

ارزیابی تاثیر دما، زمان سرخ کردن و افزودن آرد عدس به فرمولاسیون خمیرابه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفی پوسته سرخ شده به روش سیستم مدل پوسته (DFCM)

بهداد شکرالهی یانچشمه¹ - محبت محبی² - مهدی وریدی³ - الهام انصاری فر⁴

تاریخ دریافت: 1392/2/3

تاریخ پذیرش: 1392/12/26

چکیده

در دهه های اخیر در دهه های اخیر با گسترش زندگی صنعتی، مصرف غذاهای آماده و سرخ شده، افزایش چشمگیری یافته است. مصرف بیش از حد روغن به ویژه چربی های اشباع و اسیدهای چرب ترانس، یکی از فاکتورهای مهمی است که سلامت انسان را به خطر می اندازد و احتمال ابتلا به بیماری های قلبی، افزایش وزن، سرطان ها و دیابت را تشدید می کند. از این رو به کارگیری روش هایی برای کاهش جذب روغن، ضمن حفظ ویژگی های مطلوب امری ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش تاثیر جایگزینی آرد عدس با آرد گندم در فرمولاسیون خمیرابه (در سه سطح 10، 25 و 50%) بر ویژگی های رئولوژیکی خمیرابه، میزان محتوی رطوبت و روغن، ویژگی های رنگ پوسته سرخ شده به روش سیستم مدل در سه دمای 140، 160 و 180 درجه سانتی گراد و زمان های 90، 180، 270 و 360 ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش نسبت آرد عدس در خمیرابه، ضریب قوام روند افزایشی نشان داد. علاوه بر این، همه انواع خمیرابه، رفتار ضعیف شوندگی با برش از خود نشان دادند. نتایج حاصل نشان داد فرمولاسیون خمیرابه، دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن اثر معنی داری را بر میزان رطوبت، جذب روغن و خصوصیات رنگی پوسته های سرخ شده داشتند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان سرخ کردن محتوی رطوبت کاهش ولی میزان روغن افزایش می یابد. همچنین با افزایش درصد جایگزینی آرد عدس خروج رطوبت کاهش می یابد و در نتیجه از میزان جذب روغن نیز کاسته می شود. بیشترین میزان جذب روغن در نمونه شاهد و کمترین میزان آن در نمونه های حاوی 50٪ آرد عدس مشاهده شد. همچنین با افزایش زمان سرخ کردن و افزایش درصد جایگزینی آرد عدس، مقدار پارامتر L^* کاهش و مقدار پارامتر a^* و b^* افزایش نشان داد. در مورد اثر دما نیز، افزایش دما منجر به افزایش خروج رطوبت و افزایش مقدار روغن گردید. افزایش دما همانند زمان سرخ کردن تاثیر مشابهی بر پارامترهای رنگی داشت.

واژه های کلیدی: خمیرابه، سیستم مدل پوسته، آرد عدس، کاهش جذب روغن

مقدمه

شیوع بیماری های قلبی و عروقی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از این رو به کارگیری روش هایی برای کاهش جذب روغن، ضمن حفظ ویژگی های مطلوب امری ضروری به نظر می رسد (Oztop *et al.*, 2007; Ziiaifar *et al.*, 2008; Troncoso & Pedreschi., 2009). یکی از مناسب ترین روش ها برای کاهش جذب روغن در محصولات سرخ کردنی، استفاده از پوشش های خوراکی و خمیرابه قبل از سرخ کردن محصول برای به دام انداختن آب و تشکیل فیلم های مانع، به منظور کاهش خروج رطوبت و متعاقب آن کاهش جذب روغن می باشد (Fizman & Salvador., 2003; Sahin & Salvador., 2003; Sumnu., 2009; soorgi *et al.*, 2011). ترکیب تشکیل دهنده خمیرابه بر ویژگی هایی نظیر ویسکوزیته خمیرابه، میزان جذب پوشش، مقدار از دست دادن رطوبت، میزان جذب روغن و کیفیت محصول نهایی مؤثر می باشد (Dogan *et al.*, 2005b; Dehghan *et al.*, 2010). Nasiri *et al.*, 2010).

فرآیند سرخ کردن به دلیل سرعت بالای آن و همچنین ویژگی های خاص محصولات سرخ کردنی از جمله احساس دهانی مطلوب (پوسته ترد و بخش آبدار مرکزی)، طعم مطلوب و داشتن بافت مناسب و پوسته طلایی رنگ، به یکی از عمده ترین روش های فراوری مواد غذایی در منزل و صنعت تبدیل شده است (Mellema., 2003). اصلی ترین مشکل در ارتباط با غذاهای سرخ کردنی، افزایش میزان روغن محصول در حین سرخ کردن می باشد. بنابراین از دیدگاه تغذیه ای جذب روغن در محصولات سرخ شده به عنوان یک عامل اصلی در

1. 3 و 4- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار و دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: mohebbatm@gmail.com)

(Ansarifar *et al.*, 2012).

بنابراین در این پژوهش تأثیر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه (جایگزینی بخشی از آرد گندم با آرد عدس با نسبت‌های 10، 25 و 50%) بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرابه و در طی سرخ کردن در دماهای 140، 160 و 180 درجه سانتی‌گراد، بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی (میزان جذب روغن، خروج رطوبت و رنگ) پوسته تولیدی به روش DFCM مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده سازی خمیرابه

مواد اولیه‌ی مورد استفاده در این پژوهش شامل آرد گندم، مواد طعم دهنده و روغن آفتابگردان (تولید شرکت نینا، ایران) از فروشگاه‌های محلی شهر مشهد تهیه گردید. آرد عدس از مرکز تحقیقات کشاورزی شیروان فراهم شد. اجزای تشکیل‌دهنده خمیرابه شامل آرد گندم (90/8 درصد وزنی/وزنی)، بکینگ پودر (3/1 درصد وزنی/وزنی)، فلفل (0/6 درصد وزنی/وزنی) و نمک (5/5 درصد وزنی/وزنی) بود. علاوه بر این به منظور بررسی تأثیر آرد عدس بر پارامترهای کیفی پوسته سرخ شده، میزان (10، 25، 50 درصد) جایگزین همان مقدار آرد گندم شد. آماده‌سازی خمیرابه با مخلوط کردن مواد خشک با آب 20 درجه سانتی‌گراد به نسبت 1: 1/2 (وزنی/وزنی) با استفاده از هم زن (مولینکس) به مدت 2 دقیقه به منظور اطمینان از اختلاط کامل ترکیبات صورت گرفت. ویژگی‌های شیمیایی آردهای مورد استفاده از لحاظ میزان رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر مطابق با استاندارد AOAC (1984) تعیین گردید.

شبیه سازی پوسته با استفاده از سیستم مدل سرخ کردن عمیق

پوسته‌ها به وسیله سیستم مدل سرخ کردن عمیق آماده شدند (Visser *et al.*, 2008; Ansarifar *et al.*, 2012). این سیستم عبارت است از یک وسیله استیل ضد زنگ که دارای دو کاپ به قطر 54 میلی‌متر و حجم 28 میلی‌لیتر می‌باشد که در روی هر کاپ تور سیمی با قطر مش 0/18 میلی‌متر قرار می‌گیرد. تور سیمی با تفلون پوشیده شده تا از چسبیدن پوسته به تور سیمی در طی سرخ کردن جلوگیری شود، اندازه مش کوچک و پوشش تفلون از نفوذ خمیرابه به داخل کاپ جلوگیری می‌کند. حلقه‌های استیل بر روی تور سیمی قرار می‌گیرد تا یک مخزن برای خمیرابه فراهم گردد (شکل 1). از آنجا که بخارهای حاصل از هسته ماده غذایی تأثیر مستقیمی بر میزان رطوبت، روغن و تخلخل پوسته دارد (Dana & Saguy, 2006)، حضور یک هسته برای شبیه‌سازی شکل‌گیری پوسته یک محصول واقعی در سیستم مدل ضروری می‌باشد. بدین منظور از 5 گرم پودر

Dogan و همکاران (2005a) گزارش کردند که افزودن آرد سویا به فرمولاسیون خمیرابه ناگت مرغ جذب روغن را طی سرخ کردن کاهش می‌دهد. به گزارش Lee & Inglett (2006) افزودن آرد جو به خمیرابه باعث افزایش جذب و ویسکوزیته‌ی خمیرابه شده، کاهش معنی‌داری را در حذف رطوبت و جذب روغن در محصولات پوشش دار سرخ‌شده ایجاد می‌کند. Dehghan-Nasiri و همکاران (2010) نیز تأثیر اضافه کردن آرد سویا (10 درصد وزنی/وزنی) و آرد ذرت (5 درصد وزنی/وزنی) به فرمولاسیون خمیرابه ناگت میگوی سرخ شده به روش عمیق را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آرد سویا به طور موثری باعث کاهش جذب روغن ناگت میگو شد. همچنین خمیرابه‌های حاوی 5 درصد آرد ذرت، کمترین میزان رطوبت و بالاترین جذب روغن را در مقایسه با سایر فرمول‌ها داشتند.

اختلاط یا جایگزینی آرد گندم با آرد حبوبات نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین (38-17/1 درصد)، تأثیر متفاوتی بر خروج رطوبت و جذب روغن خواهد داشت. علاوه بر آن، به دلیل وجود اسیدهای آمینه مکمل در آرد حبوبات، ترکیب آنها با غلات باعث افزایش ارزش غذایی می‌گردد (Bakar & Hin., 1985; Gonzalez., 1991). محققانی دیگر نیز به بررسی تأثیر اضافه کردن آرد سویا، برنج و ذرت بر ویژگی‌های رئولوژیکی و کیفی (میزان چسبندگی خمیرابه، میزان رطوبت و روغن، بافت، رنگ و تخلخل) خمیرابه و نمونه‌های سرخ شده پرداختند (Xue *et al.*, 2006; Barutcu *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009). ولی بررسی منابع موجود حاکی از آن است که مطالعه اندکی در خصوص تأثیر افزودن آرد حبوبات بر پارامترهای کیفی خمیرابه و در نهایت ویژگی‌های محصول سرخ شده صورت گرفته است.

خصوصیات پوسته‌ی محصولات سرخ‌کردنی نقش بسزایی در ویژگی‌های کیفی و پذیرش محصول دارد، به طوری‌که روغن جذب شده در محصولات سرخ‌کردنی عمدتاً تمایل به جذب شدن در خلل و فرج و گوشه‌های پوسته محصول را دارند (Ansarifar *et al.*, 2012). لذا شناخت فرایند تولید پوسته طی سرخ کردن و ویژگی‌های پوسته سرخ شده حائز اهمیت است اما ویژگی‌های متفاوت هسته (رطوبت، تخلخل و زبری سطحی) و چسبندگی متفاوت خمیرابه به هسته موجب شده است که امکان تکرارپذیر بودن تولید محصول سرخ شده در شرایط یکسان کاهش یابد. برای حل این مشکلات سیستم مدل پوسته در طی سرخ کردن¹ (DFCM) برای ساخت سریع پوسته سرخ شده مطرح شد که از مزایای اصلی این مدل می‌توان به تکرارپذیری تولید پوسته، سهولت در جداسازی پوسته از هسته، استفاده از هسته‌ها و خمیرابه‌های متفاوت، صرف هزینه کمتر برای آماده‌سازی مواد مورد نیاز اشاره کرد (Visser *et al.*, 2008;

دادن در آون است.

مقدار روغن

اندازه گیری میزان روغن نمونه های سرخ شده مطابق با استاندارد AOAC (1990) به روش سوکسله با استفاده از حلال پترولیوم اتر (Scharlau, ET 0091) به مدت 6 ساعت انجام شد. میزان روغن نیز بر مبنای وزن خشک از رابطه ذیل محاسبه گردید.

$$FC (db) = \frac{FC_1 - FC_2}{FC_1} \quad (2)$$

که در این رابطه FC_1 و FC_2 به ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از سوکسله گذاری هستند

اندازه گیری خصوصیت جذب آب و چربی آرد

برای اندازه گیری قدرت جذب آب و چربی آرد از روش Kaur و همکاران (2007) با اندکی تغییرات استفاده شد. به یک گرم نمونه، 10 میلی لیتر آب و یا روغن ذرت افزوده شده، به مدت 30 دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت تا به تعادل برسد. سپس به مدت 20 دقیقه در 3000g سانتریفیوژ شد. بخش مایع فوقانی دور ریخته شد و لوله‌ها به مدت چند دقیقه برای اطمینان از تخلیه کامل آب واژگون نگه داشته شدند و مجدداً توزین گردیدند. ظرفیت پیوند با آب به صورت گرم آب جذب شده به ازای یک گرم نمونه و ظرفیت پیوند با چربی به صورت گرم روغن پیوند شده با یک گرم نمونه آرد گزارش گردید.

تصویرگیری و پردازش تصاویر

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر پارامترهای رنگی و تغییرات رنگ سطح نمونه‌های سرخ شده به صورت ذیل عمل شد (Ansarifar *et al.*, 2012).

الف) سیستم پردازش تصویر: پوسته های سرخ شده، پس از حذف روغن سطحی تا دمای اتاق سرد شدند. برای تصویرگیری، از دوربین دیجیتال (Canon EOS 1000D, Taiwan) استفاده شد. در این روش تصویر گیری جهت نورپردازی یکنواخت، نیازمند به محفظه تاریک می باشد. در این محفظه تاریک که اتاقکی چوبی با دیواره های سیاه رنگ است 4 لامپ فلورسنت (Opple, model: MX396-Y82) 8 وات به طول 60 سانتی متر، پایه تثبیت کننده و دوربین تعبیه شده است. لامپ ها در فاصله 45 سانتی متری بالای نمونه و برای جلوگیری از بازتابش نور با زاویه 45 درجه نسبت به آن نصب شده بودند. نمونه‌ها روی صفحه سفیدی قرار گرفتند و دوربین در فاصله 25 سانتی متری از سطح نمونه و با زاویه 45 درجه نسبت به لامپ‌های درون اتاقک بر روی پایه تثبیت گردید. تمامی تصاویر در حالی گرفته شد که تنظیمات عدسی در حالت دستی، با فاصله کانونی 35 میلی متر و سرعت یک هشتم تنظیم شده بود. در نهایت تصاویر

(رطوبت آن به آسانی قابل تنظیم است و از آنجا که خنثی است در طی سرخ کردن با روغن و ترکیبات خمیرابه واکنش نمی‌دهد) در هر کاپ استفاده شد. کل سیستم در روغن سرخ کن غوطه‌ور می‌گردد. سرخ کردن در یک دستگاه سرخ‌کن عمیق (Black & Decker, Type 01) با ظرفیت دو لیتر و دماهای 140، 160 و 180 درجه سانتی‌گراد در زمان‌های 1/5، 3، 4/5 و 6 دقیقه انجام شد. بعد از گذشت زمان‌های مذکور، سیستم مدل از سرخ کن خارج و در دمای اتاق به مدت 15 دقیقه قرار داده شد، سپس پوسته برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی از دستگاه جدا گردید.



شکل 1- تصویر دستگاه شبیه ساز پوسته

ویژگی های رئولوژیکی خمیرابه

ویژگی‌های جریان فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه، با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin Model Visco 88, Bohlin Instruments, UK) در دمای 25 درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. اسپیندل‌های¹ مناسب (C30، C25، C14) بر اساس ویسکوزیته‌ی ظاهری نمونه‌ها انتخاب گردید. درجه ی برشی به صورت لگاریتمی از 14/2 تا 400 (S⁻¹) افزایش یافت. رفتار رئولوژیکی خمیرابه بر اساس برزش داده‌ها (درجه ی برش - نیروی برشی) با مدل مناسب توصیف گردید.

اندازه گیری خصوصیات فیزیکو شیمیایی پوسته سرخ شده

مقدار رطوبت

اندازه گیری میزان رطوبت نمونه های سرخ شده مطابق با استاندارد AOAC (1984) با خشک کردن نمونه‌ها در آون استاندارد (Memmert, 154 Beschickung-loading, Model 100-800) دمای 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت تا رسیدن به وزن ثابت انجام گرفت. نمونه‌ها پس از خروج از آون داخل دسیکاتور سرد شدند و میزان رطوبت بر مبنای وزن خشک از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$MC (db) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \quad (1)$$

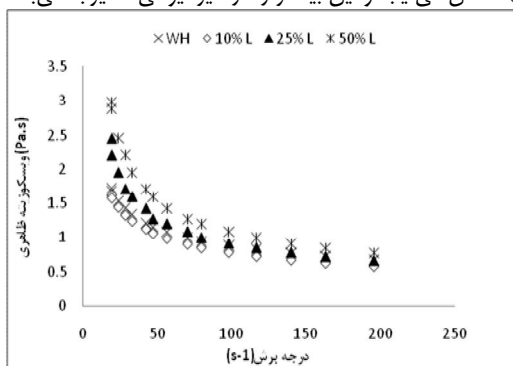
که در این رابطه M_1 و M_2 وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرار

1 - Spindles, C14, C25& C30

چسبندگی خمیرابه، ظاهر و بافت و محتوای رطوبت و روغن محصول نهایی موثر است (Dogan et al., 2005b; Chen et al., 2009)، اما ویسکوزیته سیال باید در محدوده‌ای مشخص قرار گیرد. یک خمیرابه نازک و غیرویسکوز باعث آزاد شدن مقدار زیادی آب طی فرایند سرخ شدن می‌گردد، همچنین ضمن ایجاد پوششی متخلخل باعث افزایش جذب روغن طی فرایند سرخ شدن می‌شود. خمیرابه‌ها با ویسکوزیته بالا نیز منجر به ایجاد لایه‌ای ضخیم روی سطح محصول می‌شوند که باعث عدم پخت کافی، عدم تردی و تشکیل پوسته‌ای ناهموار و غیریکنواخت در سطح محصول می‌شود (Fizman & Salvador et al., 2003). آب آزاد نقش مهمی در میزان ویسکوزیته‌ی ظاهری خمیرابه دارد و ویسکوزیته‌ی ظاهری بالاتر در نتیجه‌ی میزان آب آزاد کمتر ایجاد می‌شود (Dehghan-Nasiri et al., 2010).

در بسیاری از موارد بین ویسکوزیته خمیرابه و مقدار چسبندگی آن به سطح ماده غذایی، رابطه مستقیم وجود دارد. به طور کلی با افزایش ویسکوزیته، میزان چسبندگی خمیرابه به سوبسترا افزایش می‌یابد. Sahin & Sumnu (2009) و Dehghan-Nasiri و همکاران (2010) عنوان نمودند که رابطه‌ی مستقیم بین ضریب قوام سیال و میزان جذب خمیرابه وجود دارد زیرا جذب مقدار قابل توجهی از مولکول‌های آب، منجر به افزایش ویسکوزیته و جذب خمیرابه توسط نمونه می‌گردد. علاوه بر آن، با افزایش ضریب قوام خمیرابه، ضخامت پوسته‌ی تشکیل شده روی هسته بیشتر می‌گردد و از خروج رطوبت مانع می‌کند. در نتیجه با کاهش میزان حذف رطوبت به طور معنی داری جذب روغن کاهش می‌یابد.

همان طور که در شکل (2) نشان داده شده است، ویسکوزیته‌ی ظاهری در فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه با افزایش درجه برش (s^{-1}) کاهش می‌یابد و این بیانگر رفتار غیر نیوتنی خمیرابه می‌باشد



شکل 2 - تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در درجه برش‌های مختلف. WH: خمیرابه حاوی آرد گندم، 10%L: خمیرابه حاوی 10% آرد عدس و 90% آرد گندم، 25%L: خمیرابه حاوی 25% آرد عدس و 75% آرد گندم، 50%L: خمیرابه حاوی 50% آرد عدس و 75% آرد گندم از آنجا که بسیاری از خمیرابه‌ها رفتارهای ضعیف شونده‌ی با

با فرمت JPEG ذخیره شدند.

ب) پیش پردازش تصاویر: تقطیع تصاویر (جدا نمودن تصویر حقیقی نمونه‌های پوسته از پس زمینه) با استفاده از نرم افزار فتوشاپ (Adobe, v.8.0) صورت گرفت و عکس‌ها به فرمت bmp ذخیره شدند.

ج) تغییر فضای رنگی از RGB به $L^*a^*b^*$: از آنجا که پارامترهای رنگی $L^*a^*b^*$ وابسته به ابزار اندازه‌گیری نبوده، بدون توجه به خروجی یا ورودی، رنگ یکنواختی را فراهم می‌کند، تصاویر به دست آمده به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ تبدیل شدند. در این مطالعه، آنالیز تصویر با استفاده از نرم افزار ایمج جی (ImageJ) نسخه 1.43r انجام شد. تغییرات کلی رنگ (ΔE) با استفاده از فرمول 3 محاسبه شد:

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (3)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به منظور بررسی اثر فرمولاسیون خمیرابه، دما و زمان سرخ کردن بر ویژگی‌های کیفی پوسته‌های مدل سرخ شده استفاده شد. آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار اسپ‌اس‌اس¹ نسخه 16 انجام گرفت. در صورت معنی دار بودن اثر تیمارها، مقایسه‌ی میانگین با استفاده از آزمون دانکن انجام شد ($P < 0/05$). برای رسم نمودارها از نرم افزار میکروسافت اکسل (2007) استفاده گردید. آزمایش‌ها با سه بار تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خصوصیات شیمیایی آردهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول 1 آورده شده است.

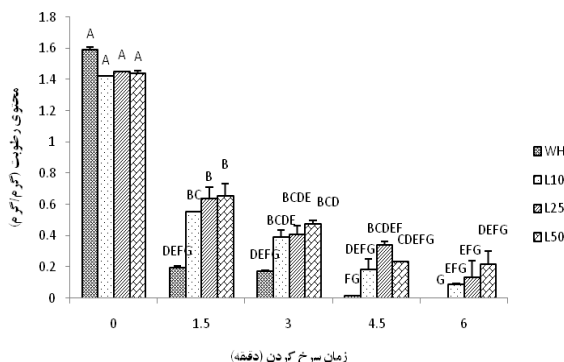
جدول 1- خصوصیات شیمیایی آردهای مورد استفاده در این پژوهش

نوع آرد	آرد گندم	آرد عدس
رطوبت (%)	11/67	10/52
پروتئین (%)	10/13	31/02
خاکستر (%)	0/96	1/48
چربی (%)	3/12	5/43
ظرفیت جذب آب (گرم/گرم)	1/072	1/522
ظرفیت جذب چربی (گرم/گرم)	0/726	0/642

ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرابه

بطور کلی، ویسکوزیته خمیرابه یک ویژگی کلیدی در کیفیت فرآورده‌های روکش شده با خمیرابه است و بر کمیت و کیفیت جذب و

دهقان نصیری و همکاران، (2007; Adedeji et al., 2009) (1389).



شکل 3- تاثیر زمان و فرمولاسیون بر محتوی رطوبت پوسته مدل در دمای 180 درجه سانتی‌گراد.

WH: خمیرابه حاوی آرد گندم، L10%: خمیرابه حاوی 10% آرد عدس و 90% آرد گندم، L25%: خمیرابه حاوی 25% آرد عدس و 75% آرد گندم، L50%: خمیرابه حاوی 50% آرد عدس و 75% آرد گندم

نتایج نشان داد در بین نمونه‌های مختلف، بیشترین افت رطوبت در نمونه شاهد و کمترین میزان افت رطوبت در پوسته‌های حاوی 50% آرد عدس، بدست آمد که دلیل این امر احتمالاً ناشی از ظرفیت نگهداری و اتصال آب بالای پروتئین‌های موجود در آرد عدس است که سبب می‌شود طی دوره سرخ کردن رطوبت کمتری از ماده غذایی خارج شود. همچنین این امر می‌تواند ناشی از قابلیت تشکیل اتصالات عرضی بین اسیدهای آمینه موجود در پروتئین‌های عدس و در نتیجه افزایش حفظ رطوبت در طول زمان سرخ کردن باشد. علاوه بر آن با افزایش درصد آرد عدس به فرمولاسیون خمیرابه، ضریب قوام خمیرابه افزایش یافت، این امر موجب شد ضخامت پوسته‌ی تشکیل شده بیشتر از سایر خمیرابه‌ها باشد و در نتیجه از خروج رطوبت بطور مؤثرتری ممانعت کند. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط ذوالفقاری و همکاران (1389) و دهقان نصیری و همکاران (1389) مطابقت داشت.

جدول 3- مقایسه اثر دمای سرخ کردن در میانگین زمان های سرخ کردن بر میزان روغن و رطوبت و پارامترهای رنگی پوسته مدل سرخ شده به روش عمیق

L*	b*	a*	محتوی رطوبت (گرم/گرم)	محتوی روغن (گرم/گرم)	دمای سرخ کردن
-9/25 ^c	41/67 ^c	84/51 ^a	0/158 ^b	0/781 ^a	140
-7/29 ^b	44/75 ^b	84/68 ^a	0/176 ^a	0/640 ^b	160
-4/53 ^a	45/86 ^a	81/28 ^b	0/179 ^a	0/531 ^c	180

برش، وابسته به زمان و تیکسوتروپ نشان می‌دهند، قانون توان بهترین مدل برای برازش خصوصیات رئولوژیکی خمیرابه‌ها می‌باشد (Ngadi et al., 2007; Dehghan-Nasiri et al., 2010).

نتایج بدست آمده برای تنش برشی در مقابل درجه‌ی برشی نمونه‌های مختلف، در دمای مورد مطالعه، به خوبی با استفاده از مدل قانون توان¹، برازش شدند.

$$\mu_a = k \gamma^{n-1} \quad (4)$$

مقادیر ضریب قوام سیال (k) و شاخص رفتار جریان (n)، در جدول (2) نشان داده شده است. شاخص قانون توان و یا رفتار جریان در همه‌ی انواع خمیرابه کوچک تر از یک می‌باشد و این نشان دهنده‌ی رفتار ضعیف شونگی با برش نمونه‌های مورد بررسی می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول (2) مشاهده می‌شود، در خمیرابه‌های حاوی مخلوط آرد گندم و عدس، افزایش نسبت آرد عدس باعث افزایش ویسکوزیته‌ی ظاهری می‌شود، زیرا با توجه به محتوای بالای پروتئین در آرد عدس در مقایسه با آرد گندم، خمیرابه‌های حاوی آرد عدس توانایی جذب آب بالاتری دارند و این امر موجب کاهش میزان آب آزاد در فرمولاسیون خمیرابه می‌شود، بنابراین، افزایش نسبت آرد عدس در فرمولاسیون خمیرابه، باعث افزایش شاخص قوام می‌گردد

جدول 2- اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر پارامترهای قانون توان

فرمولاسیون	K (pa.s ⁿ)	n	ضریب تبیین
WH	5/295 ^d	0/604 ^b	0/999
10% L	5/109 ^c	0/596 ^c	0/998
25% L	7/447 ^b	0/625 ^a	0/999
50% L	9/925 ^a	0/603 ^b	0/999

WH: خمیرابه حاوی آرد گندم، L10%: خمیرابه حاوی 10% آرد عدس و 90% آرد گندم، L25%: خمیرابه حاوی 25% آرد عدس و 75% آرد گندم، L50%: خمیرابه حاوی 50% آرد عدس و 75% آرد گندم

افت رطوبت

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که فرمولاسیون خمیرابه، دما و زمان سرخ کردن بر محتوای رطوبت پوسته‌های سرخ شده اثر معنی‌دار ($p < 0/01$) دارند. همانطور در شکل (3) مشاهده می‌شود با افزایش زمان سرخ کردن میزان رطوبت نمونه‌ها کاهش یافت، این روند کاهش در دقیقه‌های ابتدایی سرخ کردن سریع‌تر است که این امر به دلیل حذف رطوبت سطحی نمونه‌ها می‌باشد. این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط بسیاری از محققان مطابقت داشت (Ngadi et al., 2007; Dehghan-Nasiri et al., 2010).

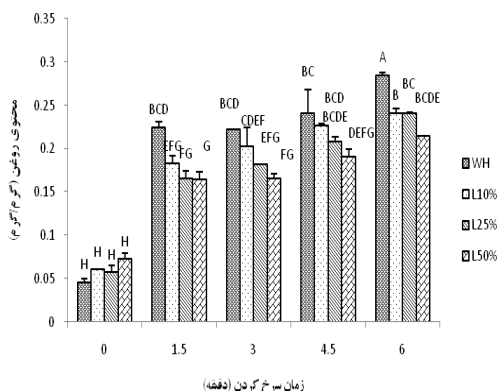
جذب روغن

آنالیز واریانس آنالیز واریانس نشان می‌دهد که فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه، دما، زمان سرخ کردن و اثرات متقابل آن‌ها بر محتوای روغن پوسته‌های سرخ شده به روش سیستم مدل، اثر معنی‌دار ($p < 0/05$) دارند. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که جذب روغن در فرآیند سرخ کردن یک پدیده سطحی است. هنگامی که آب ماد غذایی تبخیر می‌شود، روغن جایگزین آن می‌شود، بنابراین مقدار رطوبت یک فاکتور مهم در تعیین میزان جذب روغن در فرآیند سرخ کردن عمیق است (Mellema, 2003; Akdeniz et al., 2006; Mir-Bel et al., 2009). بنابراین هرچه مقدار افت رطوبت در محصول نهایی بیشتر باشد، جذب روغن بیشتر است (Mellema, 2003; Akdeniz et al., 2006; Dehghan-Nasiri, 2010).

همانطور که در شکل (3) مشاهده می‌شود میزان روغن با افزایش زمان دوره سرخ کردن افزایش می‌یابد زیرا هنگامی که ماده غذایی وارد روغن می‌شود رطوبت به سرعت از ماده غذایی خارج شده و این پدیده با ورود روغن به ماده غذایی همراه است که هرچه زمان سرخ کردن بیشتر باشد رطوبت بیشتری از محصول خارج شده در نتیجه فضاهای خالی در محصول که از تبخیر آب از درون ماده غذایی ایجاد می‌شود افزایش یافته، و بر اثر سرد شدن و ایجاد خلا، روغن بیشتری از طریق همین منافذ وارد ماده غذایی می‌گردد (Funami et al., 1999; Tan & Mittal., 2006).

با وجود این که مطالعات بسیاری در زمینه‌ی اثر دمای سرخ کردن بر محتوای روغن انجام گرفته است، اما در مورد تأثیر دما بر محتوای روغن نتایج مختلفی وجود دارد. Troncoso & Pedreschi (2009) و Duran و همکاران (2007) گزارش کردند که با افزایش دمای سرخ کردن محتوای روغن کاهش می‌یابد ولی Miranda & Aguilera (2006) گزارش کردند که دمای سرخ کردن اثر معنی‌داری بر محتوای روغن نمونه‌ها ندارد. نتایج این تحقیق نشان داد که دمای بالا منجر به جذب روغن بیشتر در پوسته سرخ شده گردیده است. نتایج مشابهی توسط Gamble و همکاران (1987) برای خلال سیب زمینی، Moreira و همکاران (1995) برای چیپس تورتیلا، Velez-Ruiz و همکاران (2002) برای قطعات مرغ، Amiryousefi و همکاران (2010) برای قطعات گوشت شترمرغ سرخ شده و انصاری فر (1390) برای ناگت پنیر کردی گزارش شده است. می‌توان اینگونه بیان کرد که تفاوت در نتایج تحقیقات، احتمالاً به واسطه تفاوت در نوع و درصد ترکیبات تشکیل دهنده خمیرابه و در نتیجه خصوصیات خمیرابه بویژه ویسکوزیته و چسبندگی خمیرابه و نیز تفاوت در نوع هسته خواهد بود چون یکی از عوامل مهم در جذب روغن، خصوصیات سطحی و خلل و فرج موجود در سزح بوده که تابع خواص رئولوژیکی خمیرابه و خصوصیات سطحی هسته می‌باشد. از طرفی دیگر، با افزایش دما میزان خلل و فرج‌های نمونه افزایش می‌یابد، طی سرخ کردن به دلیل

دمای بالای روغن، بخشی از آب موجود در ماده غذایی تبخیر می‌شود که از مرکز ماده غذایی به سمت روغن اطراف حرکت می‌کند و منجر به ایجاد خلل و فرج‌هایی در آن می‌گردد که از طریق همین خلل و فرج‌ها روغن جذب می‌گردد. هرچه دمای سرخ کردن بالاتر باشد، خلل و فرج بوجود آمده بیشتر خواهد بود. ضمن اینکه همانطور که می‌دانیم بین خروج رطوبت و جذب روغن رابطه مستقیمی وجود دارد، بنابراین با فرض سرخ کردن یک نمونه غذایی در دماهای مختلف و یک زمان یکسان، هرچه دما بالاتر باشد خروج رطوبت بالاتر خواهد بود و در نتیجه جذب روغن بیشتر خواهد شد (Ngadi et al., 2007; Ansarifar et al., 2012).



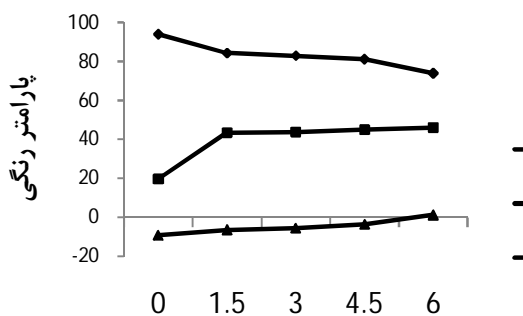
شکل 4- تاثیر زمان سرخ کردن و فرمولاسیون بر محتوای روغن مدل پوسته در دمای 180 درجه سانتی‌گراد.

WH: خمیرابه حاوی آرد گندم، L10%: خمیرابه حاوی 10% آرد عدس و 90% آرد گندم، L25%: خمیرابه حاوی 25% آرد عدس و 75% آرد گندم، L50%: خمیرابه حاوی 50% آرد عدس و 75% آرد گندم

در رابطه با اثر فرمولاسیون خمیرابه بر میزان روغن پوسته سرخ شده نیز بیشترین مقدار جذب روغن در طی فرآیند سرخ کردن عمیق در نمونه شاهد و کمترین آن در پوسته‌های حاوی 50% آرد عدس بدست آمد (شکل 4). به طور کلی مواد غذایی که افت رطوبت بالایی داشته باشند، میزان جذب روغن بالاتری خواهند داشت (Gamble et al., 1987). به نظر می‌رسد آرد عدس بدلیل ظرفیت نگهداری آب بالا و حفظ رطوبت نمونه‌ها باعث کاهش جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن شده است. به گزارش Akdeniz و همکاران (2006) ظرفیت اتصال با آب بالا در کنترل جذب روغن موثر می‌باشد. به طور کلی هر چه طی فرآیند سرخ کردن رطوبت کمتری از ماده غذایی خارج شود، جذب روغن نیز کمتر خواهد بود. این نتایج رابطه‌ی بین میزان حذف رطوبت و جذب روغن را تایید می‌کند. نتایج مشابهی توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Mellema, 2003; Salvador et al., 2005; Akdeniz et al., 2006; Ngadi et al., 2007).

علاوه بر این با توجه به اینکه آرد عدس ظرفیت جذب روغن

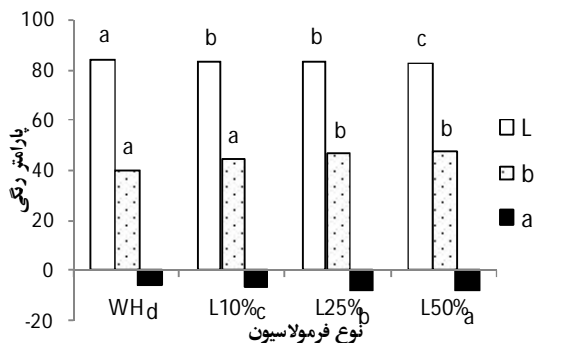
پارامتر a^* ، را داشتند (شکل 6). با افزایش دمای سرخ کردن، میزان روشنایی نمونه‌ها در زمان یکسان کاهش یافت (جدول 3). دمای روغن تأثیر منفی بر روشنایی سیب زمینی سرخ‌شده داشت (Krokida *et al.*, 2001). برای فرآورده‌های سرخ شده دیگر نظیر تופا، ناگت مرغ، گوشت خوک و دونات نیز این نتایج گزارش شده است (Morales *et al.*, 2006; Ngadi *et al.*, 2007).



شکل 5- تغییرات پارامترهای رنگ نمونه شاهد مدل پوسته سرخ شده در دمای 180 درجه سانتی گراد.

تغییرات کل رنگ سطح (ΔE)

همان طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود با افزایش زمان سرخ کردن میزان ΔE افزایش یافت. با تغییر فرمولاسیون خمیرابه تغییر رنگ کلی نیز به طور معنی‌داری تغییر داشت (جدول 4). تغییرات رنگ در محصولات سرخ شده در اثر پوشش‌دهی طی مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (انصاری فر و همکاران، 1390). پوسته‌هایی با فرمولاسیون خمیرابه حاوی 50 درصد آرد عدس، دارای بیشترین



شکل 6- تاثیر زمان سرخ کردن و فرمولاسیون بر پارامترهای رنگی مدل پوسته در دمای 180 درجه سانتی گراد.

WH: خمیرابه حاوی آرد گندم، L10%: خمیرابه حاوی 10% آرد عدس و 90% آرد گندم، L25%: خمیرابه حاوی 25% آرد عدس و 75% آرد گندم، L50%: خمیرابه حاوی 50% آرد عدس و 75% آرد گندم

کمتری نسبت به آرد گندم دارد (جدول 1)، انتظار می‌رود تمایل به جذب روغن در پوسته‌های حاوی آرد عدس نسبت به نمونه شاهد کمتر باشد. کاهش جذب روغن در نمونه‌های حاوی آرد عدس را نیز می‌توان به ویسکوزیته بالاتر خمیرابه ناشی از جایگزینی آرد گندم با آرد عدس توجیه کرد که ویسکوزیته بالاتر باعث کنترل خروج رطوبت و در نتیجه جذب روغن می‌شود (Dogan *et al.*, 2005; ذوالفقاری و همکاران، 1389).

رنگ

یکی از مهمترین فاکتورهای پذیرش محصولات سرخ‌شده، رنگ این محصولات می‌باشد. به منظور تعیین تغییرات رنگ در طول زمان سرخ کردن پارامترهای L^* (شاخص قرمزی)، a^* (شاخص قرمزی) و b^* (شاخص زردی) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه، زمان سرخ کردن و اثر متقابل بین آن‌ها بر پارامترهای رنگی پوسته‌های مدل سرخ شده معنی‌دار بودند ($P < 0/05$) (جدول 3). از ویژگی‌های منحصر به فرد غذاهای سرخ شده رنگ طلایی است که به لحاظ دیداری افزایش a^* و کاهش L^* منجر به ایجاد این رنگ می‌شود (Salvador *et al.*, 2005). همانطور که در شکل (5) برای نمونه‌های شاهد در دمای 180 درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است با افزایش زمان سرخ کردن پارامترهای L^* و b^* کاهش و a^* افزایش یافت که این روند برای سایر فرمولاسیون‌ها نیز صادق بود. این نتایج در توافق با نتایج Krokida و همکاران (2001) است. پارامتر L^* بیان‌گر میزان روشنایی در سطح محصول است و اولین پارامتر کیفی است که توسط مصرف‌کننده برای پذیرش محصول ارزیابی می‌شود. مقادیر پایین L^* نشان‌دهنده تیرگی رنگ است و با واکنش مایلارد همبستگی دارد (دهقان نصیری، 1389; Albert *et al.*, 2009). روشن‌ترین رنگ در تمامی زمان‌ها در نمونه شاهد و تیره‌ترین رنگ در نمونه‌های حاوی 50 درصد آرد عدس مشاهده شد (شکل 6). این امر را می‌توان ناشی از مقدار بالاتر پروتئین در فرمولاسیون و در نتیجه حضور بیشتر گروه‌های آمینواسید و واکنش بیشتر با گروه‌های کربوهیدراتی دانست که باعث می‌شود واکنش مایلارد با شدت بیشتری رخ دهد که این نتایج، با نتایج بدست آمده توسط دوگان و همکاران (2005) مطابقت داشت. بنابراین با افزایش درصد جایگزینی آرد عدس در فرمولاسیون خمیرابه، فاکتور روشنی بیشتر کاهش پیدا کرد. افزایش فاکتور قرمزی یک پدیده نامطلوب در محصولات سرخ شده است و بازارپسندی این محصولات را کاهش می‌دهد. افزایش چشم‌گیر پارامتر a^* طی فرآیند سرخ کردن ناشی از واکنش مایلارد می‌باشد (Mariscal & Bouchon., 2008; Chen *et al.*, 2009). همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی 50 درصد آرد عدس بیشترین میزان پارامتر a^* و نمونه‌های شاهد کمترین مقدار

کاهش خروج رطوبت طی فرآیند سرخ کردن در نهایت کاهش جذب روغن شده است. در بین فرمولاسیون‌های مختلف، نمونه شاهد بیشترین میزان افت رطوبت و جذب روغن را داشت و نمونه حاوی 50٪ آرد عدس، کمترین میزان افت رطوبت و جذب روغن را از خود نشان داد.

پارامترهای L^* ، a^* و b^* برای تعیین تغییرات رنگ طی دوره‌ی سرخ کردن مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه، زمان و دمای سرخ کردن و اثر آن‌ها در سطح 95 درصد معنی‌دار بودند. با افزایش زمان سرخ کردن و افزایش درصد جایگزینی آرد عدس، مقدار پارامتر L^* کاهش و مقدار پارامتر a^* و b^* افزایش نشان داد.

میزان ΔE بودند. افزایش در مقدار ΔE را که با تیره شدن رنگ سطح پوسته همراه است، می‌توان به واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی از جمله واکنش میلارد نسبت داد. دمای بالا و میزان رطوبت کمتر سطح نمونه در حین تشکیل شدن پوسته، نقش اساسی در این واکنش دارد. تشکیل پیگمان‌های رنگی مختلف مثل ملانوییدین‌ها نتیجه واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی است (امیریوسفی و همکاران، 1389).

نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر استفاده از جایگزینی آرد عدس (در 3 سطح 10٪، 25٪ و 50٪)، دما و زمان سرخ کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کیفی پوسته سرخ شده به روش سیستم مدل بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از آرد عدس در فرمولاسیون خمیرابه میزان جذب روغن را کاهش می‌دهد. احتمالاً آرد عدس با افزایش ظرفیت اتصال با آب خمیرابه سبب

جدول 4- تأثیر زمان سرخ کردن و فرمولاسیون بر تغییرات کلی رنگ در دمای 180 درجه سانتی گراد.

فرمولاسیون	زمان سرخ کردن (دقیقه)			
	1/5	3	4/5	6
WH	25/83 ± 0/07 ^I	26/76 ± 0/06 ^F	28/95 ± 0/16 ^E	34/73 ± 0/21 ^C
L 10%	21/13 ± 0/08 ^J	26/09 ± 0/19 ^F	30/85 ± 0/06 ^E	34/51 ± 0/26 ^B
L 25%	20/58 ± 0/45 ^H	23/68 ± 0/01 ^F	26/26 ± 0/07 ^E	34/12 ± 0/10 ^B
L 50%	19/07 ± 0/04 ^G	23/66 ± 0/13 ^E	26/15 ± 0/07 ^D	33/85 ± 0/23 ^A

WH خمیرابه حاوی آرد گندم، L10%: خمیرابه حاوی 10% آرد عدس و 90% آرد گندم، L25%: خمیرابه حاوی 25% آرد عدس و 75% آرد گندم، L50%: خمیرابه حاوی 50% آرد عدس و 75% آرد گندم

منابع

- امیریوسفی، م.ر. 1389. بررسی کینتیک انتقال جرم، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بعد برخالی فیله گوشت شترمرغ سرخ شده به روش عمیق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- انصاری فر، ا. 1390. ارزیابی اثر پوشش کیتوزان و سفیده تخم مرغ بر کینتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ناگت پنیر کردی سرخ شده به روش عمیق و شبیه سازی با استفاده از مدل پوسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- دهقان نصیری، ف. 1389. ارزیابی تأثیر فرمولاسیون و روش آماده سازی بر کینتیک انتقال جرم، کیفیت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ناگت میگو سرخ شده به روش عمیق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ذوالفقاری، ز. 1389. بررسی تأثیر فرمولاسیون و پیش تیمارهای سرخ کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات سرخ شده به روش عمیق و کاربرد منطق فازی در ارزیابی ویژگی‌های حسی محصول. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Adedeji, A. A., Ngadi, M. O. and Raghavan, G. S. V. 2009. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep fat fried chicken nugget. *Journal of Food Engineering*, 91: 146-153.
- Akdeniz, N., Sahin, S., and Sumnu, G. 2006. Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75: 522-526.
- Albert, A., Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S. M. 2009. Improvement of crunchiness of battered fish nuggets. *European Food Research Technology*, 228: 923-930.

- Amiryousefi, M.R., Mohebbi, M., and Khodaiyan, F. 2010. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried ostrich meat plates. *Food and Bioprocess Technology*, DOI: 10.1007/s11947-010-0373-x.
- Ansarifar, A. Mohebbi, M. Shahidi, F. 2012. Studying Some Physicochemical Characteristics of Crust Coated with White Egg and Chitosan Using a Deep-Fried Model System. *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 3: 685-692
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*,” Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*,” 14th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- Bakar, J., & Hin, Y. S. 1985. High-protein rice-soya breakfast cereal. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8(3-4): 163-174.
- Barutcu, I., Sahin, S., and Sumnu, G. 2009. Effects of microwave frying and different flour types addition on the microstructure of batter coatings. *Journal of Food Engineering*, 95: 684-692.
- Chen, S. D., Chen, H. H., Chao, Y. C., & Lin, R. S. 2009. Effect of batter formula on qualities of deep fat- and microwave-fried fish nuggets. *Journal of Food Engineering*, 95: 359-364.
- Dana, D., and Saguy, I. S. 2006. Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying an the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128: 267-72.
- Dehghan Nasiri, M., Mohebbi, M., Yazdi, F. T., and Khodaparast, M. H. 2010. Effects of Soy and Corn Flour Addition on Batter Rheology and Quality of Deep Fat-Fried Shrimp Nuggets. *Food and Bioprocess Technology*, 5: 1238-1245.
- Dogan, S. F., Sahin, S., & Sumnu, G. 2005a. Effects of soy and rice flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 71: 127-132.
- Dogan, S. F., Sahin, S., & Sumnu, G. 2005b. Effect of containing different protein types on the quality of deep fat-fried chicken nuggets. *European Food Research and Technology*, 220: 502-508.
- Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., and Troncoso, E. 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering*, 81: 257-265.
- Fiszman, S. M., Salvador, A. 2003. Recent developments in coating batters. *Food Science and Technology*, 14: 399-407.
- Funami, F., Funami, M., Tawada, T., and Nakao, Y. 1999. Decreasing oil uptake of Doughnuts during deep-fat frying using Curdlan. *Journal of Food Science*, 64(5): 883-888.
- Gamble, M. H., Rice, P., and Selman, J. D. 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record UK Tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22(3): 233-241.
- Gonzalez-Galan, A., Wang, S. H., Sgarbieri, V. C., & Moraes, M. A. C. 1991. Sensory and nutritional properties of cookies based on wheat rice-soybean flours baked in a microwave-oven. *Journal of Food Science*, 56(6): 1699-1701.
- Kaur, M., & Singh, N. 2007. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 102: 366-370.
- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., and Marinos-Kouris, D. 2001b. Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48: 219-25.
- Lee, S., Inglett, G.E., 2006. Functional characterization of steam jet-cooked-glucanrich barley flour as an oil barrier in frying batters. *Journal of Food Science* 71 (6): 308-313.
- Mariscal, M., & Bouchon, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, 107: 1561-1569.
- Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep fat-fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, 14: 364-373.
- Miranda, M., and Aguilera, J.M. 2006, Structure and texture properties of fried potato products. *Food Reviews International*, 22: 173-201.
- Mir-Bel, J., Oria, R., and Salvador, M. L. 2009. Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling. *Journal of Food Engineering*, 95: 416-422.
- Moreira, R. G., Palau, J. E., and Sun, X. 1995. Deep-fat frying of tortilla chips-an engineering approach. *Food Technology*, 49: 146-150.
- Ngadi, M., Li, Y., & Oluka, S. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *LWT Food Science and Technology*, 40: 1784-1791.
- Oztop, M.H., Sahin, S., Sumnu, G. 2007. Optimization of microwave frying of potato slices bi using Taguchi Technique. *Journal of Food Engineering* 79: 83-91.
- Pedreschi, F., and Moyano, P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*, 70(4): 557-563.
- Sahin, S. and Sumnu, G. 2009. *Advances in Deep-Fat Frying of foods*. Taylor and Francis Group. New York.
- Salvador, A., Sanz, T., and Fiszman, S. M. 2005. Effect of the addition of different ingredients on the characteristics

of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step. *Food Hydrocolloids*, 19: 703-708.

Soorgi, M., Mohebbi, M., Mousavi, S. M., & Shahidi, F. (2011). The effect of methylcellulose, temperature, and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets. *Food Bioprocess & Technology*. doi:10.1007/s11947-011-0520-z. in press. vol. 5 issue 5 July 2012. p. 1521 – 1530.

Sosa-Morales, M. E., Orzuna-Espritu, R., & Vélez-Ruiz, J. F., 2006. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*, 77: 731–738.

Tan, K. J., and Mittal, G. S. 2006. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*, 9: 85-98.

Troncoso, E., & Pedreschi, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT Food Science and Technology*, 42: 1164–1173.

Velez-Ruiz, J.F., Vergara-Balderas, F.T., Sosa-Morales, M.E., and Xique-Hernandez, J. 2002. Effect of temperature on the physical properties of chicken strips during deep-fat frying. *International Journal of Food Properties*, 5: 127-44.

Visser, J. E., De Beukelaer, H., Hamer, R. J., and Van Vliet, T. 2008. A new device for studying the deep-frying behavior of batters and resulting crust properties. *Cereal Chemistry*, 85: 417-424.

Xue, J., & Ngadi, M. 2006. Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations. *Journal of Food Engineering*, 77: 334–341.

Ziaifar, A. M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I., & Trystram, G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology*, 43: 1410–1423.