته خزر میزان پارامتر رنگی کمتری نسبت به واریته طارم دارد و در هر دو رقم با اعمال فرایند اکستروژن و افزایش دما میزان رنگ آبی کاهش می‌یابد. یو و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که فرآیند اکستروژن در ۴۰۰ و ۵۰۰ دور در دقیقه منجر به کاهش رنگ آبی در روغن سبوس برنج می‌شود که نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج پژوهش آنها مطابقت دارد (Yu et al., 2020).

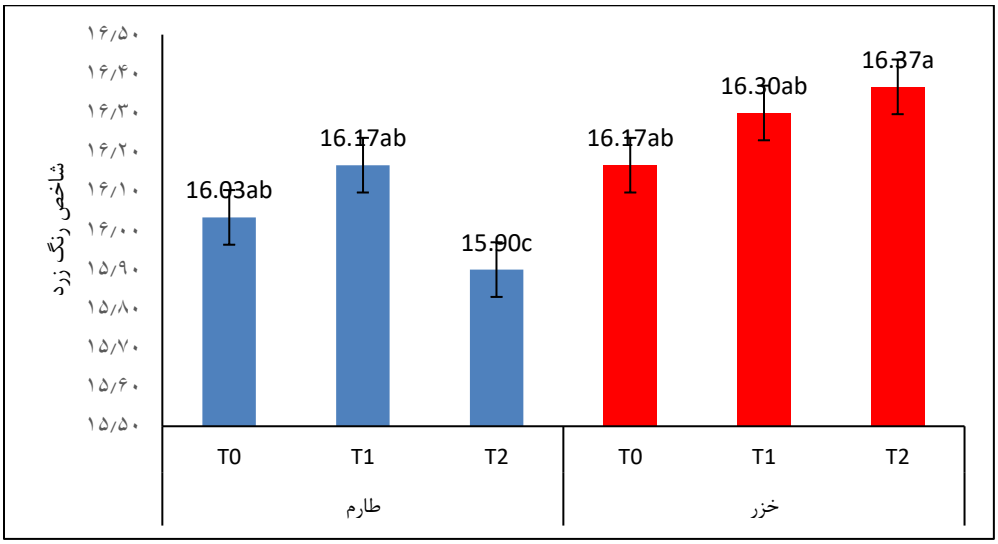
میزان موم روغن سبوس برنج

همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر میزان موم معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) است. در جدول ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان موم افزایش یافته است بطوریکه نمونه روغن اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس کمترین میزان موم را داشت و با نمونه شاهد اختلاف معنی‌دار آماری نداشت. در جدول ۵ نیز مشاهده می‌شود که روغن سبوس استخراجی از واریته خزر میزان موم بالاتری نسبت به واریته طارم دارد. الرفاعی و همکاران (۲۰۱۷) مقدار موم روغن سبوس برنج را ۳/۴۱ – ۳/۰۰ درصد گزارش نمودند (El-Refai et al, 2017). که مقدار به دست آمده از پژوهش حاضر با آنها مطابقت دارد. همچنین نتایج به دست آمده از این تحقیق برای محتوای موم مطابق با نتایج گزارش شده توسط ارتوافر (۲۰۰۵) است که عنوان نمود در اثر فرایند اکستروژن، میزان موم در روغن سبوس برنج از کمتر از ۱ درصد به بیش از ۴ درصد رسید(Orthoefer, 2005) بنابراین با توجه به اینکه استفاده از دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس جهت تثبیت سبوس برنج باعث می‌شود تا میزان موم کاهش یابد، استفاده از این دما در فرایند اکستروژن جهت تثبیت سبوس برنج مناسب بوده و کاربرد دماهای بالاتر مطلوب نیست.



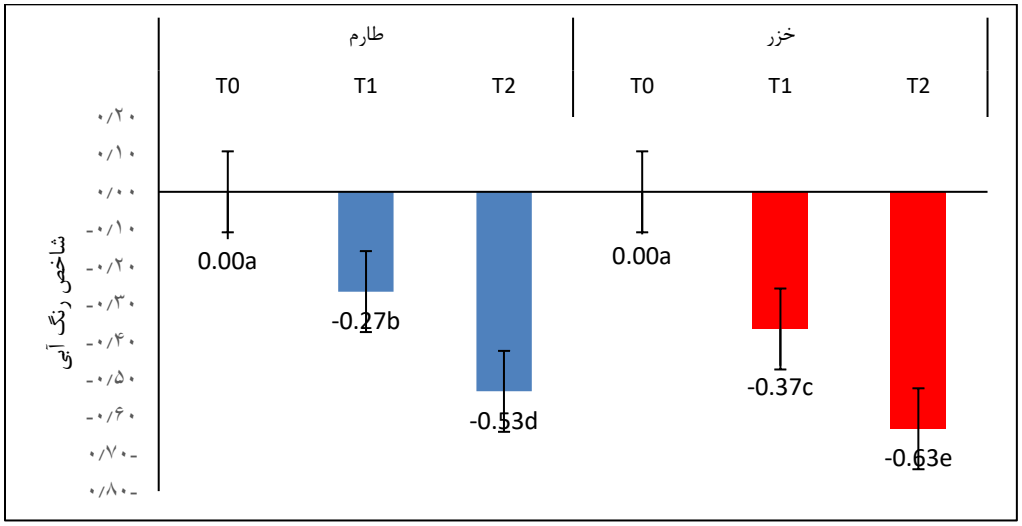
شکل ۳- تغییرات میزان پارامتر رنگی قرمز در نمونه‌های روغن سبوس برنج طارم و خزر قبل و بعد از فرآیند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و ۱٤۰ درجه سلسیوس، T0 بدون فرایند اکستروژن (تیمار کنترل)،T1 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰درجه سلسیوس ،T2 : فرایند اکستروژن در دمای ۱٤۰درجه سلسیوس.

Fig ۳ - Changes in Red color parameter in Tarom and Khazar oil bran of rice samples before and after extrusion process at 120°C and 140°C, T0: No extrusion process (control treatment), T1: Extrusion at temperature of 120°C, T2: Extrusion at temperature of 140°C



شکل ٤- تغییرات میزان پارامتر رنگی زرد در نمونه‌های روغن سبوس برنج طارم و خزر قبل و بعد از فرآیند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و ۱٤۰ درجه سلسیوس، T0 بدون فرایند اکستروژن (تیمار کنترل)،T1 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰درجه سلسیوس ،T2 : فرایند اکستروژن در دمای ۱٤۰درجه سلسیوس.

Fig ۴ - Changes in Yellow color parameter in Tarom and Khazar oil bran of rice samples before and after extrusion process at 120°C and 140°C, T0: No extrusion process (control treatment), T1: Extrusion at temperature of 120°C, T2: Extrusion at temperature of 140°C



شکل ۵- تغییرات میزان پارامتر رنگی آبی در نمونه‌های روغن سبوس برنج طارم و خزر قبل و بعد از فرآیند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و ۱۴۰ درجه سلسیوس، T0 بدون فرایند اکستروژن (تیمار کنترل)،T1 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰درجه سلسیوس ،T2 : فرایند اکستروژن در دمای ۱۴۰درجه سلسیوس.

Fig ۵ - Changes in Blue color parameter in Tarom and Khazar oil bran of rice samples before and after extrusion process at 120°C and 140°C, T0: No extrusion process (control treatment), T1: Extrusion at temperature of 120°C, T2: Extrusion at temperature of 140°C

نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف بررسی تأثیر فرآیند اکستروژن بر خصوصیات کیفی روغن سبوس برنج انجام شد. از دو واریته برنج طارم و خزر برای این منظور استفاده شد. فرآیند اکستروژن در دو دمای ۱۲۰°C و ۱۴۰ درجه سلسیوس انجام شد و سپس خصوصیات کیفی روغن استخراج شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد اثر دمای اکستروژن و رقم برنج بر تمام اسیدهای چرب روغن استخراجی معنی‌دار بود بطوریکه با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰°C به ۱۴۰ درجه سلسیوس مقدار کمی اسیدهای چرب اشباع افزایش و مقدار کمی اسیدهای چرب غیراشباع کاهش یافت و سه اسید چرب عمده در پروفایل اسیدهای چرب در هر دو رقم، اولئیک اسید، لینولئیک اسید و پالمیتیک اسید بودند. در مورد میزان اسیدهای چرب آزاد، تأثیر نوع رقم برنج بر آن معنی‌دار بود بطوریکه روغن سبوس استخراجی از واریته خزر میزان اسیدهای چرب آزاد بالاتری نسبت به واریته طارم داشت. اثر فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ولی با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰°C به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان اسیدهای چرب آزاد کاهش یافت. در مورد عدد پراکسید نیز، تنها تأثیر نوع رقم برنج بر آن معنی‌دار بود بطوریکه رقم خزر عدد پراکسید بالاتری نسبت به رقم طارم داشت و اثر فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ولی با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس عدد پراکسید افزایش یافت. در مورد عدد یدی، اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر آن معنی‌دار بود و با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس عدد یدی کاهش یافت و میزان عدد یدی در رقم خزر بیشتر از رقم طارم بود. در مورد عدد آنیزیدین نیز اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر آن معنی‌دار بود

بطوریکه با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس، عدد آنیزیدین افزایش یافت درحالی‌که نمونه روغن شاهد کمترین عدد آنیزیدین را داشت ولی با نمونه اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری نداشت و میزان عدد آنیزیدین در رقم خزر بیشتر از رقم طارم بود. در مورد میزان ترکیبات صابونی ناشونده بین دو رقم اختلاف معنی‌داری وجود داشت و در اثر فرایند اکستروژن و با افزایش دما میزان ترکیبات صابونی ناشونده در هر دو رقم کاهش یافت. در مورد پارامترهای رنگی، با اعمال فرایند اکستروژن میزان رنگ قرمز کاهش، میزان رنگ زرد افزایش و میزان رنگ آبی کاهش یافت. اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر میزان گاما اورایزانول معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) بوده و با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان گاما اوریزانول کاهش یافت به‌طوری‌که نمونه روغن شاهد بیشترین میزان گاما اورایزانول را داشته و با نمونه‌های روغن اکسترود شده اختلاف معنی‌دار آماری داشت. همچنین روغن سبوس استخراجی از واریته خزر میزان گاما اورایزانول بالاتری نسبت به واریته طارم داشت. همچنین اثر نوع رقم برنج و دمای اکستروژن بر میزان موم معنی‌دار بود و با افزایش دمای اکستروژن از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان موم افزایش یافت و کمترین میزان موم مربوط به نمونه اکسترود شده در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس بود ولی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. همچنین میزان موم در رقم خزر بیشتر از طارم بود. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت هر دو عامل دما و اعمال فرایند اکستروژن بر خصوصیات کیفی روغن سبوس برنج حاصله تأثیر داشته‌اند و با توجه به خصوصیات کیفی مؤثره روغن و اینکه استفاده از دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس در فرایند اکستروژن جهت تثبیت سبوس برنج، باعث افزایش معنی‌دار عدد پراکسید، عدد آنیزیدین و میزان موم روغن و ایجاد کیفیت نامطلوب در روغن حاصله گردیده ولی کاربرد دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس تأثیر نامطلوبی بر قابلیت خوراکی و فساد روغن ندارد و از سوی دیگر اعمال فرایند اکستروژن باعث غیرفعال‌شدن عوامل ضد تغذیه‌ای، آنزیم لیپاز و افزایش توان انبارمانی سبوس برنج قبل از فرایند استحصال روغن می‌گردد، لذا استفاده از فرایند اکستروژن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس می‌تواند روش مناسبی برای تثبیت سبوس برنج و بهبود خواص کیفی روغن حاصله باشد.

سپاسگزاری

از سرکار خانم مهندس فلاح مسئول آزمایشگاه و سرکار خانم مهندس حسینی کارشناس آزمایشگاه بخش صنایع غذایی دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری که در اجرای مراحل مختلف این پروژه همکاری و مساعدت بسیار نمودند سپاسگزاری می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوءرفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

AOAC, 2005. Official methods for analysis (Vol. II, 15th Ed.). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.

Anwar, F., Anwer, T., & Mahmood, Z. (2005). Methodical characterization of rice (Oryza sativa) bran oil from Pakistan. *Grasas y aceites, 56*(2), 125-134 .

Covas, M.-I., Fitó, M and de la Torre, R, 2015. Minor bioactive olive oil components and health: Keydata for their role in providing health benefits in humans. Olive and olive oilbioactive constituents, 31-52 .

Dhingra, D and Chopra, S, 2014. Ohmic heating system for stabilization of rice bran. Agricultural Engineering Today, 38(2), 1-6 .

El-Refai, A., Domah, M and Askar, M, 2017. Physicochemical Characterization of Rice (Oryza sativa) Bran Oil from Some Egyptian Rice Varieties. *Journal of Food and Dairy Sciences, 8*(5), 201-206.

Fang, N., Yu, S., & Badger, T. M. (2003). Characterization of triterpene alcohol and sterol ferulates in rice bran using LC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51* .٣٢٦٧-٣٢٦٠ ,(١١)

Gharby, S., Harhar, H., Matthäus, B., Bouzoubaa, Z and Charrouf, Z, 2016. The chemical parameters and oxidative resistance to heat treatment of refined and extra virgin oroccanPicholine olive oil. Journal of Taibah University for Science, 10(1), 100-106 .

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., Juraimi, A. S., & Tayebi-Meigooni, A. (2015). Comparative evaluation of different extraction techniques and solvents for the assay of phytochemicals and antioxidant activity of hashemi rice bran. *Molecules, 20*(6), 10822-10838 .

Hitotsumatsu, H and Takeshita, Y, 1994. U.S. Patent No. 5,290,579. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Hussain, N., Ishak, I., Agus, B. A. P and Samah, N. F. A, 2021. Effects of different stabilization conditions and extraction methods (Soxhlet and ultrasonic-assisted) on quality of ricebran oil. Emirates Journal of Food and Agriculture, 220-227 .

Irakli, M., Kleisiaris, F., Kadoglidou, K and Katsantonis, D, 2021. Optimizing Extraction Conditions of Free and Bound Phenolic Compounds from Rice By-Products and Their Antioxidant Effects. Foods, 7(6), 93 .

Kim, J. H., Tanhehco, E. J and Ng, P. K. W, 2006. Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. Food chemistry, 99(4), 718-723.

Kim, J. H., Kim, Y., Kim, Y. J and Park, Y, 2016. Conjugated linoleic acid: potential health benefits as a functional food ingredient. *Annual review of food science and technology, 7*, 21-244 .

Kim, S.-M., Chung, H.-J., & Lim, S.-T. (2014). Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. *Journal of cereal science, 60*(1), 243-248 .

Lerma-García, M., Herrero-Martínez, J., Simó-Alfonso, E., Mendonça, C. R and Ramis-Ramos, G, 2009. Composition, industrial processing and applications of rice bran γ-oryzanol. Food Chemistry, 115(2), 389-404 .

Liao, M., Damayanti, W., Xu, Y., Zhao, Y., Xu, X., Zheng, Y and Jiao, S, 2020. Hot air-assisted radio frequency heating for stabilization of rice bran: Enzyme activity, phenolic content,antioxidant activity and microstructure. *LWT, 131*, 109754 .

Liu, J., Jin, S., Song, H., Huang, K., Li, S., Guan, X and Wang, Y, 2020. Effect of extrusion pretreatment on extraction, quality and antioxidant capacity of oat (Avena sativa L.) bran oil.Journal of cereal science, 95, 102972 .

Moy, R. L., & Levenson, C. (2017). Sandalwood album oil as a botanical therapeutic in dermatology. The Journal of clinical and aesthetic dermatology, 10(10), 34 .

Nicolosi, R. J., Rogers, E. J., Ausman, L. M and Orthoefer, F. T, 1993. Rice Bran Oil and Its Heath Benefits. FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-, 421-421 .

Orthoefer, F. T, 1996. Rice bran oil: healthy lipid source. Food Technology.

Orthoefer, F. T, 2005. Rice bran oil. Bailey's industrial oil and fat products, 1-25 .

Patil, S. S., Kar, A and Mohapatra, D, 2016. Stabilization of rice bran using microwave:Process optimization and storage studies. Food and Bioproducts Processing, 99, 204-211 .

Perez-Ternero, C., de Sotomayor, M. A & ,.Herrera, M. D. (2017). Contribution of ferulic acid, γ-oryzanol and tocotrienols to the cardiometabolic protective effects of rice bran. Journal of functional foods, 32, 58-71 .

Rafe, A and Sadeghian, A, 2017. Stabilization of Tarom and Domesiah cultivars rice bran: Physicochemical, functional and nutritional properties. Journal of cereal science, 74, 64-71.

Rodchuajeen, K., Niamnuy, C., Charunuch, C., Soponronnarit, S., & Devahastin, S. (2016). Stabilization of rice bran via different moving-bed drying methods. *Drying Technology*, *34*(15), 1854-1867 .

Shahidi, F and Zhong, Y, 2005. Antioxidants: regulatory status. Bailey's industrial oil and fat products .

Shaker, M., Amany, M and Mahmoud, A, 2013. Production of low acidity rice bran oil by heating process. Peak J. Food Sci. Technol., 1, 13-18 .

Sharma, H. R., Chauhan, G. S and Agrawal, K, 2004. Physico-chemical characteristics of rice bran processed by dry heating and extrusion cooking. International Journal of Food Properties, *7(3)*, 603-614.

Siger, A., NOGALA-KALUCKA, M., & LAMPART-SZCZAPA, E. (2008). The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. *Journal of Food Lipids*, *15*(2), 137-149 .

Siripairoj, W., Kaewchada, A., & Jaree, A. (2014). Synthesis of molecularly imprinted polymers for the separation of gamma-oryzanol by using methacrylic acid as functional monomer. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *45*(2), 338-346 .

Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D. J and Decker, E. A, 2012. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (Oryza saltiva L.). LWT-Food Science and Technology, 48(2), 231-236 .

Thanonkaew, A., Wongyai, S., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Formation, antioxidant property and oxidative stability of cold pressed rice bran oil emulsion. *Journal of food science and technology*, *52*(10), 6520-6528 .

Tuncel, N. Y and Korkmaz, F. Y, 2021. Comparison of lipid degradation in raw and infraredstabilized rice bran and rice bran oil: matrix effect. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(2), 1057-1067 .

Yılmaz, N., Tuncel, N. B and Kocabıyık, H, 2014. Infrared stabilization of rice bran and its effects on γ-oryzanol content, tocopherols and fatty acid composition. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(8), 1568-1576 .

Yılmaz, N, 2016. Middle infrared stabilization of individual rice bran milling fractions. Food Chemistry, 190, 179-185 .

Yu, C. w., Hu, Q. r., Wang, H. w and Deng, Z. y,2020. Comparison of 11 rice bran stabilization methods by analyzing lipase activities. Journal of Food Processing and Preservation, 44(4), e14370 .

Zare-Sheibani, A., Arab, A., Zamiri, M., Rezvani, M. J., Dadpasand, M. R and Ahmadi, F, 2015. Effects of extrusion of rice bran on performance and phosphorous bioavailability in broiler chickens. Journal of animal science and technology, 57(1), 26.

Zhu, W and Yao, H, 2002. Visual studies on rice bran extrusion. In Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management (pp. 966-971). Springer, Boston, MA.

Food Engineering Research/Vol.22/No.75 / Autumn & Winter/ 2023/P: 111-132
Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

Effect of Extrusion Process on Qualitative Characteristics of Rice Bran Oil of Tarom and Khazar Cultivars

H Bahri, Seyed Mahdi, E. Kenari, Reza, R. Amiri, zeynab

***Corresponding Author:** Faculty member of Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
Email: mahdibahri2010@yahoo.com
Received: 10 September 2023 **Accepted:** 22 December 2023
http://doi:. 10.22092/fooder.2024.363337.1373

Abstract

Rice bran is a by-product of the rice milling process and the outer layer of brown rice. In this study, rice bran of Tarom and Khazar cultivars were placed in an extrusion machine at 120 and 140 ° C and 40 bar pressure after 12 hours of grinding process, and then rice bran oil was extracted by using Hexane solvent. The oil extracted from the bran was refined and the profile of fatty acids, peroxide value, free fatty acid, Iodine value, anisidine value and wax content of oil were measured. Oleic acid (0.55 to 1.40%), linoleic acid (38.92 to 43.67%) and palmitic acid (15.71 to 19.39%) were the three major fatty acids identified in rice bran oil and extrusion treatment decreased the amount of unsaturated fatty acids and increased the amount of saturated fatty acids. also, the free fatty acid of Khazar rice bran oil was higher than Tarom. There was no difference in free fatty acids amount, peroxide value, anisidine value and wax content of the oil between untreated samples and extruded samples in 120 ° but Iodine value decreased after extrusion treatment. The content of non-Saponifiable compounds, γ- oryzanol, red and blue color parameters decreased and yellow color parameter increased. Furthermore, extrusion in 140 ° C increased peroxide value, anisidine value and wax content but decreased iodine value and free fatty acid content of the oil. As the results showed, using extrusion treatment in120 ° C had no unfavorable effects on oil qualitative characteristics so it is suggested for pretreatment of rice bran.

Key words: Extrusion, Oil extraction, Qualitative characteristics, Rice bran, Rice bran oil.

© 2023,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/