Birjand University of Medical Sciences

Journal of Scientific Research in Medical Sciences

Review Article

A review of novel methods of reducing oil absorption in fried food products

Reza Tahergorabi[1], Elham Ansarifar[2], Mitra Moodi[3], Zoya Tahergorabi[4]*

ABSTRACT

Deep fat frying is one of the oldest processes used to dry, cook, and formulate food products. The success of this process is due to its adaptability and flexibility in domestic and industrial scale. Fried foods are very popular owing to their good mouthfeel, high pleasantness, good taste, and texture. Foods absorb a significant amount of oil during frying, which increases the risk of such diseases as increased cholesterol levels, blood pressure, cardiovascular diseases, and cancer. The shift in consumer attitude and preference towards healthier options with lower fat content has markedly affected the fried food industry. Numerous attempts have been made globally to create low-fat products due to the excessive oil content in fried foods. There are novel methods to reduce the amount of oil in fried products. This review aimed to assess the effect of new technologies of blanching, microwave, and ultrasound on physicochemical properties, especially the reduction of oil absorption in fried products.

Keywords: Deep fat frying, Blanching, Fried products, Microwave, Ultrasound

Citation: Tahergorabi R, Ansarifar E, Moodi M, Tahergorabi Z. [A review of novel methods of reducing oil absorption in fried food products]. Journal of Scientific Research in Medical Sciences. 2024; 31(2): 113-126. [Persian]

DOI http://doi.org/

Received: January 24, 2024 **Accepted:** May 27, 2024

[1] Food and Nutritional Sciences Program, NC A&T State University, 1601 E. Market St. Greensboro, NC, 27411 USA
[2] Department of Public Health, School of Health, Social Determinants of Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
[3] Department of Health Promotion and Education, Geriatic Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
[4] Department of Physiology, School of Medicine, Geriatic Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

***Corresponding author:** Professor of Physiology, Department of Physiology, School of Medicine, Geriatic Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
Tel: +985632381526 E-mail: z.tahergorabi@yahoo.com

مقاله مروری

مروری بر روش‌های نوین کاهش جذب روغن در فرآورده‌های غذایی سرخ‌شده

رضا طاهرگورابی[1]، الهام انصاری‌فر[2]، میترا مودی[3]، زویا طاهرگورابی[4]*

چکیده

سرخ‌کردن عمیق (فروبردن ماده غذایی در روغن با دمای ۱۷۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد) یکی از قدیمی‌ترین فرایندهایی است که با هدف خشک کردن، پختن و فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی استفاده می‌شود. موفقیت این فرایند به دلیل تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری در مقیاس خانگی و صنعتی است. غذاهای سرخ‌شده به خاطر احساس دهانی مطلوب، دلپذیری بالا، طعم و بافت مناسب بسیار پرطرفدار هستند. غذاها در حین سرخ‌شدن، مقدار قابل‌توجهی روغن جذب می‌کنند که ریسک بیماری‌هایی مانند افزایش سطح کلسترول، فشار خون، بیماری‌های قلبی و عروقی و سرطان را افزایش می‌دهند. روند نگرش و تمایل مصرف‌کنندگان به سوی فرآورده‌های سالم‌تر و با چربی کمتر، تأثیر قابل توجهی در صنعت غذاهای سرخ‌کرده داشته است. با توجه به میزان بالای روغن در غذاهای سرخ‌کردنی، تلاش‌های زیادی در سطح دنیا برای تولید فرآورده‌های کم چرب صورت گرفته است. برای کاهش میزان روغن فرآورده‌های سرخ‌کردنی روش‌هایی وجود دارد که در این مطالعه مروری به بررسی اثر فناوری‌های نوین آنزیم بری، مایکروویو، فراصوت بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی به‌خصوص کاهش جذب روغن در فرآورده‌های سرخ‌شده پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: سرخ‌کردن عمیق، آنزیم‌بری، مایکروویو، فراصوت، کاهش جذب روغن، فرآورده‌های سرخ‌شده

مجله تحقیقات علمی در علوم پزشکی. ۱۴۰۳؛ ۳۱(۲): ۱۲۶-۱۱۳.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷

[1] گروه علوم غذایی و تغذیه، دانشگاه ایالتی کشاورزی و فنی کارولینای شمالی، گرینزبورو، کارولینای شمالی، آمریکا

[2] گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

[3] گروه آموزش بهداشت و ارتقاء سلامت، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات سلامت سالمندان، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

[4] گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات سلامت سالمندان، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

***نویسنده مسئول:** گروه فیزیولوژی، دانشکده پزشکی، مرکز تحقیقات سلامت سالمندان، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

آدرس: بیرجند- دانشگاه علوم پزشکی بیرجند- دانشکده پزشکی- گروه فیزیولوژی

تلفن: ۵۶۳۲۳۸۱۵۲۶+ پست الکترونیکی: z.tahergorabi@yahoo.com

مقدمه

چاقی یکی از بیماری‌های شایع در دنیای کنونی است. برآورد می‌شود که بر اساس نمایه توده بدنی (BMI) ۲۵ کیلوگرم/ مترمربع یا بالاتر و ۳۰ کیلوگرم/ مترمربع یا بالاتر به ترتیب حدود ۱/۹ بیلیون نفر از کل جمعیت دنیا دارای اضافه وزن هستند (۱). افراد چاق بیشتر از سایر افراد مستعد ابتلا به بیماری‌های غیر واگیر مثل بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت و برخی سرطان‌ها هستند (۱,۲). بیماری‌های قلبی عروقی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده زندگی در جوامع بشری است به‌طوری که علت ۷۰ درصد مرگ‌ومیر افراد بالای ۷۵ سال و علت ۲۵ درصد مرگ‌ومیر افراد بالای ۳۰ سال را تشکیل می‌دهد (۲,۳). از سویی با گسترش زندگی صنعتی، مصرف غذاهای آماده، غذاهای پرچرب و سرخ‌کردنی افزایش چشمگیری یافته است و میزان اسیدهای چرب ترانس موجود در این فرآورده‌های غذایی موجب افزایش شیوع بیماری‌های مزمن گردیده است. سرویس‌های سلامت و خدمات انسانی (HHS [1]) امریکا در سال ۲۰۰۵ بیان داشتند که افراد باید به منظور حفظ سلامت، مصرف چربی را کاهش دهند و توصیه نمود که کل مصرف چربی برای بزرگسالان ۲۰ تا ۳۵ درصد کالری، برای کودکان ۲ تا ۳ ساله ۳۰ تا ۳۵ درصد کالری و برای کودکان و نوجوانان ۴ تا ۱۸ ساله ۲۵ تا ۳۵ درصد کالری در روز باشد (۴). سرخ‌کردن عمیق یکی از قدیمی‌ترین فرایندهایی است که با پختن فرآورده‌های غذایی استفاده می‌شود (۵). این روش طبخ در صنعت تولید غذا به سرعت در حال رشد است، به‌طوری که سرمایه‌گذاری برای تولید غذاهای سرخ‌شده هر ساله افزایش می‌یابد. از لحاظ اقتصادی تجارت سرخ کردن مبلغی بالغ بر ۸۳ بیلیون دلار در آمریکا و دو برابر این مقدار در سایر کشورهای جهان است (۶,۷). از جمله تغییرات مطلوب در مواد غذایی در حین سرخ‌کردن می‌توان به آگلوتیناسیون نشاسته و دناتوراسیون پروتئین‌ها در ابتدای فرایند اشاره کرد که منجر به خوش‌طعم شدن و افزایش قابلیت هضم غذا می‌شود. واکنش مایلارد[2] و توسعه رنگ قهوه‌ای، تجمع ترکیبات عامل ایجاد عطر و طعم مطبوع و نیز تشکیل پوسته خشک ترد و طلایی رنگ که ظاهری دل‌پذیر به محصول می‌بخشد (۸)، از دیگر تغییرات صورت گرفته در حین سرخ کردن می‌باشند. فرآورده‌های سرخ‌شده رطوبت خود را از دست داده‌اند و عمر نگهداری آن‌ها به مراتب از فرآورده‌های تازه بیشتر است (۹,۱۰). از مزایای سرخ کردن اثر محافظتی آن است که با از بین بردن میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌ها و کاهش فعالیت آب در سطح غذا حاصل می‌شود (۱۱,۱۲). با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به تأثیر رژیم غذایی چرب بر سلامتی، تمایل به مصرف مواد غذایی کم چرب رو به افزایش است (۹,۱۳). بنابراین در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی به منظور کاهش میزان چربی در مواد غذایی سرخ‌شده ضمن حفظ ویژگی‌های کیفی آن‌ها انجام گرفته است. علاوه بر این به دلیل تغییرات فرهنگی و اجتماعی، تقاضا برای مصرف غذاهای آماده رو به افزایش است .

نقش روغن در رژیم غذایی و سلامت انسان

روغن‌ها و چربی‌ها نقش بسیار مهّمی در تغذیه انسان ایفا می‌کنند، زیرا منبع فشرده انرژی و بزرگ‌ترین تأمین کننده کالری مورد نیاز بدن هستند. آن ها حاوی ویتامین‌های محلول در چربی (A, D, E, K) و اسیدهای چرب ضروری و همچنین پیش‌ساز برخی هورمون‌ها می‌باشند که در تأمین سلامت، نقش مهمی به عهده دارند (۱۴). از طرف دیگر، بر اساس آمار اداره تحقیقات کشاورزی آمریکا، تغذیه صحیح می‌تواند مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی به میزان ۲۵ درصد، بیماری‌های تنفسی و عفونی را ۲۰ درصد، سرطان را ۲۰ درصد و بیماری دیابت را ۵۰ درصد کاهش دهد (۱۵). بیماری‌های قلبی عروقی در جهان و کشور ما رو به افزایش است به گونه‌ای که نزدیک ۴۰ درصد از مرگ و میرها را مربوط به این بیماری‌ها می‌دانند. به دلیل ارتباط بین مصرف بیش از اندازه چربی و بیماری‌های قلبی عروقی، فشارخون بالا، دیابت و برخی انواع سرطان، به‌خصوص سرطان روده بزرگ، تقاضا برای مصرف مواد غذایی کم چرب رو به افزایش است؛ به‌طوری که در کشورهای پیشرفته، دو سوم مصرف‌کنندگان از مواد غذایی کم‌چرب و کم‌کالری استفاده می‌کنند (۱۶). عادات غذایی ریشه در عوامل فرهنگی، محیطی، اقتصادی، اجتماعی و مذهبی دارد. یکی از

[1] Health and Human Services
[2] Maillard reaction

عوامل مؤثر در ایجاد بیماری‌های مزمن، سبک زندگی، الگو و عادات غذایی است (۳). در طول دهه‌های اخیر روش زندگی بسیاری از مردم دنیا به‌خصوص در کشورهای توسعه نیافته تغییر کرده است، به‌طوری که افزایش اخیر بیماری‌های مزمن در دنیا را مربوط به کم تحرکی، افزایش دریافت کالری و شیوه‌های ناسالم زندگی می‌دانند. این تغییرات در شیوه زندگی دامن‌گیر کشورهای در حال توسعه از جمله ایران نیز شده است (۱۷).

روش‌های کاهش جذب روغن در مواد غذایی سرخ‌شده

برخی از فاکتورهای اصلی مؤثر در جذب روغن توسط فرآورده‌های سرخ‌شده عبارتند از : میزان فساد روغن سرخ‌کردنی، دما، فشار و زمان سرخ کردن، شکل هندسی ماده غذایی، ترکیب شیمیایی ماده اولیه، پیش‌تیمارها، سختی سطح و تخلخل ماده غذایی سرخ‌شده است (۱۰) . برخی عوامل که موجب کاهش معنی‌داری در جذب روغن توسط فرآورده‌های سرخ‌شده می‌گردد، عبارتند از: تغییر روش‌های سرخ کردن، اصلاح محیط سرخ کردن و ویژگی‌های ماده غذایی (۱۹)، اعمال دما و زمان بهینه سرخ کردن، استفاده از روش‌های خارج کردن روغن پس از سرخ‌کردن مانند تکاندن و چکاندن و استفاده از پیش فرایندهای سرخ‌کردن و خمیرابه‌ها و پوشش‌ها (۲۰). در ادامه به تاثیر فناوری‌های نوین بر میزان کاهش جذب روغن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی فرآورده های سرخ‌شده اشاره می شود.

آنزیم بری (آنزیم زدایی)

آنزیم بری[1] نوعی فرایند حرارتی کوتاه و سریع در محیط مرطوب با کمک بخار یا آب داغ است که حرارت‌دهی واحد و سرعت انتقال بالا را تأمین می‌کند (۲۱). به‌منظور کاهش میزان قندهای احیاکننده قبل از سرخ کردن، معمولاً غده‌های سیب‌زمینی به منظور خروج۲ این قندها آنزیم‌زدایی می شوند (۲۲). پیش‌تیمار آنزیم بری قبل از فرآیند سرخ برای تولید محصولات سرخ‌شده کم چرب مورد توجه می‌باشد (جدول ۱). این پیش‌تیمار همچنین باعث یکنواختی و بهبود رنگ مواد غذایی بعد از سرخ‌شدن می شود(۲۳). این پیش‌تیمار موجب تشکیل یک لایه ژلاتینه نشاسته‌ای شده و از این طریق جذب روغن را محدود کرده و کیفیت ماده غذایی را بهبود می‌بخشد (۲۴). از طرف دیگر، برخی محققان گزارش کرده‌اند که آنزیم‌بری در دمای پایین (۵۵–۷۰ درجه سانتی‌گراد) در حضور کلرید کلسیم، باعث فعال شدن آنزیم پکتین متیل استراز شده و پیوند متیل با گروه کربوکسیلیک شکسته شده و گروه کربوکسیلیک با یون های کلسیم پیوند داده و منجر به استحکام بافت و کاهش تخلخل و در نهایت کاهش میزان جذب روغن می‌گردد (۲۲,۲۴).

آزادگر و عاصف (۲۰۲۱) اثر پیش‌تیمارهای آنزیم‌بری و فراصوت را بر میزان کاهش جذب روغن و خصوصیات حسی کدو سرخ‌شده مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش پیش‌تیمار آنزیم بری با آب داغ با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ و ۴ دقیقه و پیش‌تیمار اولتراسوند تحت فرکانس ۳۷ کیلوهرتز در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه اعمال شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش ضریب انتشار رطوبت با افزایش دما در تمام پیش‌تیمارها به دلیل خروج سریع‌تر رطوبت از ماده غذایی است. به‌طوری که بیشترین میزان ضریب انتشار رطوبت در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. با افزایش دمای سرخ‌کردن، محتوای روغن در ماده غذایی کاهش یافت. در مورد محتوای رطوبت تفاوت معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه‌های آنزیم‌بری شده و تیمار با اولتراسوند وجود داشت (۲۵). Bingol و همکاران (۲۰۱۴) اثر پیش‌تیمار مادون قرمز و آنزیم‌بری را بر میزان کاهش جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌شده کم کالری بررسی کردند. نتایج نشان داد که غیرفعال شدن کامل آنزیم پلی فنل اکسیداز بروی برش‌های سیب‌زمینی در مدت زمان ۲۰۰ ثانیه برای امواج مادون قرمز و ۱۶ دقیقه در آنزیم‌بری با آب داغ صورت پذیرفت و نمونه‌های پیش‌تیمار با مادون قرمز و آنزیم‌بری به‌طور معنی‌داری میزان روغن کمتری نسبت به نمونه شاهد جذب کرده بودند (۲۱). محمدعلی نژاد و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر فرکانس‌های تلفیقی و زمان اعمال پیش‌تیمارفراصوت روی جذب روغن طی سرخ‌کردن قطعات سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار دادند. در این

[1] Blanching
[2] Leaches out

پژوهش، از امواج فراصوت تحت فرکانس‌های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز به‌صورت مجزا و تلفیقی به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. از امواج فراصوت در هر دو فرکانس به صورت مجزا و تلفیقی جذب روغن را کاهش داد. به‌طوری که استفاده از امواج فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه بالاترین کاهش در جذب روغن را داشتند (۲۶). زرگزپور (۲۰۱۴) تأثیر پیش‌تیمار با فراصوت و آنزیم‌بری روی جذب روغن سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق را مطالعه نمودند. پیش‌تیمار فراصوت تحت فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه اعمال شد. سپس سرخ‌کردن در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه صورت گرفت. نتایج نشان داد که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آنزیم‌بری به مدت ۲ دقیقه و دمای سرخ کردن ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، کمترین جذب روغن را داشتند. همچنین تلفیق پیش‌تیمار فراصوت تحت فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۲۰ دقیقه با پیش‌تیمار آنزیم‌بری باعث کاهش جذب روغن، در دماهای سرخ کردن ۱۵ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد شدند (۲۷).

Zhang و همکاران (۲۰۱۸) اثر پارامترهای آنزیم‌بری (دمای آنزیم بری از ۶۵ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد و زمان آنزیم‌بری از ۲ تا ۱۰ دقیقه) بر روی میزان قندهای احیاکننده، آسپارژین و میزان اکریل آمید و رنگ سطحی چیس سیب‌زمینی سرخ‌شده به روش عمیق بررسی کردند. نتایج نشان داد که فرایند آنزیم‌بری منجر به کاهش میزان ۶۴/۲٪، ۴۹/۸٪ و ۶۱/۳٪ کاهش در قندهای احیاکننده، آسپارژین و اکریل آمید به ترتیب شده است (۲۸). مصداق و همکاران (۲۰۰۷) اثر پیش‌تیمار آنزیم‌بری بر روی میزان کاهش قندهای احیاکننده و اکریل آمید برش‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی کردند. آنزیم‌بری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ دقیقه توانست به‌طور مؤثری محتوی نهایی آکریل آمید را بیش از ۱۰٪ در کاهش دهد (۲۹). Pedreschi و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر آنزیم بری در آب یا محلول‌های آبی کلرید کلسیم یا اسید سیتریک را بر میزان جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌کردن بررسی نمودند. نمونه‌های آنزیم‌بری شده در آب، بالاترین مقدار جذب روغن را داشتند، در مقابل نمونه‌های آنزیم‌بری شده در محلول اسید سیتریک کاهش اندکی را در مقدار روغن (۱۳ تا ۱۵ درصد) در مقایسه با نمونه‌های آنزیم‌بری شده در محلول کلرید کلسیم (۲۷ تا ۲۸ درصد) نشان دادند. آن‌ها اظهار کردند که کلرید کلسیم قادر به پایدار ساختن ساختار بافت ماده غذایی در برابر فرایند سرخ‌کردن از طریق میان کلسیم و پکتین بافت سیب‌زمینی است (۳۰) (جدول ۱).

ماکروویو

امواج مایکروویو بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس با فرکانس حدود ۳۰۰۰۰۰–۳۰۰ مگاهرتز و طول موج ۱–۰/۰۰۱ متر در هوا هستند و در طیف، بین امواج دی الکتریک و مادن قرمز قرار گرفته‌اند. این امواج به دلیل فرکانس کم، در مقایسه با اشعه ایکس و گاما برای ایجاد انرژی معین، نیاز به ولتاژ کمتری دارند و قادر به شکستن پیوندهای شیمیایی و آسیب رسانی به مولکول‌های مواد غذایی نیستند (۳۵). گرم کردن به وسیله مایکروویو مزیت‌های زیادی از جمله صرفه‌جویی در مصرف انرژی، زمان پخت و گرم کردن کوتاه‌تر، بهبود یکنواختی محصول و ایجاد ویژگی‌ها و ساختمان میکروسکوپی منحصر به فرد در غذا دارد. گرم کردن توسط مایکروویو به شدت تحت تأثیر حضور آب در مواد غذایی می‌باشد. جریان گرمایی یکنواخت محصول منجر به تبخیر رطوبت در حین گرمایش با مایکروویو می‌شود (۳۷، ۳۶). درباره افت رطوبت و جذب چربی قطعات گوشت سرخ‌شده به روش عمیق که در آون مایکروویو پیش‌تیمار شده باشد، اطلاعاتی وجود ندارد. انتظار می‌رود محتوای بالای رطوبت اولیه گوشت سبب شود گوشت به سرعت گرم شده و این به دلیل برهم‌کنش بین مولکول‌های دو قطبی آب و محیط مایکروویو است (۳۸).

جدول ۱- اثر آنزیم‌بری بر کاهش جذب روغن فرآوردهای سرخ‌شده

هدف پژوهش	تیمارها	نتایج	منبع
تأثیر پیش‌تیمارمادون قرمز و آنزیم‌بری بر میزان کاهش جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌شده کم کالری	غیرفعال شدن کامل آنزیم پلی فنل اکسیداز در مدت زمان ۲۰۰ ثانیه برای امواج مادون قرمز و ۱۶ دقیقه در آنزیم‌بری با آب داغ	نمونه‌های پیش‌تیمار با مادون قرمز و آنزیم‌بری به‌طور معنی‌داری میزان روغن کمتری نسبت به نمونه شاهد جذب کرده بودند	(۲۱)
تأثیر پیش‌تیمارهای آنزیم‌بری و فراصوت بر میزان کاهش جذب روغن و خصوصیات حسی کدو سرخ‌شده	پیش‌تیمارآنزیم‌بری با آب داغ با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ و ۴ دقیقه پیش‌تیماراولتراسوند تحت فرکانس ۳۷ کیلوهرتز در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه	با افزایش دمای سرخ کردن، محتوای روغن در ماده غذایی پیش‌تیمار شده با هر دو فرایند، به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت.	(۲۵)
تأثیر فرکانس‌های تلفیقی و زمان اعمال پیش‌تیمارپیش‌تیمار فراصوت روی جذب روغن طی سرخ‌کردن قطعات سیب زمینی	از امواج فراصوت تحت فرکانس های ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز به صورت مجزا و تلفیقی به مدت ۳۰ دقیقه	امواج فراصوت در هر دو فرکانس به صورت مجزا و تلفیقی جذب روغن را کاهش داد. به‌طوری که استفاده از امواج فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه بالاترین کاهش در جذب روغن را داشتند	(۲۶)
تأثیر پیش‌تیمارفراصوت و آنزیم‌بری روی جذب روغن سیب‌زمینی طی سرخ کردن عمیق	پیش‌تیمار فراصوت تحت فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در دو زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه اعمال شد. سپس سرخ کردن در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه صورت گرفت.	نتایج نشان داد که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آنزیم‌بری به مدت ۲ دقیقه و دمای سرخ کردن ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، کمترین جذب روغن را داشتند. همچنین تلفیق پیش‌تیمار فراصوت تحت فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۲۰ دقیقه با پیش‌تیمار آنزیم‌بری باعث کاهش جذب روغن، در دماهای سرخ کردن ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد شدند	(۲۷)
تأثیر آنزیم‌بری بر روی میزان قندهای احیاکننده، آسپارژین و میزان اکریل آمید و رنگ سطحی چیس سیب‌زمینی سرخ‌شده	دمای آنزیم‌بری از ۶۵ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد و زمان آنزیم‌بری از ۲ تا ۱۰ دقیقه	نتایج نشان داد که فرایند آنزیم‌بری منجر به کاهش میزان ۶۴/۲٪، ۴۹/۸٪ و ۶۱/۶۳٪ کاهش در قندهای احیاکننده، آسپارژین و اکریل آمید به ترتیب شده است	(۲۸)
تأثیر آنزیم‌بری بر روی میزان کاهش قندهای احیاکننده و اکریل آمید برش های سیب‌زمینی سرخ‌شده	پارامترهای آنزیم‌بری، دما ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲ تا ۲۰ دقیقه	آنزیم‌بری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ دقیقه توانست به‌طور مؤثری محتوی نهایی آکریل آمید را بیش از ۱۰٪ در کاهش دهد.	(۲۹)
تأثیر آنزیم‌بری در آب یا محلول‌های آبی کلرید کلسیم یا اسید سیتریک را بر میزان جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌شده	آب یا محلول‌های آبی کلرید کلسیم یا اسید سیتریک	نمونه‌های آنزیم‌بری شده در آب، بالاترین مقدار جذب روغن را داشتند، در مقابل نمونه‌های آنزیم بری شده در محلول اسید سیتریک کاهش اندکی را در مقدار روغن (۱۳ تا ۱۵ درصد) در مقایسه با نمونه‌های آنزیم بری شده در محلول کلرید کلسیم (۲۷ تا ۲۸ درصد) نشان دادند.	(۳۰)
تأثیر میدان‌های الکتریکی پالسی و پیش‌تیمارپیش‌تیمار آنزیم‌بری بر کینتیک سرخ‌کردن، محتوای روغن و آکریل آمید بر سیب‌زمینی سرخ‌شده بررسی شد	پیش‌تیمارپیش‌تیمار میدان الکتریکی پالسی با زمان ۲ ثانیه و با شدت ۱کیلوولت بر سانتی‌متر پیش‌تیمار آنزیم‌بری دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد برای ۵ دقیقه	نتایج نشان داد که این دو پیش‌تیمار به صورت توأمان به‌طور قابل توجهی نسب رطوبت و محتوای روغن را به ترتیب ۲۵ درصد و ۴۰/۳۳ درصد کاهش داد. میزان اکریل آمید در نمونه‌های سرخ‌شده با هر دو پیش‌تیمارتقریباً ۴۶/۱۰ درصد کاهش یافت.	(۳۱)
اثر آنزیم‌بری و پیش سرخ کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی تارو منجمد شده بررسی شد	آنزیم‌بری (زمان ۵ و ۱۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد) پیش سرخ کردن (دمای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲ دقیقه)	نتایج نشان داد که پیش‌تیمارآنزیم‌بری اثرات مثبتی بر میزان روشنایی نمونه، خصوصیات حسی و کاهش جذب روغن نمونه‌های سرخ‌شده داشت. شرایط بهینه برای پیش‌تیمارآنزیم‌بری به مدت ۵ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و سپس پیش سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه می‌باشد.	(۳۲)
تأثیر زمان و دمای آنزیم‌بری بر خصوصیات کیفی و میزان کاهش روغن چیپس یام سرخ‌شده، مورد بررسی قرار دادند	دمای آنزیم‌بری (۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد) زمان آنزیم‌بری (۱ تا ۵ دقیقه) زمان سرخ کردن (۲ تا ۶ دقیقه)	تأثیر دمای آنزیم‌بری و زمان سرخ کردن بیشتر از زمان آنزیم‌بری بر ویژگی‌های کیفی بود. تجزیه تحلیل آماری نشان داد که میزان رطوبت، محتوای روغن، سفتی بافت و روشنایی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری با دما و زمان آنزیم‌بری و زمان سرخ کردن همبستگی داشتند. شرایط بهینه عبارتست از ۷۵ درجه سانتی‌گراد و ۵-۴ دقیقه دما و زمان آنزیم‌بری و زمان سرخ کردن ۵ دقیقه بود.	(۳۳)
تأثیر پیش‌تیمارآنزیم‌بری و پوشش پکتین بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی و میزان آکریل آمید چیپس موز سرخ‌شده، مورد بررسی قرار گرفت	دمای آنزیم‌بری (۹۰ تا ۱۰۰) درجه سانتی‌گراد به مدت یک دقیقه غلظت پوشش پکتین ۲ درصد (وزنی/حجمی)	میزان روغن و محتوای آکریل آمید در نمونه شاهد ۶۰درصد و ۱۹۴/۴ میکروگرم/کیلوگرم و در نمونه پیش‌تیمار شده با آنزیم‌بری و پوشش پکتین محتوای روغن ۲۰ درصد و محتوای اکریل آمید ۵۳ درصد کاهش یافت.	(۳۴)

Adedeji و همکاران (۲۰۰۹) اثر این پیش تیمار را بر کینتیک انتقال جرم و جذب روغن طی سرخ کردن ناگت مرغ مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌ها تحت این اشعه با قدرت‌های متفاوت (w/g ۱۴/۵-۶/۳) قرار گرفته، سپس در دماهای متفاوت سرخ‌شدند. نتایج نشان داد که امواج مایکروویو بطور معنی داری جذب روغن را در ناگت مرغ کاهش داده است. (۳۹). Ngadi و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از امواج مایکروویو توانستند جذب روغن را در ناگت مرغ کاهش دهند. طبق نتایج این پژوهش افزایش زمان اشعه‌دهی موجب کاهش آب آزاد موجود در ماده غذایی و در نتیجه کاهش روغن جذب شده به محصول می‌شود (۳۸) مواد غذایی که افت رطوبت بالایی داشته باشند، میزان جذب روغن بالاتری خواهند داشت (۳۶) برخی نظریه‌ها بیان می‌کنند که حجم کل روغن جذب شده برابر مقدار آب جدا شده از ماده غذایی در هنگام سرخ کردن می‌باشد (۳۵). بنابر این هر چه رطوبت اولیه ماده غذایی بیشتر باشد، انتشار رطوبت از داخل ماده غذایی در حین فرآیند سرخ کردن بیشتر خواهد بود. از این رو یکی از روش‌های کاهش جذب روغن استفاده از پیش‌تیمار ماکروویو برای کاهش رطوبت اولیه محصول است. گرم‌کردن در مایکروفر درمقایسه با گرم‌کردن به روش‌های معمول مزایای زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به صرفه‌جویی در مصرف انرژی، زمان کوتاه پخت و گرم‌کردن، بهبود یکنواختی محصول، ایجاد ویژگی‌های ریزساختاری منحصربه‌فرد، حفظ ارزش غذایی و ایجاد ویژگی‌های جدید در مواد اشاره کرد (۳۹-۳۶).

جدول ۲- اثر مایکروویو بر کاهش جذب روغن فرآوردهای سرخ‌شده

هدف پژوهش	تیمارها	نتایج	منبع
تأثیر تیمار مایکروویو بر کینتیک انتقال جرم و جذب روغن سیب‌زمینی سرخ‌شده	قدرت‌های متفاوت مایکروویو	مزایای پیش‌تیمار در مایکروفر: صرفه‌جویی در مصرف انرژی، زمان کوتاه پخت و گرم‌کردن، بهبود یکنواختی محصول، ایجاد ویژگی‌های ریزساختاری منحصربه‌فرد، حفظ ارزش غذایی و ایجاد ویژگی‌های جدید	(۳۸)
تأثیر تیمار مایکروویو بر کینتیک انتقال جرم و جذب روغن طی سرخ کردن ناگت مرغ	قدرت‌های متفاوت مایکروویو (w/g ۶/۱۴-۳/۵) سپس در دماهای متفاوت (۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) سرخ‌شدن	امواج مایکروویو توانستند جذب روغن را در ناگت مرغ کاهش دهند.	(۳۹)
تأثیر پیش پخت با مایکروویو بر کینتیک انتقال جرم طی سرخ‌کردن عمیق قطعات گوشت شترمرغ	پیش‌پخت شده با مایکروویو در ۹ فاصله زمانی از صفر تا ۱۳۵ ثانیه و سه دما (۱۳۵، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد)	قطعاتی از گوشت که در قدرت w/g ۵/۲۳ مایکروویو پیش پخت شدند و سپس در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد به صورت عمیق سرخ‌شدند، کمترین میزان محتوی چربی را داشتند.	(۴۰)
تأثیر پیش‌تیمار خشک کردن با مایکروویو و شرایط سرخ کردن بر میزان محتوای رطوبت و روغن، تردی، خاصیت جویدنی و پارامترهای رنگی سیب‌زمینی شیرین مورد مطالعه قرار گرفت.	میزان خشک شدن با مایکروویو (۱۰٪ و ۲۰٪) دمای سرخ کردن (۱۵۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) زمان سرخ کردن (۱ تا ۳ دقیقه)	تمام تیمارها اثر معنی‌داری بر بهبود ویژگی‌های کیفی نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد داشتند. دمای سرخ کردن اثر معنی‌داری بر محتوای رطوبت، روغن و قابلیت جویدنی داشت. زمان سرخ‌کردن اثر معنی‌داری بر سختی، قابلیت جویدن و میزان رطوبت داشت. کاهش رطوبت اولیه با مایکروویو بر سختی و میزان کاهش محتوای روغن اثر معنی‌داری داشت.	(۴۱)
اثر سرخ کردن عادی و سرخ کردن مایکروویو بر ویژگی‌های کیفی پاتی‌های گوشت گاو مورد مقایسه قرار گرفت.	توان مایکروویو در دو سطح ۵۰٪ و ۷۰٪	نتایج نشان داد که پاتی‌های گوشت گاو سرخ‌شده در مایکروویو در میزان کاهش جذب روغن و بازده پخت تفاوت معنی‌داری در مقایسه با روش معمول سرخ کردن داشت.	(۴۲)
اثرات پیش‌تیمار مایکروویو بر جذب روغن و ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی سرخ‌شده عمیق بررسی شد.	پیش‌تیمار مایکروویو با توان‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ وات در زمان‌های ۲، ۴، ۶ دقیقه فرایند سرخ‌کردن در دماهای ۱۶۰، ۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد	پیش‌تیمار مایکروویو اثرات معنی‌داری بر میزان رطوبت، کاهش جذب روغن، تردی بافت نمونه‌ها داشت و تاثیری بر میزان چروکیدگی نمونه‌ها نداشت. بهترین تیمار اثر مایکروویو با توان ۵۰۰ وات به مدت ۶ دقیقه و دمای سرخ‌کردن ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بود.	(۴۳)
اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر میزان کاهش جذب روغن در سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده بررسی شد.	مایکروویو در دو فرکانس (۲/۴۵ و ۵/۸۵ گیگاهرتز) به صورت جداگانه یا ترکیبی با سرخ‌کردن عمیق	نتایج نشان دادند که سرخ‌کردن در مایکروویو، زمان سرخ کردن را ۳۰ تا ۴۰ درصد کاهش داد و محتوای روغن نمونه‌ها را از ۱۸ تا ۲۳ درصد کاهش داد. این مطالعه پتانسیل گرمایش مایکروویو در تولید سیب‌زمینی‌های سرخ‌شده با محتوای روغن کمتر و کیفیت بهتر نشان داد.	(۴۴)

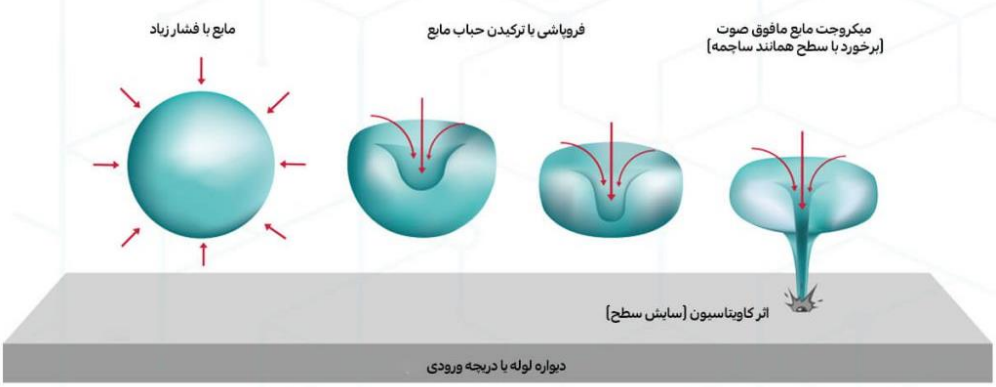
امیریوسفی و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر پیش پخت با مایکروویو را بر کینتیک انتقال جرم طی سرخ‌کردن عمیق قطعات گوشت شترمرغ را بررسی کردند. طی مراحل آزمایش، قطعات گوشت حاصل از عضله ران گوشت شتر مرغ گردن آبی[1] و پیش پخت شده با مایکروویو در ۹ فاصله زمانی از صفر تا ۱۳۵ ثانیه و سه دما (۱۳۵، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتی گراد) سرخ‌شدند. از میان تمامی تیمارها، قطعاتی از گوشت که در قدرت ۵/۲۳ w/g مایکروویو پیش پخت شدند و سپس در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد به صورت عمیق سرخ‌شدند، کمترین میزان محتوی چربی را داشتند. همچنین ثابت سرعت انتقال روغن در محدوده ۰/۰۲۴ تا ۱۹/۷۰۸ قرار داشت. انرژی فعال‌سازی هم که از روی نمودار آرنیوسی انتشار رطوبت مؤثر به‌دست آمد، بین ۳۸/۸۴ تا ۵۱/۰۷ کیلوژول بر مول تغییر کرد (۴۰) (جدول ۲).

فراصوت

امواج فراصوت به امواجی با فرکانس بیش از ۱۸ کیلوهرتز اطلاق می‌شود که برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند. امواج فراصوت شباهت زیادی با امواج صوتی دارند، ولی فرکانس آن‌ها بسیار بیشتر از دامنه شنیداری گوش انسان (۱۸ هرتز الی ۱۸ کیلوهرتز) است (۴۵). امواج فراصوت را می‌توان در دو محدوده قوی (فرکانس پایین: ۱۸ kHz–۱۰۰ kHz، قدرت بالا: ۱۰–۱۰۰۰ W/cm2) و ضعیف (فرکانس بالا: ۱۰۰۰kHz – ۱۰MHz، کمتر از W/cm2) طبقه‌بندی کرد. به امواج صوتی با بسامد کمتر از حد شنوایی انسان، امواج مادون قرمز صوت یا اینفراسوند می‌گویند (۴۶). مهم‌ترین دلیل تأثیر امواج فراصوت با شدت بالا، پدیده‌ای به نام کاویتاسیون می‌باشد. طبق تعریف، کاویتاسیون یا حفره‌زایی عبارت است از تشکیل، رشد و متلاشی شدن حباب‌های کوچک در مایع در اثر ایجاد فشار منفی بزرگ است. امواج فراصوت، نظیر همه امواج متشکل از چرخه‌های انقباض و انبساط هستند. از لحاظ تئوری عنوان می‌شود که حباب هنگامی به وجود می‌آید که فاصله مولکول‌ها از یکدیگر به دو برابر شعاع واندروالسی برسد. هنگامی یک مایع ایجاد حباب می‌کند که فشار مایع[2]، کمتر از فشار بخار مایع[3] باشد. مراحل کاویتاسیون عبارتند از تشکیل حباب اولیه، رشد حباب و متلاشی شدن آن (۴۷,۴۸). در مورد دلیل رشد حباب‌ها طی چرخه انبساط عنوان می‌شود که علت این امر عدم برابری میزان انتقال جرم در طی چرخه انبساط و انقباض است؛ چرا که در مرحله انبساط میزان انتشار گاز به داخل حباب بیشتر شده، درصورتی که در چرخه انقباض مقدار کمتری گاز از آن خارج می‌شود. تکرار این حالت سبب افزایش شعاع حباب تا حد بحرانی می‌گردد (۴۷). مرحله بعدی در چرخه کاویتاسیون، متلاشی شدن آن می‌باشد که سبب آزاد شدن انرژی و ظهور اثرات مکانیکی پدیده کاویتاسیون می‌گردد. تئوری‌های گوناگونی در این زمینه ارائه گردیده است که معروف‌ترین آن‌ها، تئوری نقطه داغ می‌باشد (شکل ۱). هر حباب به منزله میکروراکتوری عمل می‌کند که متلاشی شدن آن سبب تولید دمایی در حدود ۵۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشاری معادل ۲۰۰۰ اتمسفر می‌شود، با این وجود این میزان بسیار بالای حرارت تولید شده نمی‌تواند بر روی توده محیط اثرگذار باشد، زیرا حباب‌ها بسیار ریز هستند و پس از آن سرد شدن فوق‌العاده سریع اتفاق می‌افتد و حرارت در مدت زمان کوتاهی به محیط هدر می‌رود (۴۷). به‌عبارت دیگر برآورد شده است که سرعت سرد شدن پس از ترکیدن حباب‌ها، ۱۰ میلیارد درجه سلسیوس در هر ثانیه می‌باشد (۴۸,۴۹). میزان فشار و دما به شرایط محیطی که امواج در آن منتشر می‌شوند بستگی دارد. علت تولید دمای بالا، جذب انرژی از محیط می‌باشد که در نتیجه ورود امواج مافوق صوت تولید می‌شود (۴۶).

[1] Struthio camelus australis

[2] Pressure Liquid
[3] Pressure Vapor



شکل۱- پدیده کاویتاسیون و مراحل تشکیل حباب در طی فرایند فراصوت (۵۲)

محتوای رطوبت اولیه، مهم‌ترین ویژگی تأثیرگذار مواد غذایی بر روند انتقالات به شمار می‌رود. رطوبت بالای مواد غذایی انتشار رطوبت را از درون ماده غذایی افزایش می‌دهد، در نتیجه محصول متخلخل‌تری حاصل می‌آید که روغن بیشتری جذب می‌کند (۴۸،۵۰). امواج اولتراسوند، با ایجاد انقباض و انبساط‌های متوالی (اثر اسفنجی[1]) در ماده غذایی، باعث تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و تسهیل خروج آب از محصول به واسطه این کانال‌ها می‌گردد (۴۶،۵۰) که باعث سهولت خروج آب از ماده غذایی و کاهش بیشتر محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها قبل از سرخ کردن می‌شود (۴۷،۵۰،۵۱). محمدعلی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۸) عنوان کردند که با به‌کاربردن امواج فراصوت همراه با اسمز قبل از سرخ کردن سیب‌زمینی، نفوذ محلول اسمز به داخل نمونه را افزایش می‌دهد و همچنین سرعت آبگیری بالا رفته که در نهایت منجر به کاهش رطوبت اولیه در نمونه‌ها می‌گردد. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که استفاده از اولتراسوند به عنوان پیش‌تیمارپیش‌تیمار قبل از فرایند سرخ کردن، باعث افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت، کاهش زمان سرخ کردن و هم‌چنین، آسیب کمتر به لوله‌های موئین موجود در نمونه غذایی شود (در فرکانس و توان‌های مناسب) و از این طریق، منجر به کاهش میزان چروکیدگی در محصول نهایی و در نتیجه بهبود خصوصیات کیفی ماده غذایی می‌گردد (۵۲). دهقان‌نیا و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثر پیش‌تیمار اولتراسوند در دو فرکانس ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز و پیش‌تیمار خشک کردن در دو زمان ۸ و ۱۵ دقیقه و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بر روی قطعات سیب‌زمینی پیش از سرخ کردن پرداختند. سرخ کردن قطعات سیب‌زمینی در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام شد. علاوه بر این به منظور مدل‌سازی چروکیدگی، داده‌های آزمایشی با شش مدل تجربی پیشنهادی در این تحقیق برازش شدند. نتایج نشان دادند که استفاده از اولتراسوند به‌عنوان یک روش امید بخش مناسب در بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات سرخ‌شده، از جمله کاهش میزان چروکیدگی نمونه‌ها، می‌تواند در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد (۴۹). دهقان‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) اثر پیش‌تیمار فراصوت در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۱۵ دقیقه و پیش‌تیمار آبگیری اسمزی در دو غلظت ۲ و ۴ درصد محلول نمک به مدت ۳ ساعت روی قطعات سیب‌زمینی اعمال شده و به دنبال آن فرایند سرخ کردن در ۳ دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام شد. تأثیر پیش‌تیمارهای فوق روی جذب روغن و ویژگی‌های حسی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای بهینه‌سازی و بهبود تجهیزات و شرایط فرایند سرخ کردن، میزان جذب روغن در قطعات سیب‌زمینی پیش‌تیمارشده با فراصوت و آبگیری اسمزی بررسی شد، پیش‌تیمار آبگیری اسمزی باعث کاهش معنی‌دار میزان جذب روغن در قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده گردید. استفاده از پیش‌تیمارفراصوت به همراه آبگیری اسمزی منجر به

[1] Sponge effect

کاهش معنی‌دار میزان جذب روغن نسبت به نمونه‌های دیگر شد (۵۱) (جدول ۳).

جدول ۳- اثر فراصوت بر کاهش جذب روغن فرآورده‌های سرخ‌شده

هدف پژوهش	تیمارها	نتایج	منبع
تأثیر پیش‌تیمار فراصوت و آبگیری اسمزی بروی کاهش جذب روغن قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده	اثر پیش‌تیمار فراصوت در دو فرکانس ۲۸ و ۴۰ کیلوهرتز و پیش‌تیمارپیش‌تیمار اسمز در دو زمان ۸ و ۱۵ دقیقه و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرخ کردن قطعات سیب‌زمینی در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه	استفاده از اولتراسوند به‌عنوان یک روش امیدبخش مناسب در بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات سرخ‌شده، از جمله کاهش میزان جذب روغن و چروکیدگی نمونه‌ها، می‌تواند باشد.	(۴۹)
تأثیر پیش‌تیمارفراصوت و آبگیری اسمزی بر روی کاهش جذب روغن قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده	پیش‌تیمار فراصوت در دو فرکانس ۲۰ و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۱۵ دقیقه و پیش‌تیمار آبگیری اسمزی در دو غلظت ۲ و ۴ درصد محلول نمک به مدت ۳ ساعت روی قطعات سیب‌زمینی اعمال شده و به‌دنبال آن فرایند سرخ کردن در ۳ دمای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام شد.	پیش‌تیمار آبگیری اسمزی باعث کاهش معنی‌دار میزان جذب روغن در قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده گردید. استفاده از پیش‌تیمار فراصوت به همراه آبگیری اسمزی منجر به کاهش معنی‌دار میزان جذب روغن نسبت به نمونه‌های دیگر شد.	(۵۱)
تأثیر پیش‌تیمار فراصوت و آبگیری اسمزی بر روی کاهش جذب روغن قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده	پیش‌تیمارپیش‌تیمار فراصوت در دو فرکانس ۱۵ تا ۵۰ کیلوهرتز به مدت ۱۵ دقیقه و پیش‌تیمارآبگیری اسمزی در دو غلظت ۲/۵ و ۵ درصد محلول نمک به مدت ۳ ساعت روی قطعات سیب‌زمینی اعمال شده	امواج فراصوت همراه با اسمز قبل از سرخ کردن سیب‌زمینی، نفوذ محلول اسمز به داخل نمونه را افزایش می‌دهد و همچنین سرعت آبگیری بالا رفته که در نهایت منجر به کاهش رطوبت اولیه در نمونه‌ها می‌گردد.	(۵۲)
اثر پیش‌تیمار فراصوت برای کاهش جذب روغن و بهبود ویژگی‌های کیفی چیپس سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت.	فراصوت با شدت (۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰، ۴۸۰ و ۶۰۰ وات) زمان فراصوت‌دهی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه)	بهترین پیش‌تیمارفراصوت (توان ۳۶۰ وات و زمان ۶۰ دقیقه) به‌طور قابل توجهی محتوای روغن چیپس سیب‌زمینی (۲۷/۶۶ درصد) کاهش داد.	(۴۵)
اثر پیش‌تیمار فراصوت بر خواص نشاسته، وضعیت آب، ویژگی‌های منافذ و جذب روغن اسلایس‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت.	تیمار فراصوت با دو توان (۳۶۰ و ۶۰۰ وات) در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز به مدت ۶۰ دقیقه	پیش‌تیمار فراصوت منجر به فرسایش سطحی دانه‌های نشاسته شده، تردی را افزایش داده و میزان جذب روغن را تا ۳۸٪ در نمونه‌های اسلایس سیب‌زمینی کاهش داد. فراصوت به عنوان یک روش غیرحرارتی، قبل از فرایند سرخ کردن پتانسیل زیادی درکاهش جذب روغن غذاهای سرخ‌شده دارد.	(۵۰)
تأثیر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه و پیش‌تیمارفراصوت بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ناگت مرغ سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت.	فرمولاسیون خمیرابه با صمغ‌های مختلف (صمغ پکتین، لوبیای لوکاست، گوار، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و متیل سلولز) پیش‌تیمار با فراصوت	پیش‌تیمارفراصوت می‌تواند به عنوان یک رویکرد جدید برای تولید ناگت‌های مرغ کم چرب با ویژگی‌های کیفی قابل توجه، مورد استفاده قرار داد.	(۵۳)
تأثیر پیش‌تیمارفراصوت و اسمز بر کاهش میزان رطوبت و جذب روغن سیب‌زمینی شیرین سرخ‌شده عمیق بررسی شد.	پیش‌تیمار فراصوت (۲۸کیلوهرتز در ۳۰۰ وات به مدت ۳۰ دقیقه) پیش‌تیمار اسمز (آب نمک به مدت ۶۰ دقیقه) سرخ کردن در دما (۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه)	کمترین محتوای رطوبت در نمونه پیش‌تیمار شده فراصوت+ اسمز بود و کمترین میزان جذب روغن در نمونه تیمار شده با فراصوت بود. نتایج ثابت کرد که فراصوت یک روش پیش‌تیمار مؤثر برای کاهش جذب روغن در نمونه‌های سیب‌زمینی شیرین سرخ‌شده می‌باشد.	(۴۸)

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، با رشد فزاینده مصرف انواع غذاهای آماده مواجه بوده‌ایم. غذاهای سرخ‌شده بخش مهمی از غذاهای آماده را تشکیل می‌دهند. گاهی بیش از ۴۵ درصد غذاهای سرخ‌شده شامل روغن است. از طرفی مصرف بیش از حد روغن به ویژه چربی‌های اشباع یکی از فاکتورهای مهمی است که سلامت انسان را به خطر می‌اندازد و احتمال ابتلا به بیماری‌های قلبی، افزایش وزن، سرطان‌ها و دیابت را تشدید می‌کند. در این پژوهش تأثیر فرایندهای آنزیم‌زدایی، مایکروویو و امواج فراصوت را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی به خصوص کاهش جذب روغن فرآورده‌های سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی حاصل از پژوهش‌های مختلف نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار آنزیم‌بری و غوطه‌وری در محلول اسمزی میزان جذب روغن را کاهش داد زیرا این پیش‌تیمارها سبب کاهش میزان رطوبت اولیه محصول می‌شود و در نتیجه طی فرآیند سرخ کردن رطوبت کمتری فرآورده از دست می‌دهد و در نهایت روغن کمتری جذب می‌گردد. امواج فراصوت، با ایجاد انقباض و انبساط‌های متوالی در ماده غذایی، باعث تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و تسهیل خروج آب از محصول به واسطه این کانال‌ها می‌گردد که باعث سهولت خروج آب از ماده غذایی و کاهش بیشتر محتوای رطوبت اولیه نمونه‌ها قبل از سرخ کردن می‌شود. همچنین امواج مایکروویو قبل از سرخ کردن روش مؤثری برای کاهش میزان رطوبت اولیه در فرآورده غذایی می‌باشد. محتوای رطوبت اولیه، مهم‌ترین ویژگی تأثیرگذار مواد غذایی بر روند انتقالات به شمار می‌رود. رطوبت بالای مواد غذایی انتشار رطوبت را از درون ماده غذایی افزایش می‌دهد، در نتیجه محصول متخلخل‌تری حاصل می‌آید که روغن بیشتری جذب می‌کند. در نهایت با استفاده از فرایندهای نوین در صنعت سرخ کردن، می‌توان به میزان قابل ملاحظه‌ای میزان جذب روغن را کاهش داد. این روش امیدبخشی برای ایجاد فرآورده‌های سرخ‌شده کم‌چرب و کم‌کالری به منظور تغذیه سالم آحاد جامعه است.

افق پیش رو

بررسی انواع روش‌های سرخ کردن نشان داد که برای بهبود کیفیت نمونه‌های سرخ‌شده و غلبه بر محدودیت‌های سرخ کردن، استفاده از تکنیک‌های جدید این پتانسیل را دارد که بر مشکلات کاهش کیفیت ناشی از فرآیند سرخ کردن غلبه کرد. همچنین ثابت شده است که ترکیب انواع فناوری‌ها می‌تواند توسعه محصول با کیفیت بهتر را امکان‌پذیر کند که با روش‌های سرخ کردن سنتی قابل دستیابی نیست. لازم به ذکر است که مطالعات آینده برای درک بهتر مکانیسم‌های بیوشیمیایی و یافتن راهی بهتر برای غلبه بر محدودیت‌های تولید محصولات غذایی مختلف مورد نیاز است.

مشارکت نویسندگان

کلیه نویسندگان در تمامی مراحل جستجو، مطالعه و تحقیق، نوشتن مقاله و ویرایش فایل نهایی مقاله سهم یکسان داشته اند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

منابع:

1. Moodi M, Tavakoli T, Tahergorabi Z. Crossroad between obesity and gastrointestinal cancers: A review of molecular mechanisms and interventions. Int J Prev Med. 2021; 24; 12: 18. DOI: 10.4103/ijpvm.IJPVM_266_20
2. Tahergorabi Z, Khazaei M, Moodi M, Chamani E. From obesity to cancer: a review on proposed mechanisms. Vol. 34, Cell Biochemistry and Function. Cell Biochem Funct. 2016; 34(8): 533-45. DOI: 10.1002/cbf.3229
3. Tahergorabi Z, Lotfi H, Rezaei M, Aftabi M, Moodi M. Crosstalk between obesity and cancer: a role for adipokines. Archives of Physiology and Biochemistry. Arch Physiol Biochem. 2024; 130(2): 155-68. DOI: 10.1080/13813455.2021.1988110

4. Lumanlan JC, Fernando WMADB, Jayasena V. Mechanisms of oil uptake during deep frying and applications of predrying and hydrocolloids in reducing fat content of chips. Int J Food Sci Technol. 2020; 55(4): 1661–70. DOI: 10.1111/ijfs.14435

5. Shokrollahi Yancheshmeh B, Mohebbi M, Varidi M, Razavi SM, Ansarifar E. Effects of Temperature, Frying time and Lentil Flour Addition to the batter formulation on quality of simulated fried crust by using a Deep-Fried Model System (DFCM). Iranian Food Science and Technology Research Journal. 2014; 10; 3(1): 266–75. [Persian] URL: https://ifstrj.um.ac.ir/article_33993.html?lang=en

6. Liberty JT, Dehghannya J, Ngadi MO. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review. Trends Food Sc Technol. 2019; 92(2): 172-83. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.050

7. Ananey-Obiri D, Matthews L, Azahrani MH, Ibrahim SA, Galanakis CM, Tahergorabi R. Application of protein-based edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. Trends Food Sc Technol. 2018; 80: 167-74. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.08.012

8. Jia B, Fan D, Yu L, Li J, Duan Z, Fan L. Oil Absorption of Potato Slices Pre-Dried by Three Kinds of Methods. Eur J Lipid Sci Technol. 2018; 120(6). DOI: https://doi.org/10.1002/ejlt.201700382

9. Azahrani MH, Ananey-Obiri D, Matthews L, Tahergorabi R. Development of low-fat fried fish using a two-prong strategy. CYTA - J Food Sci. 2019; 17(1): 882–91. DOI: 10.1080/19476337.2019.1661878

10. Ansarifar E, Mohebbi M, Shahid F. Studying Some Physicochemical Characteristics of Crust Coated with White Egg and Chitosan Using a Deep-Fried Model System. Food Nutr Sci. 2012; 03(5): 685–92. DOI: 10.4236/fns.2012.35093

11. Pankaj SK, Keener KM. A review and research trends in alternate frying technologies. Curr Opin Food Sci. 2017; 16: 74-9. DOI: 10.1016/j.cofs.2017.09.001

12. Adrah K, Adegoke SC, Tahergorabi R. Physicochemical and microbial quality of coated raw and oleogel-fried chicken. LWT. 2022; 154: 112589. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112589

13. Ansarifar E, Shahidi F, Mohebbi M, Razavi SM, Ansarifar J. A new technique to evaluate the effect of chitosan on properties of deep-fried Kurdish cheese nuggets by TOPSIS. LWT. 2015; 62(2): 1211–9. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.051

14. Oke EK, Idowu MA, Sobukola OP, Adeyeye SAO, Akinsola AO. Frying of Food: A Critical Review. J Culin Sci Technol. 2018; 16(2): 107–27. DOI: 10.1080/15428052.2017.1333936

15. Al-Asmar A, Naviglio D, Giosafatto CVL, Mariniello L. Hydrocolloid-based coatings are effective at reducing acrylamide and oil content of French fries. Coatings. 2018; 8(4): 147. DOI:10.3390/coatings8040147

16. Tahergurabi Z, Khazaei M, Obesity and Angiogenesis. J Isfahan Med Sch. 2012; 29, 172, 2899-294. URL: https://jims.mui.ac.ir/article_13691.html?lang=en

17. Zhang X, Zhang M, Adhikari B. Recent developments in frying technologies applied to fresh foods. Vol. 98, Trends in Food Science and Technology. Elsevier Ltd; 2020; 98: 68–81. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.007

18. Sahasrabudhe SN, Staton JA, Farkas BE. Effect of frying oil degradation on surface tension and wettability. LWT. 2019; 99: 519–24. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.10.026

19. Shokrollahi Yancheshmeh B, Mohebbi M, Varidi M, Razavi SM, Ansarifar E. Performance of lentil and chickpea flour in deep-fried crust model (DFCM): oil barrier and crispy properties. J Food Meas Charact. 2019; 13(1): 296–304. DOI: 10.1007/s11694-018-9944-8

20. Ansarifar E, Mohebbi M, Shahid F. Varidi M. Kinetic modeling of mass transfer during deep frying of coated Kurdish cheese nuggets with white egg. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 2013; 9(2): 126-37. [Persian] URL: https://ifstrj.um.ac.ir/article_32589.html

21. Bingol G, Wang B, Zhang A, Pan Z, McHugh TH. Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. J Food Eng. 2014; 121(1): 135–42. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.001

22. Arisseto AP, Silva WC, Marcolino PFC, Scaranelo GR, Berbari SAG, de Oliveira Miguel AMR, et al. Influence of potato cultivar, frying oil and sample pre-treatments on the contamination of French fries by 3-monochloropropane-1,2-diol fatty acid esters. Food Res Int. 2019; 124: 43–8. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.10.070

23. Ngobese NZ, Workneh TS. Potato (Solanum tuberosum L.) nutritional changes associated with French fry processing: Comparison of low-temperature long-time and high-temperature short-time blanching and frying treatments. LWT. 2018; 97: 448–55. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.039

24. García-Segovia P, Urbano-Ramos AM, Fiszman S, Martínez-Monzó J. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried cassava chips (Manihot esculenta Crantz). LWT - Food Sci Technol. 2016; 69: 515–21. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.02.014

25. Azadgar A, Asefi N. The impact of ultrasound and blanching technology on effective diffusivity and uptake of oil in zucchini during deep fat frying. J Food Sci Technol. 2021; 18(111): 371- 82. [Persian]. DOI: 10.52547/fsct.18.111.371

26. Mohammadalinejhad M, Dehghannya J, Jalali SH. Effect of Combined Frequencies and Applied Time of Ultrasound Pretreatment on Oil Uptake during Frying of Potato Strips. Iranian Journal of Biosystem Engineering. 2018; 49(1): 35-47. [Persian] DOI: 10.22059/IJBSE.2017.234629.664957

27. Razzagh Pour E, Dehghannya J, Ghanbarzadeh B. The effect of ultrasound and blanching on oil uptake during deep-fat frying of potato.Res Innov Food Sci Technol. 2014; 2(4): [Persian] DOI: 10.22101/JRIFST.2014.03.01.243

28. Zhang Y, Kahl DHW, Bizimungu B, Lu ZX. Effects of blanching treatments on acrylamide, asparagine, reducing sugars and colour in potato chips. J Food Sci Technol. 2018; 55(10): 4028–41. DOI: 10.1007/s13197-018-3329-1

29. Mestdagh F, De Wilde T, Fraselle S, Govaert Y, Ooghe W, Degroodt JM, et al. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. LWT. 2008; 41(9): 1648–54. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.10.007

30. Pedreschi F, Mariotti S, Granby K, Risum J. Acrylamide reduction in potato chips by using commercial asparaginase in combination with conventional blanching. LWT. 2011; 44(6): 1473–6. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.02.004

31. Liu C, Lv M, Du H, Deng H, Zhou L, Li P, Li X, Li B. Effect of Preliminary Treatment by Pulsed Electric Fields and Blanching on the Quality of Fried Sweet Potato Chips. *Foods*. 2023; 12(11): 2147. DOI: 10.3390/foods12112147

32. Penjumras P, Kunkrathok S, Umnat S, Chokeprasert P, Pokkaew R, Wattananapakasem I, et al. Effect of Blanching Time and Par-Frying Temperature on Quality of Frozen Par-Fried Taro. In: Chen, SM. (eds) Springer Proceedings in Materials Proceedings of 10th International Conference on Chemical Science and Engineering. ICCSE 2021. Singapore: Springer Nature Singapore. 2022; Nov 19 (pp. 49-55). DOI: 10.1007/978-981-19-4290-7_6

33. Sobukola OP, Awonorin SO, Sanni LO, Bamiro FO. Optimization of Blanching Conditions Prior to Deep Fat Frying of Yam Slices. Int J Food Prop. 2008; 11(2): 379–91. DOI: https: 10.1080/10942910701409294

34. Suyatma, N E, Ulfah, K, Prangdimurti, E, Ishikawa, Y. Effect of blanching and pectin coating as pre-frying treatments to reduce acrylamide formation in banana chips. Int Food Res J. 2015; 22, (3), 936-42. URL: http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20(03)%202015/(9).pdf

35. Schiffmann R. Microwave-assisted frying. In: The Microwave Processing of Foods: Second Edition. Elsevier Inc.;2017. p. 142–51. eBook ISBN: 9780081005316 URL: https://shop.elsevier.com/books/the-microwave-processing-of-foods/regier/978-0-08-100528-6

36. Sensoy I, Sahin S, Sumnu G. Microwave Frying Compared with Conventional Frying via Numerical Simulation. Food Bioproc Tech. 2013; 6(6): 1414–9. DOI: 10.1007/s11947-012-0805-x

37. Parikh A, Takhar PS. Comparison of Microwave and Conventional Frying on Quality Attributes and Fat Content of Potatoes. J Food Sci. 2016; 81(11): E2743–55. DOI: 10.1111/1750-3841.13498

38. Ngadi MO, Wang Y, Adedeji AA, Raghavan GSV. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. LWT. 2009; 42(1): 438–40. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.06.006

39. Adedeji AA, Ngadi MO, Raghavan GSV. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. J Food Eng. 2009; 91(1): 146–53. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.08.018

40. Amiryousefi MR, Mohebbi M, Khodaiyan F. Kinetics of Mass Transfer in Microwave Precooked and Deep-Fat Fried Ostrich Meat Plates. Food Bioproc Tech. 2012; 5(3): 939–46. DOI: 10.1007/s11947-010-0373-x

41. Omidiran A T, Odukoya O J, Akinbule O O, Sobukola O P. Effect of microwave-assisted pre-drying and deep-fat-frying conditions on some quality attributes of orange fleshed sweetpotato chips. Food Chemistry Advances. 2023; 3; 100534. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100534

42. Noor Hidayati, R., Nurul Najihah, I. Norazatul Hanim, M.R. Comparison of conventional frying and microwave frying of beef patty: effect on oil absorption, texture, physical and chemical properties. Food Res. 2021; 5(3); 399–405. DOI: 10.26656/fr.2017.5(3).640

43. Matori, F. Mehrnia,M. A. Jooyandeh, H. Hojjati, M. Effects of microwave pretreatment on qualitative characteristics of French fries during deep fat frying. Iranian J Nutr Sci Food Technol. 2023; 18 (2) :75-88. [Persian] URL: http://nsft.sbmu.ac.ir/article-1-3621-en.html

44. Xu Zhou a, Shuang Zhang a, Zhongwei Tang a, Juming Tang a, Pawan S. Takhar b. Microwave frying and post-frying of French fries. Food Res Int. 2022; 159: 111663. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111663

45. Zhang J, Xie T, Fan L. Improving the quality and reducing oil absorption of fried potato chips by ultrasound pretreatment. LWT. 2021; 148(10): 111763. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111763

46. Su Y, Zhang M, Adhikari B, Mujumdar AS, Zhang W. Improving the energy efficiency and the quality of fried products using a novel vacuum frying assisted by combined ultrasound and microwave technology. Innov Food Sci Emerg Technol. 2018; 50: 148–59. DOI: 10.1016/j.ifset.2018.10.011

47. Qiu L, Zhang M, Wang Y, Bhandari B. Effects of ultrasound pretreatments on the quality of fried sweet potato (Ipomea batatas) chips during microwave-assisted vacuum frying. J Food Process Eng. 2018; 41(8): e12879. DOI: 10.1111/jfpe.12879

48. Oladejo AO, Ma H, Qu W, Zhou C, Wu B, Yang X, et al. Effects of ultrasound pretreatments on the kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of sweet potato (Ipomea batatas). Innov Food Sci Emerg Technol. 2017; 43: 7-17. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.07.019

49. Dehghannya J, Naghavi EA, Ghanbarzadeh B. Frying of Potato Strips Pretreated by Ultrasound-Assisted Air-Drying. J Food Process Preserv. 2016; 40(4): 583–92. DOI: 10.1111/jfpp.12636

50. Zhang J, Yu P, Fan L, Sun Y. Effects of ultrasound treatment on the starch properties and oil absorption of potato chips. Ultrason Sonochem. 2021; 70: 105347. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105347

51. Dehghannya J, Abedpour L. Influence of a three stage hybrid ultrasound–osmotic–frying process on production of low-fat fried potato strips. J Sci Food Agric. 2018; 98(4): 1485–91. DOI: 10.1002/jsfa.8617

52. Mohammadalinejhad S, Dehghannya J. Effects of ultrasound frequency and application time prior to deep-fat frying on quality aspects of fried potato strips. Innov Food Sci Emerg Technol. 2018; 47: 493–503. DOI: 10.1016/j.ifset.2018.05.001

53. Oloruntoba D, Ampofo J, Ngadi M. Effect of ultrasound pretreated hydrocolloid batters on quality attributes of fried chicken nuggets during post-fry holding. Ultrason Sonochem. 2022; 91: 106237. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106237