



دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده کشاورزی

علوم و صنایع غذایی

پایان نامه کارشناسی ارشد

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

الهام انصاری فر

بهمن ۱۳۹۰



پایان نامه کارشناسی ارشد

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

الهام انصاری فر

استاد راهنما

دکتر فخری شهیدی

دکتر محبت محبی

استادان مشاور

دکتر مهدی وریدی

بهمن ۱۳۹۰



دانشکده کشاورزی

این پایان نامه با عنوان « 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 » توسط «الهام انصاری فر» در تاریخ
در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.
با نمره و درجه ارزشیابی

نمره و درجه ارزشیابی

تاریخ دفاع

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	خانم دکتر فخری شهیدی	استاد	استاد راهنما	
۲	خانم دکتر محبت محبی	دانشیار	استاد راهنما	
۳	آقای دکتر مهدی وریدی	استادیار	استاد مشاور	
۴	آقای دکتر سید محمد علی رضوی	دانشیار	استاد داور	
۵	آقای دکتر محمد حسین حداد خداپرست	استاد	استاد داور	
۶			نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: ارزیابی اثر پوشش کیتوزان و سفیده تخم مرغ بر کینتیک انتقال جرم، ویژگی های فیزیکیوشیمیایی و حسی ناگت پنیر کردی سرخ شده به روش عمیق و شبیه سازی با استفاده از مدل پوسته اینجانب الهام انصاری فر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی خانم دکتر فخری شهیدی و خانم دکتر محبت محبی متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ

الهام انصاری فر

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده:

هدف این پژوهش ارزیابی اثر دمای روغن، زمان سرخ کردن، فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر ویژگی‌های کیفی ناگت پنیر کردی رفتار جریان خمیرابه، میزان جذب پوشش، میزان حذف رطوبت و جذب روغن بخش پوسته و هسته ناگت پنیر به طور مجزا، رنگ، بافت و ویژگی‌های حسی و کینتیک انتقال جرم بود. بدین منظور با افزودن صفر، ۰/۵ و ۱/۵ درصد کیتوزان و صفر، ۵ و ۱۰ درصد سفیده تخم مرغ به خمیرابه، ناگت‌های پنیر در دماهای ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ دقیقه سرخ شدند و در ادامه شبیه‌سازی ویژگی‌های پوسته ناگت پنیر با استفاده از سیستم مدل پوسته سرخ شده به روش عمیق انجام پذیرفت و میزان دفع رطوبت و جذب روغن پوسته شبیه‌سازی شده با پوسته ناگت مقایسه شد. نتایج نشان داد که میزان جذب خمیرابه به طور مستقیم با رفتار جریان خمیرابه همبستگی دارد. میزان جذب در خمیرابه‌های حاوی کیتوزان بیشتر از سایر خمیرابه‌ها بود. از میان تمامی فرمولاسیون‌ها، ناگت‌های پوشش یافته با خمیرابه ۱۰ درصد سفیده تخم‌مرغ یا ۵/۱ درصد کیتوزان، کمترین میزان جذب روغن (در بخش پوسته و هسته) را داشتند. میزان کاهش جذب روغن در نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد سفیده تخم مرغ یا ۵/۱ درصد کیتوزان به ترتیب ۷۶/۲۲ و ۴۲/۱۹ درصد بود. میزان همبستگی بین نتایج میزان رطوبت و روغن به دست آمده از سیستم مدل پوسته با پوسته ناگت پنیر کردی سرخ شده به روش عمیق، بسیار بالا بود. از قانون فیک برای مدل‌سازی انتقال رطوبت استفاده شد. مقادیر ضریب نفوذ موثر رطوبت در بخش پوسته و هسته به ترتیب بین 0.74×10^{-9} (m²/s) تا 1.38×10^{-9} (m²/s) و 6.69×10^{-9} (m²/s) تا 14.19×10^{-9} (m²/s) به دست آمدند. انرژی فعال‌سازی ضریب نفوذ رطوبت با استفاده از برازش داده‌ها با معادله‌ی آرنیوس برای بخش پوسته و هسته نمونه‌ها، به ترتیب در محدوده ۱۱/۷±۰/۹۸ تا ۱۱/۷ (kJ/mol) تا ۱۸/۹۱±۱/۰۳ و ۱۸/۹۱±۱/۰۳ تا ۹/۲۲±۸۶/۰ (kJ/mol) به دست آمد.

کلید واژه: ناگت پنیر، سرخ کردن عمیق، کیتوزان، سفیده تخم‌مرغ، سیستم مدل پوسته سرخ شده

ساکزاری

محمد و پاس خدای مهربان را که توفیق کسب علم در جوار عالم آل محمد را به من عطا فرمود. او که در جوارش قلم آرام می گرفت، روح لطیف می گشت و سخات ناب زیارتش اندیشه ام را زلال می کرد.

شکر صمیمانه خود را تقدیم خانواده کراتقدر و صمیمی ام می کنم که وجودشان بهواره مایه آرامش و نگاه کرمان پشیمان سخته سخته زندگی ام بوده است.

از استاد راهنمای محترم و بزرگوار سرکار خانم دکتر شهیدی که در مراحل انجام این تحقیق بهواره از دقت نظر و رهنمودهای ارزنده شان بهره برده ام صمیمانه قدردانی می نمایم. نهایت پاس قلبی خود را تقدیم حضور استاد راهنمای محترم و ارجمند سرکار خانم دکتر محبی می دارم که در تمام سخات تحقیق با صبر و حوصله به کام من بودند. از استاد مشاور فرزانه جناب آقای دکتر ویدی که با تئبل مشاورت پیمان نامه و راهنمایی های ارزشمند خود مراتب ارتقاء آن را فراهم ساختند کمال شکر و امتنان را دارم. از اساتید کراتقدر جناب آقای دکتر حداد خدایرست و جناب آقای دکتر رضوی به پاس قبول زحمت داورسی و ارائه نقطه نظرات ارزشمندشان ساکزارم. از مساعدت و لطف یاننده محترم تسلیات تکلیبی سرکار خانم دکتر طباطبائی نهایت شکر را دارم. از اساتید محترم گروه علوم و صنایع غذایی، مسئولین محترم آزمایشگاه های صنایع غذایی به خصوص سرکار خانم آجری کمال امتنان را دارم. از دوستان عزیزم چه در محیط خوابگاه و چه در دانشگاه که حرکت ایشان در جایگاه خودشان بی نظیر بودند ساکزارم.

فهرست

فصل اول : مقدمه	۱
فصل دوم : بررسی منابع	۲
۱-۲- سرخ کردن	۲
۱-۱-۲- تعریف فرایند سرخ کردن	۲
۲-۱-۲- فرایند سرخ کردن	۶
۲-۲- نقش روغن در رژیم غذایی و سلامت انسان	۷
۳-۲- روش‌های کاهش جذب روغن در مواد غذایی سرخ شده	۸
۱-۳-۲- پوشش‌دار کردن	۹
۴-۲- فراورده‌های سوخاری	۱۰
۵-۲- خمیرابه	۱۱
۶-۲- ویژگی‌های کیفی فراورده‌های سوخاری	۱۱
۱-۶-۲- رفتار جریان خمیرابه	۱۱
۲-۶-۲- اثر مواد تشکیل دهنده خمیرابه بر ویژگی‌های آن	۱۳
۱-۲-۶-۲- آرد گندم	۱۳
۲-۲-۶-۲- پروتئین‌ها	۱۶
۳-۲-۶-۲- هیدروکلوئیدها	۲۱
۳-۶-۲- چسبندگی خمیرابه به هسته	۲۹
۴-۶-۲- بافت	۳۰
۵-۶-۲- رنگ	۳۱
۷-۲- مفاهیم انتقال جرم و حرارت در فرایند سرخ کردن عمیق	۳۳
۱-۷-۲- بررسی کینتیک تغییرات انتقال جرم فرایند سرخ کردن	۳۴
۲-۷-۲- بررسی کینتیک افت رطوبت	۳۴
۳-۷-۲- مکانیسم‌های جذب روغن در ماده غذایی	۳۷
۴-۷-۲- بررسی کینتیک جذب روغن	۳۹
۵-۷-۲- انرژی فعال سازی	۴۰
۸-۲- پنیر	۴۰
۱-۸-۲- ارزش غذایی پنیر	۴۰

۴۱.....	۲-۸-۲- پنیر کردی
۴۳.....	۲-۹- سیستم مدل پوسته
۲.....	فصل سوم : مواد و روش ها
۲.....	۳-۱- آماده سازی نمونه ها
۴۶.....	۳-۲- سرخ کردن عمیق
۴۷.....	۳-۳- شبیه سازی پوسته با استفاده از سیستم مدل سرخ کردن عمیق
۴۸.....	۳-۴- اندازه گیری پارامترهای کیفی ناگت پنیر کردی
۴۸.....	۳-۴-۱- رفتار جریان خمیرابه
۴۸.....	۳-۴-۲- جذب خمیرابه
۴۸.....	۳-۴-۳- اندازه گیری میزان رطوبت
۴۹.....	۳-۴-۴- اندازه گیری میزان روغن
۴۹.....	۳-۴-۵- بررسی کینتیک انتقال جرم در حین فرایند سرخ کردن
۴۹.....	۳-۴-۵-۱- بررسی کینتیک افت رطوبت
۵۰.....	۳-۴-۵-۲- کینتیک جذب روغن
۵۰.....	۳-۴-۵-۳- انرژی فعال سازی (E_a)
۵۰.....	۳-۴-۶- تصویرگیری و پردازش تصاویر
۵۳.....	۳-۴-۷- آنالیز بافت
۵۳.....	۳-۴-۸- ارزیابی حسی
۵۴.....	۳-۴-۹- آنالیز آماری
۴۶.....	فصل چهارم: نتایج و بحث
۴۶.....	۴-۱- ترکیبات شیمیایی آرد گندم و پنیر کردی مورد استفاده
۴۶.....	۴-۲- رفتار جریان خمیرابه
۵۸.....	۴-۳- جذب خمیرابه
۵۹.....	۴-۴- بررسی اثر تیمارهای مختلف بر روند وقایع انتقالی در حین سرخ کردن ناگت پنیر کردی
۵۹.....	۴-۴-۱- میزان رطوبت
۶۲.....	۴-۴-۲- میزان روغن
۶۵.....	۴-۵- کینتیک انتقال جرم طی فرایند سرخ کردن
۶۵.....	۴-۵-۱- دفع رطوبت
۶۸.....	۴-۵-۲- جذب روغن

۶۹.....	۴-۵-۳- انرژئی فعال سازی
۷۰.....	۴-۶- ارزیابی رنگ حاصل از تصاویر پردازش شده ناگت پنیر
۷۰.....	۴-۶-۱- پارامتر L^*
۷۳.....	۴-۶-۲- تغییرات کل رنگ سطح
۷۴.....	۴-۷- ارزیابی بافت
۷۵.....	۴-۸- بررسی اثر فاکتورهای مختلف بر ویژگی‌های حسی ناگت پنیر
۷۷.....	۴-۹- افت رطوبت و جذب روغن در سیستم مدل سرخ کردن عمیق
۵۶.....	فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۰.....	منابع
۹۴.....	پیوست‌ها

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲. اجزای تشکیل دهنده پروتئین سفیده تخم مرغ..... ۱۹.
- جدول ۲-۲. تأثیر رژیم غذایی حاوی فیبرهای مختلف در دفع چربی..... ۲۹.
- جدول ۳-۴. تنظیم‌های بکار برده شده در دوربین در حین عکس‌برداری..... ۵۱.
- جدول ۴-۱. ترکیبات شیمیایی آرد گندم و پنیر کردی استفاده شده در این پژوهش..... ۴۶.
- جدول ۴-۲. اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر پارامترهای قانون توان..... ۵۸.
- جدول ۴-۳. اثر متقابل خمیرابه بر میزان روغن بخش پوسته و هسته ناگت پنیر کردی سرخ شده به روش عمیق..... ۶۳.
- جدول ۴-۴. مقادیر ثابت سرعت انتشار رطوبت (k) و ضریب نفوذ موثر رطوبت (D_{eff}) ناگت های پنیر کردی..... ۶۶.
- جدول ۴-۵. مقادیر ثابت سرعت جذب روغن (k) و میزان روغن تعادلی (O_{eq}) ناگت های پنیر کردی..... ۶۹.
- جدول ۴-۶. انرژی فعال سازی ناگت های پنیر..... ۷۰.
- جدول ۴-۷. اثر دما سرخ کردن بر L^* ناگت پنیر سرخ شده به روش عمیق..... ۷۲.
- جدول ۴-۹. اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه روی برخی ویژگی‌های حسی ناگت پنیر کردی..... ۷۷.

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲. طرح شماتیک انتقال رطوبت و چربی در طول سرخ کردن مواد غذایی پوشش داده شده ۱۰
- شکل ۲-۲. تبدیل کیتین به کیتوزان ۲۴
- شکل ۳-۲. تصویر شماتیک انتقال جرم و حرارت در طی سرخ کردن ۳۴
- شکل ۴-۲. تصویر شماتیک از سیستم مدل شبیه‌ساز پوسته ۴۴
- شکل ۱-۳. تصویر سرخ کن Black & Decker ۴۶
- شکل ۲-۳. نحوه تقسیم بندی سبد سرخ کن با استفاده از صفحات استیل برای مجزا کردن نمونه‌ها از یکدیگر ۴۶
- شکل ۳-۳. تصویر دستگاه شبیه ساز پوسته ۴۷
- شکل ۴-۳. اتافک تصویربرداری ۵۱
- شکل ۵-۳. تبدیل تصویر از فضای رنگی RGB به $L^* a^* b^*$ ۵۲
- شکل ۶-۳. تصویر دستگاه آنالیز بافت QTS ۵۳
- شکل ۱-۴. تغییرات ویسکوزیته ی ظاهری در درجه برش‌های مختلف ۵۷
- شکل ۲-۴. اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه بر میزان جذب پوشش ۵۹
- شکل ۳-۴. اثر فرمولاسیون خمیرابه بر میزان رطوبت بخش پوسته و هسته ناگت پنیر کردی سرخ شده به روش عمیق ۶۱
- شکل ۴-۴. اثر زمان سرخ کردن بر میزان روغن بخش پوسته و هسته ناگت پنیر کردی سرخ شده در دمای 190°C ۶۴
- شکل ۵-۴. تصویر از برش عرضی ناگت پنیر سرخ شده در دماهای مختلف به مدت ۴ دقیقه ۶۵
- شکل ۶-۴. اثر زمان سرخ کردن بر تغییرات پارامتر L^* ناگت‌های پنیر سرخ شده در دمای 150°C ۷۲
- شکل ۷-۴. اثر متقابل فرمولاسیون بر ΔE ناگت‌های پنیر سرخ شده ۷۳
- شکل ۸-۴. اثر زمان سرخ کردن بر نقطه اوج نیروی وارده بر ناگت‌های پنیر سرخ شده در دمای 190°C ۷۵

فهرست علائم و اختصارات

علامت اختصاری	معادل لاتین	معادل فارسی
ANOVA	Analysis of Variance	آنالیز واریانس
D_{eff}	Effective diffusivity	ضریب نفوذ موثر رطوبت
E_a	Activation energy	انرژی فعال سازی
K	Specific rate of oil uptake	ثابت سرعت جذب روغن
L	Half-thickness of the samples	نصف ضخامت نمونه
MS	Mean Square	میانگین مربعات
M	Instantaneous moisture content	میزان رطوبت آنی
M_e	Equilibrium moisture content	میزان رطوبت تعادلی
M_r	Moisture ratio	نسبت رطوبت
M_o	Initial moisture content	مقدار رطوبت اولیه
O	Fat content at time t	میزان روغن در زمان t
O_{eq}	Equilibrium oil content at $t=\infty$	میزان روغن تعادلی در زمان بی نهایت
O^*	Oil content between t and $t=\infty$	میزان روغن بین زمان t و بی نهایت
P	Significantly	سطح معنی داری
R^2	Coefficient of determination	ضریب تبیین
R	Universal gas constant	ثابت جهانی گازها
T	Absolute temperature	دمای مطلق
t	Frying time	زمان سرخ کردن

فصل اول : مقدمه

چاقی یکی از بیماری‌های شایع در دنیای کنونی است. برآورد می‌شود که حدود ۱/۲ بلیون نفر از کل جمعیت دنیا دارای اضافه وزن هستند (گارو، ۲۰۰۰). افراد چاق بیشتر از سایر افراد مستعد ابتلا به بیماری‌های غیر واگیر مثل بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت و برخی سرطان‌ها هستند (پی‌سنر، ۱۹۹۸). بیماری‌های قلبی عروقی یکی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده زندگی در جوامع بشری است به طوری که علت ۷۰ درصد مرگ و میر افراد بالای ۷۵ سال و علت ۲۵ درصد مرگ و میر افراد بالای ۳۰ سال را تشکیل می‌دهد (رفیعی، ۱۳۷۶). از سویی با گسترش زندگی صنعتی، مصرف غذاهای آماده، غذاهای پرچرب و سرخ کردنی افزایش چشمگیری یافته است و میزان اسیدهای چرب ترانس موجود در این فراورده‌های غذایی موجب افزایش شیوع بیماری‌های مزمن گردیده است.

سرویس‌های سلامت و خدمات انسانی (HHS)^۱ آمریکا 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

¹ Health and Human Services

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.

با افزایش آگاهی مصرف کنندگان نسبت به تأثیر رژیم غذایی چرب بر سلامتی، تمایل به مصرف مواد غذایی کم چرب رو به افزایش است. بنابراین در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی به منظور کاهش میزان چربی در مواد غذایی سرخ شده 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 و در میان آن‌ها فراورده‌های پوشیده شده با خمیرابه^۱ به دلیل ویژگی‌های حسی مطلوب بسیار مورد توجه هستند. غذاهای روکش شده مثل انواع ناگت به منظور بهبود طعم، ظاهر و خصوصاً ویژگی‌های بافتی مطلوب و ایجاد سطح خارجی ترد و در عین حال هسته مرکزی نرم و مرطوب، ابتدا با خمیرابه پوشانیده^۲ شده، سپس پیش سرخ گردیده، به صورت منجمد به بازار عرضه می‌گردند.

برای پاسخگویی به نیاز مصرف کنندگان به غذاهای متنوع، تولیدکنندگان در صنعت غذا به تولید فراورده‌های غذایی کم چرب جدید با طعم و مزه مطلوب همّت گماشته‌اند که از جمله این غذاها می‌توان به غذاهای سوخاری و پوشش‌دار اشاره کرد. ناگت پنیر کردی جزو این گونه مواد غذایی دسته بندی می‌شود. ناگت پنیر کردی محصولی است که از پنیر کردی تهیه می‌شود. ابتدا پنیرها با ابعاد مشخص قالب زنی شده، در خمیرابه (که پایه اصلی آن آرد است) غوطه‌ور گردیده، سپس با آرد سوخاری پوشیده می‌شود و به صورت آماده‌ی مصرف و منجمد به بازار عرضه می‌گردد. ناگت پنیر یک میان وعده مغذی، مفید و خوشمزه است که کودکان و نوجوانان بیشتر طرفدار آن هستند. با توجه به سن رشد و نیازهای طبیعی این قشر از جامعه ناگت پنیر می‌تواند منبع مغذی و سودمند تلقی گردد. استفاده از پنیر کردی با پروفایل طعمی گسترده‌تر و محسوس‌تر نسبت به پنیرهای صنعتی جهت تهیه ناگت این جذابیت افزایش می‌دهد.

پنیر کردی خراسان یکی از قدیمی‌ترین پنیرهای سفید ایرانی حاصل از شیر خام گوسفند است که پس از پنیر لیقوان بیشترین بازارپسندی را در بین پنیرهای تولیدی کشور دارا می‌باشد (عدالتیان، ۱۳۹۰)، و به لحاظ خوش طعم بودن از بازار پسندی و مقبولیت زیادی برخوردار است. علاوه بر آن، در بین انواع لبنیات، پنیر دارای بیشترین میزان

¹ Batter

² Coat

پروتئین می‌باشد. پروتئین موجود در پنیر از کیفیت خوبی برخوردار بوده و تقریباً دارای اکثر اسید آمینه های ضروری مورد نیاز بدن است. همچنین غنی‌ترین منبع کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی به ویژه A، D و برخی ویتامین‌های گروه B محسوب می‌شود (کوزیکووسکی، ۱۹۶۶).

سرخ کردن عمیق^۱ (DFF) یکی از قدیمی‌ترین فرایندهای تهیه مواد غذایی است. این فرایند تحت عنوان غوطه‌ور کردن ماده غذایی در یک روغن خوراکی در دمایی بالاتر از نقطه جوش آب تعریف می‌شود. در طول این فرایند انتقال همزمان جرم و انرژی صورت می‌گیرد. در واقع حرارت از روغن به داخل ماده غذایی نفوذ کرده و باعث تبخیر رطوبت از درون ماده غذایی می‌شود، در نتیجه فضاهای خالی در محصول ایجاد می‌شود و روغن از همین منافذ وارد ماده غذایی می‌گردد (امیریوسفی و همکاران، ۲۰۱۰). از مزایای سرخ کردن عمیق نسبت به دیگر روش‌های پخت می‌توان به کوتاه بودن زمان سرخ کردن و غیر محلول بودن ویتامین‌های محلول در آب، در داخل چربی اشاره نمود که مورد اخیر از اتلاف ویتامین‌های محلول در آب جلوگیری می‌کند (ساهین و سامنو، ۲۰۰۹).

با توجه به میزان بالای روغن در غذاهای سرخ کردنی، تلاش‌های زیادی در سطح دنیا برای تولید فراورده های کم چرب صورت گرفته است. برای کاهش میزان روغن فراورده‌های سرخ کردنی روش‌هایی وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از: استفاده از سیستم میکروویو، استفاده از جایگزین‌های چربی مانند آلسترا^۲ و پوشاندن با فیلم‌های خوراکی به منظور کاهش جذب روغن است.

پوشش‌دار کردن به معنای غوطه‌ور کردن ماده غذایی در محلول مورد نظر قبل از سرخ کردن می‌باشد. پوشش دهی یک تیمار سطحی است که تخلخل سطح را کاهش می‌دهد و مانعی در مقابل ورود روغن به ماده غذایی ایجاد می‌کند. پوشش علاوه بر کاهش جذب روغن، خروج رطوبت را نیز کاهش می‌دهد. مهم‌ترین ویژگی‌های یک پوشش قابلیت تشکیل فیلم، پایداری حرارتی، ویژگی‌های انتقال روغن و رطوبت، کیفیت تغذیه‌ای و حسی آن است.

اغلب فراورده‌های سرخ شده با یک خمیرابه پوشانده می‌شوند که عبارت است از یک مخلوط مایع شامل آب، آرد، نشاسته و ادویه‌ها که فراورده های غذایی قبل از پخت در آن غوطه‌ور می‌گردند. همچنین گاهی پس از این

¹ Deep Fat Frying (DFF)

² Olestre

تیمار، از یک مخلوط خشک به نام پودر سوخاری^۱ استفاده می‌شود. این تیمارها با ایجاد پوسته^۲ بر روی محصول علاوه بر بهبود ظاهر آن، جذب روغن را نیز کاهش می‌دهند. در فراورده های سرخ شده ویژگی‌های پوسته اهمیت کلیدی در پذیرش مصرف کننده دارد.

پوسته به عنوان یک مانع بین بخش‌های درونی و روغن اطراف ناگت عمل می‌کند. همچنین برخی از مطالعات نشان می‌دهند که جذب روغن طی سرخ کردن عمیق در پوسته متمرکز می‌شود. فرایند سرخ کردن به علت هم زمانی تغییرات فراوان، بسیار پیچیده است. ولی با این حال شناخت این پدیده‌ها برای اطمینان از کیفیت بالای مواد غذایی سرخ کردنی بسیار حائز اهمیت است (بالارد، ۲۰۰۳). بنابراین شناخت فرایند تولید پوسته طی سرخ کردن و ویژگی‌های پوسته سرخ شده حائز اهمیت است. در عین حال مطالعه پوسته با سیستم‌های متداولی که برای بررسی سرخ کردن عمیق خمیرابه‌ها استفاده می‌شود، اشکالات قابل توجهی دارد.

محققان برای رفع این مشکلات، مدل سرخ کردن عمیق پوسته^۳ DFCM را پیشنهاد دادند که تولید پوسته های تجدید پذیر با انواع هسته و با درصد رطوبت‌های مختلف را ممکن می‌سازد. به علاوه با این سیستم، امکان مقایسه ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و حسی پوسته های فراورده‌های غذایی سرخ شده موجود در بازار با پوسته های تهیه شده با سیستم DFCM وجود دارد (ویسر و همکاران، ۲۰۰۸).

در این پژوهش به بررسی اثر فرمولاسیون‌های مختلف خمیرابه (نسبت‌های مختلف کیتوزان و سفیده تخم‌مرغ) بر ویژگی‌های کیفی (رفتار جریان خمیرابه، میزان جذب پوشش، میزان حذف رطوبت، جذب روغن، رنگ، بافت و ویژگی‌های حسی) و کینتیک انتقال جرم ناگت پنیر سرخ شده به روش عمیق پرداخته شد و در ادامه شبیه‌سازی ساختار و ویژگی‌های پوسته ناگت پنیر با استفاده از مدل پوسته سرخ شده به روش عمیق انجام پذیرفت.

¹ Breading

² Crust

³ Deep-fried Crust Model

فصل دوم : بررسی منابع

۱-۲- سرخ کردن

۱-۱-۲- تعریف فرایند سرخ کردن

سرخ کردن عمیق یکی از قدیمی‌ترین فرایندهایی است که با هدف خشک کردن و پختن فراورده‌های غذایی استفاده می‌شود (استیر، ۲۰۰۴). موفقیت این فرایند به دلیل تطبیق و انعطاف‌پذیری در مقیاس خانگی و صنعتی است. این روش طبخ در صنعت تولید غذا به سرعت در حال رشد است، به طوری که سرمایه‌گذاری برای تولید غذاهای سرخ شده 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 (سahین و سامنو، ۲۰۰۹؛ استیر، ۲۰۰۴).

از جمله تغییرات مطلوب در مواد غذایی در حین سرخ کردن می‌توان به آگلوتیناسیون نشاسته و دناتوراسیون پروتئین‌ها در ابتدای فرایند اشاره کرد که منجر به خوش طعم شدن و افزایش قابلیت هضم غذا می‌شود. واکنش مایلارد^۱ و توسعه رنگ قهوه‌ای، تجمع ترکیبات عامل ایجاد عطر و طعم مطبوع و نیز تشکیل پوسته خشک ترد و

^۱ Maillard reaction

طلایی رنگ که ظاهری دل‌پذیر به محصول می‌بخشد، از دیگر تغییرات صورت گرفته در حین سرخ کردن می‌باشند. فراورده‌های سرخ شده رطوبت خود را از دست داده‌اند و عمر نگهداری آن‌ها به مراتب از فراورده‌های تازه بیشتر است. از مزایای سرخ کردن اثر محافظتی آن است که با از بین بردن میکروارگانیسم‌ها، آنزیم‌ها و کاهش فعالیت آب در سطح غذا حاصل می‌شود (سahین و سامنو، ۲۰۰۹؛ ضیایی فر و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۱-۲- فرایند سرخ کردن

در سرخ کردن عمیق، ماده غذایی در روغن داغ غوطه‌ور می‌شود، به طوری که دمای روغن معمولاً بالاتر از نقطه جوش آب می‌باشد. در این هنگام انتقال حرارت و انتقال جرم به طور همزمان رخ می‌دهد. حرارت از طریق همرفت از روغن به ماده غذایی و از طریق رسانش در درون ماده غذایی منتقل می‌شود. انتقال جرم در دو جهت مخالف انجام می‌پذیرد، رطوبت سطحی در اثر دمای بالا تبخیر شده، از ماده غذایی خارج می‌گردد. در اثر خروج رطوبت، پوسته تشکیل می‌شود و حفره‌ها در ماده غذایی توسعه می‌یابند. کاهش رطوبت و ایجاد حفره‌ها در ماده غذایی، با ورود روغن به ماده غذایی همراه می‌گردد (بلومنتال، ۱۹۹۱؛ ضیایی فر و همکاران، ۲۰۰۸).

طبق تعریف فارکاس (۱۹۹۴) سرخ کردن را می‌توان یک نوع فرایند خشک کردن دانست که انتقال رطوبت طی چهار مرحله به شرح زیر صورت می‌گیرد:

۱- حرارت دهی اولیه: دوره کوتاه؛ مرحله ای است که ماده غذایی خام وارد روغن داغ می‌شود و دمای سطح

آن تا دمای جوش آب بالا می‌رود. انتقال حرارت بین روغن و سطح محصول رخ می‌دهد ولی تبخیری صورت نمی‌گیرد.

۲- جوشش سطحی: این مرحله با افت ناگهانی رطوبت سطح ماده غذایی مشخص می‌شود. تبخیر سطحی

آغاز شده، سرعت انتقال حرارت از سطح افزایش یافته و تشکیل پوسته ترد و خشک آغاز می‌گردد.

۳- سرعت نزولی: این مرحله مصداق تعریف خشک کردن می‌باشد. دمای قسمت‌های درونی غذا به آهستگی

به سمت دمای جوش آب بالا رفته، ضخیم شدن ناحیه ادامه یافته، به تدریج سرعت انتقال حرارت و همچنین انتقال بخار از محصول کاهش می‌یابد.

۴- نقطه پایانی جوش: سرعت دفع رطوبت کاهش می‌یابد و دیگر هیچ حبابی در سطح محصول مشاهده نمی‌شود.

فراورده‌های سرخ شده مانند چیپس سیب زمینی، فرنچ فرایز، دونات، ناگت مرغ، استیک ماهی و انواع اسنک‌های سرخ شده از مطلوبیت بسیار بالایی برخوردارند. موفقیت این روش به دلیل وجود مزایایی است که با استفاده از سایر روش‌های فرآوری به راحتی نمی‌توان به آن‌ها دست یافت.

از مزایای سرخ کردن عمیق نسبت به دیگر روش‌های پخت می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱- انتقال حرارت یکنواخت و کوتاه شدن زمان فرایند در نتیجه‌ی دمای بالای روغن

۲- حداقل حذف ترکیبات محلول در آب

۳- حذف مقادیر کمتری از ویتامین‌های حساس به حرارت در مقایسه با سایر روش‌های پخت

۴- کاهش ناچیز مواد معدنی

۵- آماده سازی آسان و سریع

۶- ویژگی‌های حسی مطلوب مانند رنگ، بافت، عطر و طعم مناسب.

۲-۲- نقش روغن در رژیم غذایی و سلامت انسان

روغن‌ها و چربی‌ها نقش بسیار مهمی در تغذیه انسان ایفا می‌کنند، زیرا منبع فشرده انرژی و بزرگ‌ترین تأمین کننده کالری مورد نیاز بدن هستند. حاوی ویتامین‌های محلول در چربی (A, D, E, K) و اسیدهای چرب ضروری و همچنین پیش ساز برخی هورمون‌ها می‌باشند که در تأمین سلامت، نقش مهمی به عهده دارند (نوروزی، ۱۳۸۱). از طرف دیگر، بر اساس آمار اداره تحقیقات کشاورزی آمریکا، تغذیه صحیح می‌تواند مرگ و میر 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 (شریفی سلطانی، ۱۳۷۶). 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، دیابت و برخی انواع سرطان، به خصوص

سرطان روده بزرگ، تقاضا برای مصرف مواد غذایی کم چرب رو به افزایش است به طوری که در کشورهای پیشرفته، دو سوم مصرف کنندگان از مواد غذایی کم چرب و کم کالری استفاده می کنند (مقصودی، ۱۳۸۱).

عادات غذایی ریشه در عوامل فرهنگی، محیطی، اقتصادی، اجتماعی و مذهبی دارد. یکی از عوامل موثر در ایجاد بیماری های مزمن، سبک زندگی، الگو و عادات غذایی است (عسگری و همکاران، ۲۰۰۹). در طول دهه های اخیر روش زندگی بسیاری از مردم دنیا به خصوص در کشورهای توسعه نیافته تغییر کرده است، به طوری که افزایش اخیر بیماری های مزمن در دنیا را مربوط به کم تحرکی، افزایش دریافت کالری و شیوه های ناسالم زندگی می دانند. این تغییرات در شیوه زندگی دامن گیر کشورهای در حال توسعه از جمله ایران نیز شده است (میرمیران و همکاران، ۲۰۰۷). با گسترش زندگی صنعتی، مصرف غذاهای آماده، غذاهای پرچرب و سرخ کردنی افزایش چشمگیری یافته است و میزان اسیدهای چرب ترانس موجود در این فراورده های غذایی موجب افزایش شیوع بیماری های مزمن گردیده است (عسگری و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۳- روش های کاهش جذب روغن در مواد غذایی سرخ شده

برخی از فاکتورهای اصلی موثر در جذب روغن توسط فراورده های سرخ شده عبارتند از : میزان فساد روغن سرخ کردنی، دما، فشار و زمان سرخ کردن، شکل هندسی ماده غذایی، ترکیب شیمیایی ماده اولیه، پیش تیمارها، سختی سطح و تخلخل ماده غذایی سرخ شده (بوچن و همکاران، ۲۰۰۲؛ ساگی و دانا، ۲۰۰۳).

برخی عوامل که موجب کاهش معنی داری در جذب روغن توسط فراورده های سرخ شده می گردد، عبارتند از: تغییر روش های سرخ کردن، اصلاح محیط سرخ کردن و ویژگی های ماده غذایی (ملما، ۲۰۰۳؛ ضیایی فر و همکاران، ۲۰۰۷)، اعمال دما و زمان بهینه سرخ کردن، استفاده از روش های خارج کردن روغن پس از سرخ کردن مانند تکاندن و چکاندن و استفاده از پیش فرایندهای سرخ کردن و خمیرابه ها و پوشش ها (ملما، ۲۰۰۳؛ ضیایی فر و همکاران، ۲۰۰۷).