

کاهش میزان آکریل آمید و جذب روغن دونات با استفاده از اثر آنتی اکسیدانی روغن کنجد و مواد صابونی ناشونده آن

ساره رشیدی^۱، راضیه نیازمند^{۲*}، اکرم آریان فر^۳

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۲- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم صنایع غذایی، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول (r.niazmand@rifst.ac.ir)

۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱

چکیده

در پژوهش حاضر، اثر مخلوط روغن کنجد با روغن سرخ‌کردنی (غلظت‌های ۱ و ۲ درصد، وزنی/وزنی) و ترکیبات صابونی ناشونده با روغن سرخ‌کردنی (غلظت‌های ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد، وزنی/وزنی) در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی به تنهایی بر میزان آکریل آمید، جذب روغن و رطوبت دونات طی فرایند سرخ‌کردن عمیق در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و براساس آزمون توکی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاکی از آن بود که باتوجه به نقش آنتی‌اکسیدانی روغن کنجد، میزان آکریل آمید و جذب روغن، در همه نمونه‌های سرخ‌شده در مقایسه با نمونه شاهد کمتر بود. کارایی نمونه‌های سرخ‌شده حاوی مواد صابونی ناشونده کنجد ۰/۰۴ درصد، در کاهش محتوای آکریل آمید و کاهش جذب روغن بهتر از سایر نمونه‌های سرخ‌شده بود. نمونه‌های فاقد روغن کنجد کمترین تأثیر را بر میزان آکریل آمید و جذب روغن نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند. نمونه‌های سرخ‌شده در مخلوط روغن حاوی ۲ درصد روغن کنجد، ۹/۶ واحد جذب روغن و ۴۵/۲۰ درصد آکریل آمید را نسبت به شاهد کاهش داد. همچنین در نمونه‌های سرخ‌شده در مخلوط روغن حاوی ۰/۰۴ درصد مواد صابونی ناشونده، جذب روغن، مقدار آکریل آمید و رطوبت به ترتیب ۸/۹ واحد، ۵۸/۶۴ درصد و ۱۳/۳۳ واحد در مقایسه با شاهد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی

آکریل آمید
دونات
جذب روغن
روغن کنجد
مواد صابونی ناشونده

مقدمه

روبه‌افزایش است. از این رو به‌کارگیری روش‌هایی برای کاهش جذب روغن، ضمن حفظ ویژگی‌های مطلوب امری ضروری به‌نظر می‌رسد. زیرا هنگام سرخ‌کردن عمیق، در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از ماده غذایی، واکنش‌های اکسایشی و هیدرولیزی زیادی در روغن صورت گرفته و مواد نامطلوبی ایجاد می‌گردند که ضمن بروز آثار منفی بر طعم و رنگ محصول، سلامت انسان را نیز به خطر می‌اندازند (حقیقت‌آسیاب و همکاران، ۱۳۹۰). از مهم‌ترین ترکیبات نامطلوب تولیدشده در روغن می‌توان به آکریل آمید اشاره نمود.

در دهه‌های اخیر با گسترش زندگی صنعتی، مصرف غذاهای آماده و سرخ‌شده، افزایش چشمگیری یافته است. مصرف بیش از حد روغن به‌ویژه چربی‌های اشباع و اسیدهای چرب ترانس، از فاکتورهای مهمی هستند که سلامت انسان را به خطر می‌اندازد و احتمال ابتلاء به بیماری‌های قلبی، افزایش وزن، سرطان‌ها و دیابت را تشدید می‌کند. با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به تأثیر رژیم غذایی چرب بر سلامتی، تمایل به تولید و مصرف مواد غذایی کم‌چرب

بخش صابونی‌ناشونده روغن‌ها می‌باشد. ترکیبات موجود در مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد از فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردار بوده از این رو، به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی معرفی شده‌اند. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن‌کنجد نشان داده است مقادیر ترکیبات لیگناتی، شامل استرول‌ها و اسکوالن‌ها بخش اعظمی از ترکیبات صابونی‌ناشونده این روغن را شامل می‌شود. محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، دریافتند مخلوط کانولا/کنجد بدون اضافه کردن آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی پایداری اکسایشی بیشتری نسبت به روغن کانولا به‌تنهایی داشته و هرچه نسبت روغن‌کنجد بیشتر باشد این پایداری بیشتر است. در گزارشی دیگر، وقتی سزامول به‌تنهایی با روغن‌های نباتی ترکیب شد، پایداری روغن حاصله به‌طور جزئی افزایش یافت. اما این پایداری خیلی کمتر از پایداری بود که با افزودن عصاره استخراج‌شده از روغن‌کنجد حاوی همان میزان سزامول به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که عصاره کنجد حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دیگری علاوه‌بر سزامول است که در پایداری روغن‌ها شرکت می‌کنند (Kochhar *et al.*, 2000). در گزارشی دیگر، افزودن ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد خام به اسیدلینولئیک و روغن‌پنبه‌دانه پایداری اکسایشی این روغن‌ها را به‌ترتیب در دمای ۶۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داد (توسلی کفرانی، ۱۳۸۹). فعالیت آنتی‌اکسیدانی بخش صابونی‌ناشونده روغن‌های گیاهی همچون پوست بنه (BHO^2) در شرایط سرخ‌کردن عمیق روغن‌آفتابگردان بررسی شد و نشان داد این بخش به‌طور معنی‌داری فعال‌تر از آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند ترسیوبوتیل هیدروکینون ($TBHQ^3$) می‌باشد. (Farhoosh *et al.*, 2009). از این رو، هدف از پژوهش حاضر کاهش میزان آکریل‌آمید و جذب روغن دونات با استفاده از اثر آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشونده آن در محیط سرخ‌کردن می‌باشد.

آکریل‌آمید یک ترکیب شیمیایی است که دانشمندان سوئدی در سال ۲۰۰۲، موفق به کشف آن شدند و در غذاهای با منشأ گیاهی که غنی از کربوهیدرات و مقدار کمی پروتئین می‌باشد و طی مراحل پخت با حرارت بالا تهیه می‌شوند، تشکیل می‌شود (قجریگی و همکاران، ۱۳۹۰). به‌طور کلی حرارت دادن چربی‌ها در دماهای بالاتر از نقطه دود و نیز دهیدراسیون گلیسرول سبب تولید آکرولئین می‌گردد که این ترکیب به علت داشتن پیوند دوگانه بسیار فعال است و به‌راحتی اکسید می‌شود و اسیدآکرلیک تولید می‌کند. اسیدآکرلیک با آمونیاک واکنش نشان می‌دهد و آکریل‌آمید تولید می‌کند که هرچه روغن غیراشباع‌تر باشد، نقطه دود آن پایین‌تر بوده و آکریل‌آمید بیشتری تولید می‌کند (مرزبانی و صادقی، ۱۳۸۹). سازمان تحقیقاتی سرطان (IARC¹) آکریل‌آمید را یک ترکیب سرطان‌زای حاصل از فرایندهای پخت در دمای بالا تعیین کرد. تاکنون در جهت کاهش این ترکیب سمی تلاش‌های متعددی انجام شده است که از جمله این تلاش‌ها می‌توان به پایدارسازی روغن‌ها اشاره نمود. روش‌های مختلفی به‌منظور پایدارسازی روغن‌های سرخ‌کردنی پیشنهاد شده است که از آن‌جمله می‌توان به اختلاط روغن‌های چند غیراشباع با انواع اشباع یا تک غیراشباع، هیدروژنه کردن روغن‌های غیراشباع، اصلاح ژنتیکی ساختار اسیدچرب و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها اشاره کرد (شرایعی و همکاران، ۱۳۸۸). همانند روغن‌کنجد و زیتون که استفاده از این ترکیبات به‌علت دارا بودن ترکیبات توکوفرولی بسیار فعال در ساختار خود، علاوه‌بر کاهش جذب روغن موجب کاهش تولید ترکیبات ناخواسته نامطلوب همچون آکریل‌آمید نیز می‌گردد که از فاکتورهای بسیار مهم در صنعت غذا بشمار می‌رود.

روغن‌های گیاهی عمدتاً از تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها (۹۵ درصد) به همراه مقداری اسیدچرب آزاد منوآسیل‌گلیسرول و دی‌آسیل‌گلیسرول تشکیل شده‌اند. آن بخش از ترکیبات لیپیدی که با پتاس واکنش می‌دهند بخش صابونی‌شونده روغن‌ها و آن دسته از ترکیباتی که با پتاس وارد واکنش نمی‌شوند،

² Bene Hull Oil³ Tertiary-Butyl HydroQuinone¹ International Agency for Research on Cancer

مواد و روش‌ها

آرد نول از کارخانه آرد کیمیا چناران و نمک بدون ید از کارخانه نمک آسمان شرق مشهد تهیه گردید. روغن سرخ‌کردنی آفتابگردان نینا از شرکت فرآورده‌های روغنی ایران (جدول ۱)، روغن کنجد طاووس و سایر مواد اولیه خمیر از فروشگاه‌های واقع در شهر مشهد خریداری شد. حلال‌ها و موادشیمیایی مورد استفاده (دی‌اتیل‌اتر، کلروفرم، الکل ۹۶ درصد و برای استخراج روغن از هگزان) با درجه آزمایشگاهی تولید شرکت تجهیزآوران مشهد تهیه شدند.

جدول ۱ - اجزاء تشکیل‌دهنده روغن سرخ‌کردنی نینا

ترکیبات	مقدار
انرژی در هر قاشق غذاخوری	۱۲۶
کیلوکالری	۱۲۶
اسیدهای چرب اشباع	۱۰-۱۲ درصد
اسیدهای چرب با یک پیوند غیراشباع (اسید اولئیک)	۲۱-۳۵ درصد
اسیدهای چرب با چند پیوند غیراشباع (اسیدلینولئیک)	۵۰ الی ۶۶ درصد
کلسترول	-
سدیم	-
کربوهیدرات	-
پروتئین	-

آماده‌سازی خمیر دونات

اجزاء خمیر با نسبت ذکرشده در جدول (۲)، با یکدیگر مخلوط و نمونه‌های دونات فرموله شد. ابتدا تمام مواد خشک پودری توسط الک با اندازه مش ۴۰ الک شدند، سپس توزین گردیده و به مدت ۲ دقیقه و به کمک هم‌زن (مدل Sunny، ساخت کشور ژاپن) با سرعت ۲ (متوسط) مخلوط شدند. مخلوط وانیل و مارگارین توزین‌شده که از قبل به کمک بن‌ماری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل حل گردیده بود، به مواد خشک پودری اضافه شد و طی مدت ۵ دقیقه با سرعت ۲ به‌طور کامل مخلوط گردیدند. مایه خمیر (ترکیبی از شکر، آب ۳۷ درجه سانتی‌گراد و مخمر که مقدار آنها در جدول (۱) به مدت ۳۰ دقیقه در ظرفی در بسته، در محیط نگهداری شده بود) به ظرف مخلوط‌کن اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه و با سرعت ۲ با مواد مخلوط شد. سپس تخم‌مرغ طی

مدت ۲ دقیقه و با سرعت ۲ با مواد داخل ظرف مخلوط شد. درنهایت برای تشکیل خمیر، مقدار آب مورد نیاز اضافه گردید و برای اینکه خمیر کاملاً یکدستی به‌دست آید به مدت ۱۱ دقیقه با سرعت ۳ (تند) به‌طور کامل مخلوط گردید. از خمیر آماده‌شده چانه‌های ۵۰ گرمی تهیه شد. چانه‌های آماده‌شده، مرحله ورامدن اولیه را در گرمخانه سرد (مدل ID 53 ساخت شرکت ایران خودساز) با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه طی کرده و پس از اتمام مرحله ورامدن اولیه، چانه‌های خمیر با ضخامت ۱ سانتی‌متر به‌صورت دستی پهن شد. سپس توسط قالب دونات قالب‌زنی شد. آنگاه قطعه‌های خمیر دونات به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد دومین مرحله ورامدن را طی کردند (عجم و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲ - مواد لازم جهت تهیه خمیر دونات

ترکیبات	مقدار (گرم)
آردکنند	۱۰۰
آب	۱۶/۵۳
مارگارین	۹/۸۹
شکر	۱۴
تخم‌مرغ	۲۰
آب ۳۷ درجه برای مخمر	۱۱/۵۷
شیرخشک بدون چربی	۶/۲۵
مخمر	۲/۹۸
وانیل	۰/۳۶
بیکینگ‌پودر	۲/۰۱

استخراج ترکیبات صابونی ناشونده روغن کنجد

۵ گرم روغن‌کنجد خام با ۵۰ میلی‌لیتر پتاس‌اتانولی یک نرمال در یک ارلن مخلوط شده و به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مخلوط اضافه و در ادامه ۲ مرتبه با بخش‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری دی‌اتیل‌اتر عمل استخراج انجام گرفت. لایه‌های رویی جمع‌آوری گردیده و با ۷۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر شسته شده و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاس‌اتانولی نیم‌نرمال به آن اضافه و بعد از مخلوط کردن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر شسته شد. لایه رویی جدا و با سولفات‌سدیم بدون آب مخلوط شد و پس از صاف شدن در آون تحت‌خلأ در دمای ۴۵ درجه

(et al., 2010).

رابطه (۱)

درصد رطوبت

$$= \frac{\text{وزن نمونه بعد از قرار دادن در آون} - \text{وزن نمونه قبل از قرار دادن در آون}}{\text{وزن نمونه بعد از قرار دادن در آون}} \times 100$$

اندازه‌گیری جذب روغن

جهت اندازه‌گیری درصد جذب روغن دونات از روش سوکسله هنکل و دستگاه سوکسله مداوم به مدت ۴ ساعت با هگزان نرمال (با خلوص ۸۵ درصد) در دمای 1 ± 80 درجه سانتی‌گراد استفاده شد. بدین‌منظور، نمونه‌های خشک‌شده ابتدا آسیاب شد. ۵ گرم از نمونه آسیاب‌شده در داخل کارتوش قرار داده شد. وزن نمونه و کارتوش یادداشت شد. کارتوش در داخل دستگاه سوکسله قرار داده شد و پس از طی زمان مشخص (۴ ساعت)، کارتوش بیرون آورده شد و در داخل آون تحت‌خلأ قرار داده شد تا حلال آن به‌طور کامل حذف شود و سپس وزن آن را یادداشت کرده و درصد جذب روغن بر مبنای وزن خشک از رابطه (۲) محاسبه گردید (زمانی و همکاران، ۱۳۹۱).

رابطه (۲)

درصد جذب روغن

$$= \frac{\text{وزن نمونه قبل از سوکسله گذاری} - \text{وزن نمونه بعد از سوکسله گذاری}}{\text{وزن نمونه قبل از سوکسله گذاری}}$$

اندازه‌گیری آکريل آميد

آکريل‌آميد براساس روش‌های Tareke و همکاران (۲۰۰۲) و Lehotay و همکاران (۲۰۰۶) با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد. به‌این‌ترتیب که ۵/۶ گرم نمونه مطابق روش Lehotay و همکاران (۲۰۰۶) آماده‌سازی شد. به‌طور خلاصه، پس از افزودن ۵۰۰ نانوگرم بر گرم متاکریلامید به‌عنوان استاندارد داخلی، ۵ میلی‌لیتر هگزان و سپس به نسبت مساوی آب‌مقطر و استونیتریل به آن اضافه شد و کاملاً مخلوط شد. آنگاه ۵ گرم مخلوط سولفات سدیم بدون آب و کلریدسدیم به آن افزوده، پس از سانتریفیوژشدن به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه لایه استونیتریلی به‌طور کامل جداسازی شد. سپس لایه استونیتریلی جمع‌آوری‌شده، براساس روش Tareke و همکاران (۲۰۰۲) برومه شد. برای این منظور از پتاسیم بروماید، اسیدهیدروبرومیک و آب برم اشباع

سانتی‌گراد خشک گردید. برای تخلیص بیشتر، مواد صابونی‌ناشونده در کلروفرم حل شد و بعد از صاف‌شدن، کلروفرم در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد تحت‌خلأ تبخیر گردید (توسلی کفرانی، ۱۳۸۹).

آماده‌سازی مخلوط روغن

روغن سرخ‌کردنی نینا به‌عنوان محیط سرخ‌کردنی اصلی استفاده شد (شاهد). روغن‌کنجد در سطح ۱ و ۲ درصد و مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد به‌میزان ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد به روغن سرخ‌کردنی اضافه شدند. مخلوط‌های یادشده به‌طور جداگانه آماده شدند.

فرایند سرخ‌کردن

قطعه‌های خمیر در یک سرخ‌کن خانگی (Gosonic ساخت‌چین، مدل ۶۱۰-GDF) در دمای 5 ± 180 درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳ دقیقه سرخ شدند. مخزن سرخ‌کن با ۲ لیتر روغن‌آفتاب‌گردان (نینا) پر شد و به‌منظور تثبیت و پایدارشدن دمای روغن، سرخ‌کن ۱ ساعت قبل از شروع سرخ‌کردن، روشن شد. سبد سرخ‌کن توسط ورق استیل به دو قسمت تقسیم شده و در هر مرحله سرخ‌کردن دو قطعه خمیر در سبد قرار گرفته، بلافاصله در روغن 5 ± 180 درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. پس از گذشت نیمی از مرحله سرخ‌کردن (۱/۵ دقیقه) سبد را از سرخ‌کن خارج کرده و دونات‌ها را برگردانده و در زمان باقی‌مانده (۱/۵ دقیقه) سمت دیگر سرخ شد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰).

بین دو مرحله سرخ‌کردن برای به دما رسیدن روغن ۱۰ دقیقه زمان داده می‌شد. نمونه سرخ‌شده از سبد خارج شده، توسط کاغذ جاذب، روغن اضافی موجود روی سطح دونات گرفته‌شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق خنک شد. روغن سرخ‌کن پس از انجام هر تیمار تعویض می‌شد.

آزمون‌ها

اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت دونات مطابق با روش استاندارد AACC، شماره ۱۹۸۶ (۱۳۸۵) انجام شد و درصد رطوبت بر مبنای وزن خشک از رابطه (۱) محاسبه گردید (Zeng

با شاهد را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش معنی‌دار رطوبت نمونه‌های دونات سرخ‌شده در محیط‌های سرخ‌کردن حاوی روغن کنجد و مواد صابونی‌ناشونده در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی فاقد آن بود ($P < 0/05$). نتایج نشان داد که تأثیر اختلاط مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد در افزایش رطوبت نمونه‌های دونات بیش از خود روغن‌کنجد بود و افزایش غلظت آنها با افزایش بیشتر رطوبت همراه بود. از آنجایی که مواد صابونی‌ناشونده روغن‌ها عمدتاً شامل ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند، به نظر می‌رسد علت افزایش رطوبت به حضور این ترکیبات در روغن و تأثیر آن بر فعل و انفعالات رخ داده طی اکسایش مربوط باشد. این نتیجه در مورد خود روغن‌کنجد هم صادق بود اما با توجه به اینکه مواد صابونی‌ناشونده از لحاظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی خالص‌تر می‌باشند، در غلظت بسیار کمتر، تأثیر آنها شدیدتر از خود روغن می‌باشد. براساس برخی از پژوهش‌ها اسیدهای چرب غیراشباع و لسیتین موجود در روغن‌کنجد باعث کاهش میزان جذب روغن می‌شوند و با ایجاد پوسته‌ای در سطح ماده غذایی باعث ممانعت از ورود روغن و خروج رطوبت به ماده غذایی می‌شوند. (Barrera-Arellano *et al.*, 1999). با توجه به این خاصیت انتظار می‌رفت که رطوبت نمونه‌های حاوی روغن‌کنجد بیشتر از نمونه‌های عاری از روغن‌کنجد باشد که نتایج مطابق با انتظار بود.

میزان رطوبت نمونه‌های دونات سرخ‌شده در حضور ۰/۰۲ درصد روغن‌کنجد و ۰/۰۴ مقدار مواد صابونی‌ناشونده آن به ترتیب ۹/۸ و ۱۳/۵ درصد بیش از نمونه شاهد بود. که این می‌تواند به علت فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن‌کنجد در برابر اکسایش روغن سرخ‌کردنی باشد که مانع از تولید حباب‌های هوا که به ترک‌خوردن محصول و خروج رطوبت منجر می‌شود، می‌گردد (Quasem *et al.*, 2009). نتایج موسویان و همکاران (۱۳۹۱) نیز بیانگر این مطلب بود که افزودن روغن مغز بنه یا مواد صابونی‌ناشونده آن به روغن کانولای بدون آنتی‌اکسیدان و سرخ‌کردن برش‌های سیب‌زمینی در این محیط با افزایش قابل توجه رطوبت در آنها همراه بود که در توافق با نتایج پژوهش حاضر بود. این محققین بیشترین میزان

استفاده شد. محلول حاصله به مدت ۱ شب در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس برم اضافی با افزودن مقدار لازم تیوسولفات سدیم ۰/۷ مولار (چند قطره) بی‌رنگ‌شده و پس از افزودن سولفات سدیم، محلول حاصله توسط ۶۵ میلی‌لیتر اتیل‌استات، طی ۲ مرحله استخراج شد. فاز آلی حاصله پس از آب‌گیری توسط مقدار کافی سولفات سدیم، ابتدا به وسیله دستگاه تبخیرکننده چرخشی (Evaporator rotary) تحت خلأ تبخیر شد، سپس تحت‌گاز ازت تا حجم ۲۵۰ میکرولیتر تغلیظ شد. نمونه آماده تزریق تا زمان آنالیز در فریزر نگهداری شد. تعیین مقدار آکريل آميد توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی Varian مدل ۳۸۰۰ مجهز به آشکارساز طیف‌سنج جرمی Varia مدل ۱۲۰۰ انجام شد. برای این منظور از ستون مویین (Hp5) به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر و استاندارد داخلی استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

بررسی تأثیر روغن‌کنجد و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن بر میزان جذب روغن و آکريل آميد نمونه‌های دونات براساس آزمون توکی در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶، نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها طبق آزمون توکی صورت پذیرفت (در سطح اطمینان ۹۵ درصد). کلیه آزمایش‌ها با ۲ تکرار انجام شدند.

بحث و نتایج

مقدار رطوبت

یکی از روش‌های پایدارکردن روغن‌های سرخ‌کردنی، مخلوط‌کردن روغن‌های سرخ‌کردنی با روغن‌هایی است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند. نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشونده آن در روغن سرخ‌کردنی آفتابگردان (نینا) بر رطوبت نمونه‌های دونات سرخ‌شده بود ($P < 0/05$). جدول (۳)، رطوبت نمونه‌های دونات سرخ‌شده در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشونده در مقایسه

رطوبت ۳۲/۶۱ (گرم بر گرم وزن مرطوب) را در نمونه‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده در روغن کانولای حاوی مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه گزارش کردند.

جدول ۳ - اثر روغن‌کنجد و مواد صابونی‌ناشونده آن بر درصد رطوبت و درصد جذب روغن نمونه‌های دونات سرخ‌شده در مقایسه با شاهد

درصد جذب روغن	درصد رطوبت (وزن مرطوب)	غلظت (درصد)	محیط سرخ‌کردن
۱۸/۲ ± ۰/۲۸ ^A	۱۶/۲۰ ± ۰/۷۶ ^C	-	روغن سرخ‌کردنی
۱۱/۴ ± ۰/۰۰ ^B	۲۰/۹۷ ± ۰/۹۶ ^B	۱	روغن سرخ‌کردنی + روغن‌کنجد
۸/۶ ± ۰/۰۰ ^C	۲۵/۹۷ ± ۰/۱۶ ^A	۲	روغن سرخ‌کردنی + مواد صابونی‌ناشونده
۱۱/۵ ± ۰/۴۲ ^B	۲۴/۸۳ ± ۰/۴۰ ^B	۰/۰۲	روغن‌کنجد
۹/۳ ± ۰/۱۴ ^C	۲۹/۵۳ ± ۰/۲۹ ^A	۰/۰۴	

میانگین ± انحراف معیار

حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$).

جذب روغن

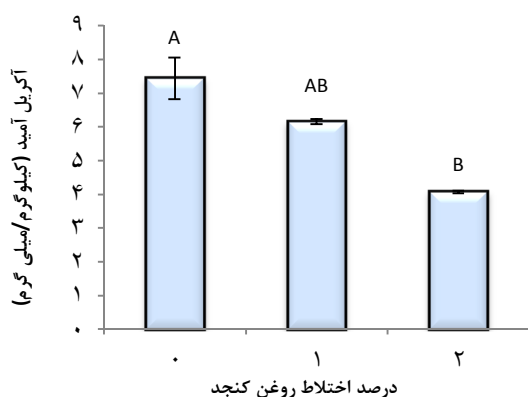
براین اساس حضور آنتی‌اکسیدان‌های روغن‌کنجد در محیط با مهار رادیکال‌ها و ممانعت از اکسایش مانع تجزیه روغن شده و در نتیجه بر کاهش جذب روغن اثر مثبت می‌گذارند.

نتایج تجزیه واریانس حاکی از این بود که مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد بر میزان جذب روغن نمونه‌های دونات مؤثر بود ($P < 0.05$). جدول (۳)، اثر مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد بر میزان جذب روغن نمونه‌های دونات طی سرخ‌کردن عمیق را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت ترکیبات صابونی‌ناشونده، جذب روغن دونات نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد ($P < 0.05$). جذب روغن در دونات سرخ‌شده در حضور ۰/۰۴ درصد مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد حدود ۹ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان داد. ترکیبات موجود در مواد صابونی‌ناشونده روغن‌کنجد از فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردار بوده از این رو، به‌عنوان منبع آنتی‌اکسیدانی معرفی گردید (توسلی کفرانی، ۱۳۸۹). نتایج شرایعی و همکاران (۱۳۸۹)، نیز بیانگر این مطلب بود که کارایی مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه در جلوگیری از تشکیل تری‌گلیسیریدهای دیمیری و پلیمری بیش از ترسیوبوتیل هیدروکینون^۱ بود و این ترکیبات از اثر محافظتی بیشتری در خصوص تخریب ترکیبات توکوفرولی روغن کانولا طی فرایند سرخ‌کردن برخوردار بودند.

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار محیط سرخ‌کردن در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد بر جذب روغن نمونه‌های دونات سرخ‌شده بود ($P < 0.05$). جدول (۳)، جذب روغن نمونه‌های دونات سرخ‌شده در حضور غلظت‌های مختلف روغن‌کنجد در مقایسه با شاهد را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین حاکی از کاهش معنی‌دار جذب روغن نمونه‌های دونات سرخ‌شده در محیط سرخ‌کردن حاوی روغن‌کنجد در مقایسه با روغن سرخ‌کردنی فاقد آن بود ($P < 0.05$). نتایج نشان داد که افزایش غلظت روغن‌کنجد با کاهش بیشتر و معنی‌دار جذب روغن همراه بود ($P < 0.05$). کمترین جذب روغن به دونات‌های سرخ‌شده در حضور ۲ درصد روغن‌کنجد مربوط بود که ۹/۶ درصد محتوای روغن کمتری نسبت به دونات سرخ‌شده در محیط فاقد روغن‌کنجد داشت. این امر را می‌توان به بهبود پایداری اکسایشی روغن سرخ‌کردنی از طریق اضافه‌کردن روغن‌کنجد و حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و قدرتمند روغن‌کنجد در مخلوط با روغن سرخ‌کردنی نسبت داد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین مشخص شده است محصولاتی که بر اثر تجزیه روغن حاصل می‌آیند (ترکیبات قطبی با وزن ملکولی بالا) باعث افزایش گرانروی روغن و کاهش کشش سطحی روغن و ماده غذایی می‌شوند که در نتیجه آن، روغن به راحتی جذب سطح ماده غذایی می‌گردد (Dobarganes et al.,).

¹ Tert-Butylhydroquinone (TBHQ)

در نتیجه کاهش تجزیه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، اکسایش در مواد غذایی کاهش یافته و به دنبال آن تولید ترکیبات نامطلوب آکروئین نیز کاهش می‌یابد. نتایج محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، در رابطه با ترکیبات فنلی روغن زیتون با نتایج بالا همخوانی داشت، روغن زیتون به علت داشتن غلظت بالایی از ترکیب ارتودی‌فنلی قادر به مهار سطح بالایی از تشکیل آکريل آميد گردید (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). Keramat و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند روغن زیتون بکر به علت دارا بودن ترکیبات فنلی موجب کاهش تشکیل آکريل آميد در چپس سیب‌زمینی شد.



شکل ۱ - اثر اختلاط روغن کنگد با روغن سرخ‌کردنی بر تشکیل آکريل آميد نمونه‌های دونات سرخ‌شده
حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$). تیرک‌های بالای ستون نشان‌دهنده انحراف معیار نمونه‌ها می‌باشند.

نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های Bakhtiary و همکاران (۲۰۱۳)، همخوانی داشت. آنها با استفاده از سرخ‌کردن سیب‌زمینی در روغن کنگد و پالم و مخلوطی از هر دو به کاهش محتوای آکريل آميد رسیدند و نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که روغن کنگد به خاطر داشتن آنتی‌اکسیدان‌های قوی، تشکیل آکريل آميد را ۸۶۰ بخش در بیلیون کاهش دادند.

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور مواد صابونی‌ناشونده در محیط سرخ‌کردن بر میزان تشکیل آکريل آميد در نمونه‌های دونات بود ($P < 0.05$). نتایج حاکی از این بود که با افزایش درصد

آکريل آميد

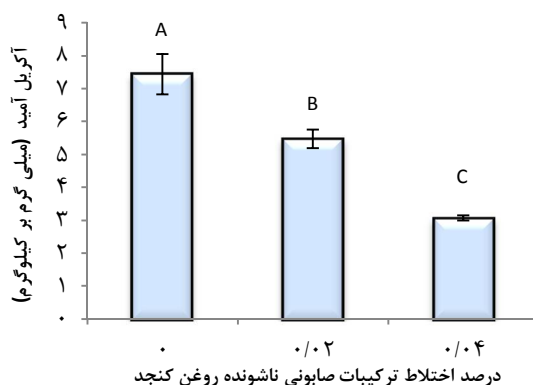
نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور روغن کنگد در محیط سرخ‌کردن بر میزان تشکیل آکريل آميد در نمونه‌های دونات بود ($P < 0.05$). نتایج حاکی از این بود که با افزایش درصد اختلاط روغن کنگد با روغن سرخ‌کردنی (شکل ۱) مقدار آکريل آميد نمونه‌های دونات به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). بیشینه میزان آکريل آميد مربوط به دونات سرخ‌شده در محیط فاقد روغن کنگد بود درحالی‌که اختلاف معنی‌داری بین دونات‌های سرخ‌شده در حضور ۱ و ۲ درصد روغن کنگد مشاهده نشد ($P > 0.05$). میزان آکريل آميد دونات سرخ‌شده در حضور ۲ درصد روغن کنگد ۴۵/۱۹ درصد کمتر از دونات سرخ‌شده در محیط فاقد آن بود. باتوجه به این واقعیت که تشکیل آکريل آميد در روغن به دلیل واکنش ترکیبات کربونیل مشتق‌شده از محصولات اکسایش روغن با آسپارژین آزاد در نمونه است (Capuano *et al.*, 2010). بنابراین، علت کاهش تشکیل آکريل آميد در دونات به خاطر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات منحصربه‌فرد و قدرتمند لیگنین روغن کنگد و همچنین آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند سزامول^۱ و سزامولین^۲ است که به کاهش واکنش ایجاد آکروئین و در نتیجه تشکیل آکريل آميد منتهی شده است. به‌طور کلی سزامولین (پیش‌ساز آنتی‌اکسیدانی)، سزامول، سزامینول و ایزومرهای انحصاری موجود در روغن کنگد، اثر پایدارکنندگی قدرتمندی را طی فرایند سرخ‌کردن نشان می‌دهند. سزامینول و ایزومرهای مرتبط با آن، از سزامولین به‌وسیله انتقال بین‌مولکولی تحت شرایط بدون آب و در حضور یک اسید تشکیل می‌شوند. در طی پخت، و در حضور رطوبت، سزامولین از طریق پروتونولیز به سزامول تجزیه می‌شود و یون اکسونیوم تشکیل می‌شود. وقتی رطوبت به‌وسیله حرارت حذف شود، این ترکیبات در محل کربن شماره ۲ با پیوند کربن-کربن، جهت تشکیل سزامینول و ایزومرهای مرتبط، از طریق انتقال بین‌مولکولی باند می‌شوند (Kochhar *et al.*, 2000).

¹ Sesamol

² Sesamolins

در دمای ۶۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داد (توسلی کفرانی، ۱۳۸۹). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که با غوطه‌وری خلال‌های سیب‌زمینی در اسیدسیتریک و سرخ‌کردن آنها در مخلوط روغن کانولا و مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه، مقدار آکریل‌آمید ۸۶/۰۷ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت (شرایعی و همکاران، ۱۳۹۳).

درهمین‌راستا محصولات واکنش میلارد به‌دلیل نقش آنها در حذف رادیکال‌ها (Marales *et al.*, 2001)، شلاته‌کردن آهن (Delgado-Andrade *et al.*, 2004)، حذف اکسیژن فعال (Yoshimura *et al.*, 1997)، دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشند. همین امر منجر به کاهش اکسایش دونات‌ها شد، و مانع تولید آکریل‌آمید نیز گردید.



شکل ۲- اثر اختلاط ترکیبات صابونی‌ناشونده روغن کنجد با روغن سرخ‌کردنی بر آکریل‌آمید نمونه‌های دونات سرخ‌شده حروف غیرمشترک بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ($P < 0.05$). تیرک‌های بالای ستون نشان‌دهنده انحراف معیار نمونه‌ها می‌باشند.

پژوهش بشمار می‌رود. به‌طورکلی روغن‌های گیاهی همچون کنجد به‌علت فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا و ترکیبات منحصربه‌فرد و قدرتمند لیگنین، استرول‌ها و اسکوالن موجب کاهش واکنش میلارد و در نتیجه تشکیل آکریل‌آمید منتهی می‌شود که در نهایت موجبات ترغیب استفاده از این نوع روغن را در صنعت غذا فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری

برطبق نتایج حاصله اثر ترکیبات صابونی‌ناشونده ۰/۰۴ درصد نسبت به سایر تیمارهای مورد استفاده بهترین عملکرد را در کاهش جذب روغن و آکریل‌آمید از خود نشان داد ($P < 0.05$). همچنین کمترین میزان افت رطوبت به این تیمار تعلق گرفت ($P < 0.05$). می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ترکیبات صابونی‌ناشونده در سطح ۰/۰۴ درصد به‌عنوان بهترین تیمار در این

منابع

- ۱- حقیقت‌آسیابر، آ.، خزانی، ص. و حسن‌نژاد، ز. ۱۳۹۰. آکریل‌آمید و راه‌های کاهش آن در فرآورده‌های سیب‌زمینی و غلات. بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۱ الی ۳ آذر ماه، تهران.
- ۲- ذوالفقاری، ز.، محبی، م. و حداد خداپرست، م. ۱۳۹۰. تأثیر نوع پوشش هیدروکلونیدی و افزودن آرد سویا بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی پیراشکی. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۱(۱): ۱۳۹-۱۲۷.

- ۳- زمانی، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی اثر صمغ‌های دانه ریحان، متیل سلولوز و گزانتان بر میزان جذب روغن خلال‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- شرایعی، پ. ۱۳۸۹. اثر روغن مغز پسته وحشی مواد صابونی‌ناشونده آن بر پایداری روغن‌های کانولا، پالم، اولئین، زیتون و اثر نوع روغن و فرایندهای مقدماتی بر میزان جذب روغن سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق، رساله دکترای صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- شرایعی، پ. فرهوش، ر. پورآذرنگ، ه. خداپرست، م. ۱۳۸۸. بررسی پایداری روغن کانولا تحت تأثیر روغن مغز بنه و بخش صابونی‌ناشونده آن طی فرایند سرخ‌کردن عمیق بر حسب اندازه‌گیری تغییرات رنگ به‌روش پردازش تصویر. مجله الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی، ۱(۴): ۹۳-۱۱۳.
- ۶- شرایعی، پ.، موسویان، د. و نیازمند، ر. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر روغن مغز بنه، مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه و کاهش pH بر میزان کاهش آکریل‌آمید خلال سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. اولین همایش ملی میان وعده‌های غذایی، ۱۰ و ۱۱ اردیبهشت ماه، مشهد.
- ۷- عجم، م. ۱۳۹۱. بررسی اثر پوشش خوراکی ثعلب بر کاهش جذب روغن دونات طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد دامغان.
- ۸- قجریگی، پ.، کامکار، ا.، جنت، ب. و حاج حسینی بابایی، ا. ۱۳۹۰. اثر مهارکنندگی عصاره رزماری و ویتامین‌های B₃ و B₆ بر تشکیل آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ‌شده. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۷(۲): ۶۷-۷۳.
- ۹- توسلی کفرانی، م. ۱۳۸۹. بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی روغن پوست پسته وحشی (*Pistacia atlantica subsp. mutica*) و مواد صابونی‌ناشونده آن. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۱۰- محمدی، ت.، حاتمی، م.، میرزائی سیس‌آبادی، ی.، هوشیاری، ع. و نجاتیان، م. ۱۳۹۳. فرمولاسیون روغن‌مایع مخلوط حاوی روغن‌های کانولا و کنجد بدون آنتی‌اکسیدان سنتزی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۳(۹): ۹۲-۸۳.
- ۱۱- مرزبانی، م. و صادقی، ر. ۱۳۸۹. مروری بر تشکیل آکریل‌آمید در مواد غذایی حرارت‌دیده و اثرات مخرب آن بر سلامت انسان. نخستین همایش منطقه‌ای یافته‌های نوین شیمی و مهندسی شیمی. ۶ و ۷ آبان ماه، کرمانشاه.
- ۱۲- موسویان، د. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر فرایندهای مقدماتی روغن مغز بنه و مواد صابونی‌ناشونده آن بر میزان آکریل‌آمید سیب‌زمینی طی فرایند سرخ‌کردن عمیق. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد دامغان.
- 13- Bakhtiary, D., Asadollahi, S., & Ardakani, A. 2013. Determination of the amount of acrylamide formation during frying of potato in sesame oil, palm olein and the blend of them. *International Journal of Engineering Research and Application*, 3: 210-214.
- 14- Barrera-Arellano, D., Ruiz-Mendez, V., Velasco, J., Marquez-Ruiz, G., & Dobarganes, C. 1999. Loss of tocopherols and formation of degradation compounds in triacylglycerol model systems heated at high temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(13):1923-8.
- 15- Capuano, E., Olivero, T., Acar, O.C., Gokmen, V., & Fogliano, V. 2010. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat- rich model systems. *Food Research International*, 43(4):1021-1026.
- 16- Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., & Navarro, P. 2004. Bioavailability of iron from a heat treated glucose-lysine model food system: Assays in rats and in Caco-2 cells. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(12):1507-1513.
- 17- Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G., & Velasco, G. 2000. Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(8-9):521-528.
- 18- Farhoosh, R., Esmailzadeh Kenari, R., & Poorazrang, H. 2009. Frying Stability of Canola Oil Blended with Palm Olein, Olive, and Corn Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(1):71-76.
- 19- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., & Jafari, M. 2011. Acrylamide in Baking Products: A Review Article. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4):530-543.
- 20- Kochhar, S.P. 2000. Stabilisation of frying oils with natural antioxidative components. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(8-9):552-559.
- 21- Lehotay, J., & Mastovska, K. 2006. Rapid sample preparation method for LC-MS/MS or GC-MS analysis of acrylamide in various food matrices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19):7001-7008.
- 22- Marales, F.J., & Jimenez-Perez, S. 2001. Free radical scavenging capacity of millard reaction products as related to color and fluorescence. *Food Chemistry*, 72(1):119-125.
- 23- Quasem, J.M., Ayman Suliman Mazahreh, A.S., Khaled Abu-Alruz, K., Afaneh, I.A., Al-Muhtaseb, A.H., & Magee, T.R.A. 2009. Effect of methyl cellulose coating and pre-treatment on oil uptake, moisture retention and physical properties of deep-fat fried starchy dough system. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(2):156-166.
- 24- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Tornqvist, M. 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17):4998-5006.
- 25- Yoshimura, Y., Iijima, T., Watanabe, T., & Nakazawa, H. 1997. Antioxidative effect of millard reaction products using glucose-glycine model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10):4106-4109.
- 26- Zeng, X., Cheng, K., Yegang, D., Ricky, K., Clive, L., Ivan K.C., Feng, C., & Mingfu, W. 2010. Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. *Food Chemistry*, 121(2):424-428.

Reduction of Acrylamide Content and Oil Absorption in Donuts, Using Antioxidant Properties and Unsaponifiable Components of Sesame Oil

Sareh Rashidi¹, Razieh Niazmand^{2*}, Akram Arianfar³

1- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

* Corresponding author (r.niazmand@rifst.ac.ir)

3- Young Researchers and Elite Club, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

Abstract

In this study, the effect of sesame oil mixture (1 and 2% w/w concentrations) and unsaponifiable components (0.02 and 0.04% w/w concentrations) was compared with frying oil in terms of acrylamide content, oil absorption and moisture in donuts during deep frying process at 180 °C. The data were analyzed in completely randomized design based on Turkey test. The results showed that considering the antioxidant role of sesame oil and its water barrier effect, the level of acrylamide and oil absorption were lower in all samples compared to control sample. Performance of fried samples containing 0.04% unsaponifiable compounds of sesame oil was much better than other fried samples. Samples lacking sesame oil had the least effect on acrylamide content and oil absorption compared with other samples. Samples fried in 2% sesame oil had 9.6 measure oil absorption and 45.20% acrylamide reduction compared with control sample. In addition, in samples fried in oil containing 0.04% unsaponifiable compounds, oil absorption, acrylamide content and moisture decreased 8.9 units, 58.64% and 13.33 units compared with the control sample, respectively.

Keywords: Acrylamide, Donuts, Oil absorption, Sesame oil, Unsaponifiable compounds