



ارزیابی تأثیر سرخ کردن در شرایط اتمسفری و تحت خلأ بر ویژگی‌های رشته خوشکار سرخ شده

سید احمد شهیدی^{۱*}، محبت محبی^۲، علی معتمدزادگان^۳، امان محمد ضیائی فر^۴، جواد ابوالفضل
اصفهانی^۵، سید علی مرتضوی^۶

- ۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد * نویسنده مسئول (sashahidy@yahoo.com)
- ۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۴- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- ۵- استاد گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۶- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۲۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۱۰

واژه‌های کلیدی

جذب روغن
رشته خوشکار
سرخ کردن تحت خلأ
سرخ کردن عمیق

سرخ کردن تحت خلأ فناوری نوینی است که می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های کیفی مواد غذایی سرخ شده شود. دلیل این امر استفاده از دمای کم و حضور کمتر اکسیژن است. در این مقاله سرخ کردن اتمسفری و در شرایط خلأ رشته خوشکار (یک نوع شیرینی سنتی گیلان) مورد مقایسه قرار گرفته است. چهار فشار سرخ کردن (فشار ۱۰۱/۳۲۵، ۷۰/۱، ۵۷/۸۳ و ۴۷/۴ کیلو پاسکال)، سه زمان سرخ کردن (۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ ثانیه) و سه نیروی پیشران حرارتی (اختلاف دمای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سلسیوس بین روغن و نقطه جوش آب در هر فشار) برای سرخ کردن مورد استفاده قرار گرفت. اثر زمان سرخ کردن، سطح خلأ و دمای سرخ کردن بر ویژگی‌های فیزیکی نظیر افت رطوبت، جذب روغن و چروکیدگی مورد بررسی قرار گرفت. افت رطوبت و جذب روغن در رشته خوشکار به طور معنی داری تحت تأثیر دما، زمان و فشار سرخ کردن قرار داشتند. نتایج نشان داد که محتوای رطوبت با افزایش دما، زمان و فشار سرخ کردن کاهش می‌یابد اما محتوای چربی افزایش می‌یابد. به طرز جالب توجهی بین جذب روغن و افت رطوبت در شرایط اتمسفری و تحت خلأ یک ارتباط قوی مشاهده شد. مشخص شد که سرخ کردن تحت خلأ یک روش مناسب است که می‌تواند موجب کاهش جذب روغن طی سرخ کردن شود. بین چروکیدگی و شرایط سرخ کردن ارتباطی مشاهده نشد.

مقدمه

(Farkas, 2000). سرخ کردن با تغییرات شیمیایی و فیزیکی شامل ژلاتیناسیون نشاسته، دناتوراسیون پروتئین، تبخیر آب و شکل گیری پوسته همراه است (Mallikarjunan et al., 1997; Rimac-Brcnic et al.,)

سرخ کردن ممکن است پختن از طریق غوطه‌ور کردن ماده غذایی در روغن خوراکی یا چربی در دمای بالاتر از نقطه جوش آب، تعریف شود (Hubbard &

که کاهش مصرف غذاهایی با چربی بالا رو به افزایش باشد (Krokida *et al.*, 2001a,b; Ngadi *et al.*, 2006). بنابراین چالش اصلی تسهیل نمودن فرایند سرخ کردن از طریق کنترل و کاهش مقدار روغن نهایی در مواد غذایی سرخ شده است (Ziaifar *et al.*, 2008).

شرایط سرخ کردن (دما و زمان)، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماده‌ی غذایی (اندازه، شکل، دانسیته، تخلخل، میزان روغن و رطوبت اولیه در نمونه و نسبت سطح به وزن)، ویژگی‌های روغن (نوع، ترکیبات شیمیایی و کیفیت روغن)، شرایط فرآیند (پیش تیمارها و شرایط نمونه بعد از خروج از روغن) از فاکتورهای مهم موثر بر میزان جذب روغن در نمونه‌های سرخ‌شده می‌باشند (Fiszman *et al.*, 2005; Dana & Saguy, 2006; Ziaifar *et al.*, 2008). در این میان، دما و طول دوره‌ی سرخ کردن دو عامل کلیدی در تعیین میزان جذب روغن محسوب می‌شوند (Fiszman *et al.*, 2005; Dana & Saguy, 2006).

فرایندهای متعددی برای تولید فرآورده‌هایی با چربی کاهش یافته که کیفیت مطلوب غذاهای عمیق سرخ شده در روغن و همچنین خواص مغذی آن‌ها را داشته باشند، توسعه یافته‌اند. این فرایندها شامل تکنولوژی‌های جایگزینی نظیر اکستروژن، خشک کردن و پختن است که ممکن است بر روی مواد غذایی خام یا فرآورده‌های فرموله شده استفاده گردند. متأسفانه هیچ کدام از این‌ها به آن اندازه که مورد انتظار بوده است، موفق نبوده‌اند زیرا این فرایندها هنوز نمی‌توانند کیفیت مطلوب غذاهای سرخ شده عمیق مانند آروما، بافت، ظاهر و احساس دهانی را در ماده غذایی ایجاد کنند (Dueik *et al.*, 2010). به همین دلیل تلاش برای اصلاح شرایط و تکنیک سرخ کردن برای ایجاد فرآورده‌های سالم ضمن حفظ کیفیت ضروری به نظر می‌رسد (Troncoso & Pedreschi, 2009). امروزه روش‌های نوین سرخ کردن مانند سرخ کردن تحت خلأ^۱، سرخ کردن تحت فشار^۲

و می‌تواند به عنوان عملیات واحد متعارفی تعریف شود که در تهیه غذاهای فرایند شده استفاده می‌شود (Farkas, 1994; Gazmuri & Bouchon, 2009). سرخ کردن در پختن انواع مواد غذایی نظیر گوشت، ماهی و سبزیجات مفید است. هدف این فرایند ترکیب زمان کوتاه پخت با مشخصات بی نظیر در فرآورده سرخ شده است (Dana & Saguy, 2006). این آماده سازی آسان و سریع موجب تولید فرآورده‌های با کیفیت حسی بهتر (رنگ، بافت و آروما) می‌شود که به همین دلیل مورد توجه مصرف کنندگان قرار دارد (Mir-Bel *et al.*, 2009). در هنگام فرایند سرخ کردن، خواص فیزیکی، شیمیایی و حسی ماده غذایی تغییر می‌کند، هدف عمده و اصلی فرایند سرخ کردن عمیق حفظ عطر و طعم مواد در یک پوسته ترد و شکننده به وسیله غوطه‌ور کردن ماده غذایی در روغن داغ می‌باشد (Moyano *et al.*, 2002). در فرایند سرخ کردن از چربی یا روغن به عنوان واسطه انتقال حرارت در تماس مستقیم با ماده غذایی در دمای بالای نقطه جوش آب استفاده می‌شود (Varela *et al.*, 1988; Chen *et al.*, 2009). در نتیجه یک فرایند سریع انتقال همزمان جرم و حرارت است که می‌تواند به عنوان یک عملیات خشک کردن مورد استفاده قرار گیرد و در نتیجه آن جریان‌ی از بخار آب (حباب‌ها) و روغن در سطح قطعه ماده غذایی در خلاف جهت یکدیگر ایجاد می‌شود.

جذب روغن یک نقطه بحرانی به لحاظ تغذیه‌ای در سرخ کردن عمیق می‌باشد که در برخی حالات تا یک سوم کل وزن فرآورده می‌رسد (Mellema, 2003, Freitas *et al.*, 2009). مصرف زیاد غذاهای چرب برای سلامت انسان مضر است و می‌تواند منجر به بیماری‌هایی مانند افزایش کلسترول خون، افزایش فشار خون و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی و برهم خوردن تعادل وزنی شود (Garcia *et al.*, 2002; Bajaj & Singhal, 2007; Bertolini *et al.*, 2009; Suárez *et al.*, 2008; Quasem *et al.*, 2009). مصرف کنندگان نسبت به سلامت خود موجب شده

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش برنج (رقم هاشمی) جهت تهیه آرد برنج و تولید رشته خوشکار از بازار محلی تهیه شد. از روغن آفتابگردان (تولید شرکت نینا، ایران) جهت سرخ کردن استفاده شد. پترولیوم اتر، تولوئن و سایر مواد شیمیایی از شرکت مرک^۲ آلمان خریداری شد.

تولید رشته

آب و آرد برنج با نسبت مساوی با یکدیگر مخلوط شده و خمیر حاصل به خوبی ورز داده شد. خمیر حاصل با آب مخلوط شده و مخلوطی دوغابی تهیه شد. مخلوط حاصل در ظرف مخصوص شانه ریخته شد. یک سینی مسی بر روی حرارت متوسط قرار گرفته، این مخلوط توسط شانه بر روی آن ریخته شد. پس از آماده شدن رشته، رشته بر روی خود چند تا خورد. رشته‌ها با ابعاد مشخص و تحت شرایط یکسان تولید شدند. جهت دستیابی به اندازه مشخص و یکسان (۱۰×۴×۰/۶۵ سانتی‌متر مکعب)، رشته‌ها با قیچی مناسب بریده شدند. جهت تولید یکسان و یکنواخت رشته‌ها، برنج به مقدار کافی از تولید یک مزرعه خریداری شده و نگهداری شد. هر روز به مقدار لازم از این برنج آسیاب شده و جهت تولید رشته استفاده شد.

سرخ کن تحت خلأ

جهت انجام این پژوهش یک سرخ کن تحت خلأ در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد (شکل ۱). مخزن سرخ کن از جنس استیل و با ظرفیت ۸ لیتر تهیه شد. سامانه گرمایشی الکتریکی با قابلیت تأمین دما تا ۲۰۰ درجه سلسیوس به صورت گرمایش مستقیم در داخل مخزن سرخ کن مورد استفاده قرار گرفت. جهت کنترل دمای محیط گرمایش (روغن سرخ کردن) از یک ترموکوپل با قابلیت کنترل دما از ۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس استفاده شد. ترموکوپل و سامانه گرمایشی الکتریکی به وسیله سیستم کنترل کننده منطقی برنامه ریزی شدند به گونه‌ای که

و سرخ کردن در مایکروویو^۱ به منظور بهبود کیفیت فرآورده‌ها، مورد توجه قرار گرفته‌اند (Sahin and Sumnu, 2009). سرخ کردن تحت خلأ یک انتخاب برای تولید میوه، سبزیجات و فرآورده‌های دیگر با محتوای روغن کم و با ویژگی‌های بافتی و طعم مطلوب است. به علت فشار پایین، نقطه جوش روغن و رطوبت در مواد غذایی پایین‌تر است.

آزمایشات نشان می‌دهند که در چیپس سیب زمینی که تحت خلأ سرخ شده نسبت به چیپس سرخ شده تحت شرایط اتمسفری، روغن جذب شده تا نصف کاهش می‌یابد. این فناوری (سرخ کردن تحت خلأ) می‌تواند ارزش تغذیه‌ای فرآورده را با تولید غذایی با مزه خوب، ارزش تغذیه‌ای بالا و محتوای چربی کمتر بهبود بخشد. فرآورده‌های سرخ شده تحت خلأ به نسبت اسنک‌های سرخ شده مرسوم، به دلیل عدم تشکیل آکریل آمید یا آکریل آمید بسیار کم، ایمن‌تر هستند و می‌توانند قابلیت نگهداری طولانی‌تری داشته باشند (Da Silva and Moreira, 2008).

یکی از نقلاتی که هر شب بعد از افطار در استان گیلان مصرف می‌شود و بسیار هم پر طرفدار است، رشته خوشکار است. خوشکار را به فرم رشته می‌ریزند و به شکل مستطیل است. این شیرینی از آرد برنج ساخته می‌شود. در گذشته برای تهیه رشته خوشکار برنج ابتدا شسته شده و در آب خیسانده می‌شد و سپس در سبدهای حصیری خشک شده و تبدیل به آرد می‌شد. امروزه به دلیل محدودیت‌های آسیاب‌های صنعتی و تقاضا برای سرعت بیشتر در تولید برنج‌ها به صورت مستقیم و بدون خیساندن، آرد می‌شوند (خاور، ۱۳۸۸).

هدف از این پژوهش مقایسه فرایندهای سرخ کردن در فشار اتمسفری و سرخ کردن تحت خلأ برای رشته خوشکار بود. در پژوهش حاضر جذب روغن، افت رطوبت و چروکیدگی رشته خوشکار سرخ شده در شرایط فشار اتمسفر و تحت خلأ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

استفاده شد. همچنین جهت کنترل فشار، گیج فشار در مسیر ایجاد خلأ به کار رفت. ماده غذایی به وسیله یک سبد مشبک با قابلیت بالا و پایین رفتن و همچنین چرخش به داخل روغن فرستاده می‌شد.

محدوده تغییرات دمای روغن در دامنه ± 1 درجه سلسیوس قرار داشت و با افزایش دما گرمایش متوقف و با کاهش دما گرمایش ادامه می‌یافت. جهت تأمین خلأ از پمپ خلأ (DV-48 N 250, Platinum, USA)



شکل ۱- سامانه سرخ کن تحت خلأ

سلسیوس نسبت به نقطه جوش آب، سرخ کردن انجام شد. با توجه به این مسئله که سرخ شدن کامل فرآورده بر اساس نظر اشخاص متفاوت است، لذا بر مبنای پیش تیمار، یک زمان سرخ کردن مشخص شده و دو زمان دیگر با فاصله زمانی ± 30 ثانیه از این زمان برای مدت زمان سرخ کردن تعیین شدند. بر این مبنای سرخ کردن در زمان‌های ۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ ثانیه انجام شد.

سرخ کردن رشته

رشته‌های تولیدی در چهار فشار مختلف (۴۷/۴، ۵۷/۸۳، ۷۰/۱ و ۱۰۱/۳۲۵ کیلو پاسکال) سرخ شدند. در هر کدام از فشارهای ذکر شده سه دما جهت سرخ کردن در ۳ مدت زمان مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). مبنای انتخاب دما، اختلاف دمای سرخ کردن و نقطه جوش آب در فشار متناظر بود. در هر فشار، در سه دما با اختلاف‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه

جدول ۱- شرایط فشار و دمای سرخ کردن رشته خوشکار

دمای سرخ کردن (درجه سلسیوس)			فشار مطلق (کیلو پاسکال)
۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۰۱/۳۲۵
۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰	۷۰/۱
۱۲۵	۱۴۵	۱۶۵	۵۷/۸۳
۱۲۰	۱۴۰	۱۶۰	۴۷/۴

اندازه گیری محتوای روغن

اندازه گیری محتوای روغن نمونه های خام و سرخ شده مطابق استاندارد AOAC شماره 963.15 (۱۹۹۰) انجام شد. نمونه های خشک شده مورد استفاده برای اندازه گیری محتوای رطوبت، ابتدا خرد شد، سپس حدود ۱ گرم از نمونه خشک و خرد شده

محتوای رطوبت

اندازه گیری محتوای رطوبت نمونه های سرخ شده مطابق استاندارد AOAC شماره 925.10 (۱۹۹۰) انجام شد. نمونه‌ها در آون (فن آزما گستر، مدل BM 55، ایران)، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند.

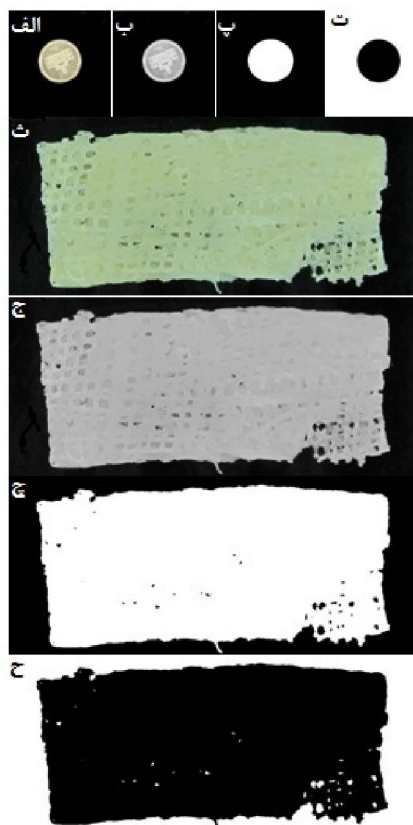
تصویر شی مدور با اندازه استاندارد (شکل ۲-الف)، تصویر آن خاکستری شد (شکل ۲-ب). با مشاهده هیستوگرام این تصویر خاکستری، مقدار آستانه برای جداسازی نمونه از زمینه انتخاب شد. در مرحله بعد، تمام آرایه‌های ماتریس تصویر که کمتر از ۱۵۰ بوده و مربوط به زمینه (تیره) تشخیص داده شدند، به مقدار صفر تغییر داده شدند و تمام آرایه‌های ماتریس تصویر که بیشتر از ۱۵۰ بوده و مربوط به شاهد (روشن) تشخیص داده شدند، به مقدار ۲۵۵ تغییر داده شدند (شکل ۲-پ). سپس تصویر باینری شد تا مقادیر آرایه‌ها صفر و یک شوند (شکل ۲-ت). در این حالت با به دست آوردن مجموع آرایه‌های ماتریس تصویر، مجموع پیکسل‌های تصویر شی دایروی به دست آمد. با توجه به مشخص بودن قطر شی دایروی، سطح شی دایروی محاسبه شد و سطح مربوط به هر پیکسل نیز با یک تناسب ساده محاسبه شد. عملیات فوق برای نمونه نیز انجام شد. ابتدا تصویر رشته خوشکار خوانده شده (شکل ۲-ث) و سپس خاکستری شد (شکل ۲-ج). برای از بین بردن نویز تصویر، ابتدا با اعمال یک فیلتر میانه نویز تصویر برطرف شد. سپس با مشاهده هیستوگرام تصویر فیلتر شده، مقدار آستانه برای جداسازی نمونه از زمینه انتخاب شد. بعد از باینری کردن تصویر (شکل ۲-چ و ح)، مجموع پیکسل‌های تصویر نمونه به دست آمد. حال با در نظر گرفتن تناسب بین پیکسل‌های شی دایروی و سطح شی دایروی، بر اساس پیکسل‌های نمونه، سطح کل نمونه به دست آمد.

برای به دست آوردن ارتفاع نمونه‌های رشته از یک کولیس دیجیتال استفاده شد و ارتفاع نمونه در هفت نقطه مختلف اندازه گیری شد. میانگین اندازه‌ها به عنوان ارتفاع محسوب شد. بر این اساس حجم نمونه‌ها از حاصل ضرب ارتفاع در سطح نمونه حاصل شد. با توجه به این موارد چروکیدگی رشته به صورت نسبت حجم رشته پس از سرخ کردن به حجم اولیه حاصل شد.

در کاغذ صافی قرار داده شد، کاغذ صافی حاوی نمونه در کارتوش گذاشته شد و کارتوش‌ها در بیکرهای سوکسله قرار داده شدند. از دستگاه تمام اتوماتیک سوکسله (گرهارد^۱، مدل SE-414، آلمان) جهت استخراج چربی استفاده شد. حلال مصرفی جهت استخراج، پترولیوم اتر بود. مقدار چربی اندازه گیری شده از میزان چربی اولیه کسر شده و میزان جذب روغن بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید.

چروکیدگی

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان چروکیدگی نمونه‌های سرخ‌شده از پردازش تصویر استفاده شد (Yan et al., 2007; Yadollahinia et al., 2009). برای گرفتن تصویر، از یک دوربین (کانن^۲، IXY 30S، ژاپن) استفاده شد. تنظیمات دوربین در حالت خودکار، سرعت ISO برابر ۲۵۰، زوم یک، وایت بالانس خودکار و زمان در معرض قرار گرفتن $\frac{1}{160}$ ثانیه قرار گرفت. عکس‌ها با رزولوشن ۱۸۰ dpi و به فرمت jpg در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. برای دستیابی به تصویر، در ابتدا نمونه و شاهد بر روی یک صفحه سیاه رنگ قرار داده شدند. جهت دستیابی به استاندارد تصویر برداری از یک شی مدور با قطر ۱۸/۸ میلی‌متر استفاده شد. دوربین در فاصله ۲۵ سانتی‌متری و به طور کاملاً عمود بر نمونه، بر روی یک پایه تثبیت شد. سپس جهت جلوگیری از اعوجاج هندسی، دوربین بر روی نمونه زوم شد. همچنین برای آنکه تصویر برداری به طور کامل بدون حرکت و جابجایی دوربین انجام شود، از منوی تصویر برداری با زمان تأخیر استفاده شد. ابتدا شی مدور در محل مناسب قرار داده شد و تصویر گرفته شد. سپس نمونه به طور دقیق در همان محل شی دایروی قرار داده شد و تصویر نمونه نیز گرفته شد. جهت اندازه گیری سطح نمونه با استفاده از تصویر، از نرم افزار MATLAB 2010b استفاده شد. در برنامه مربوطه، پس از خواندن



شکل ۲- محاسبه سطح نمونه رشته خوشکار با استفاده از پردازش تصویر

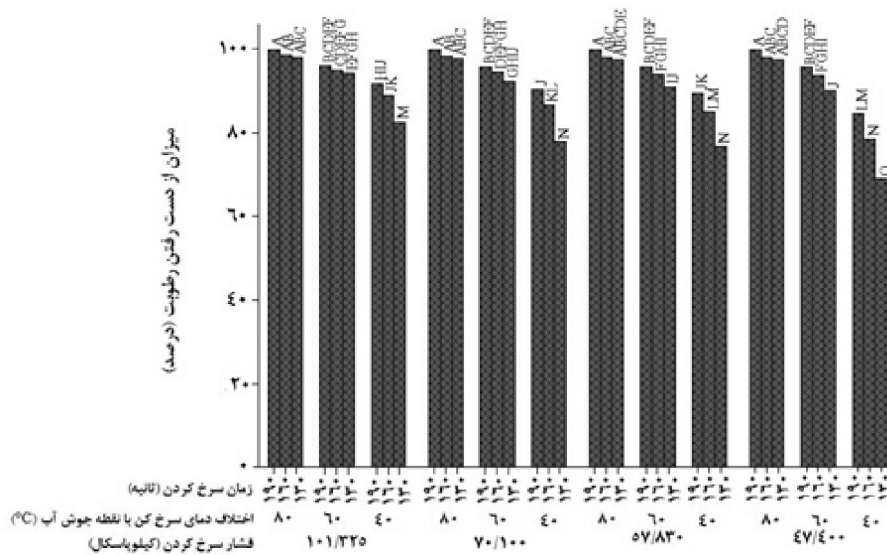
تجزیه و تحلیل نتایج

آزمایش‌ها در قالب آرایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح فشار (فشارهای ۴/۴، ۵۷/۸۳، ۷۰/۱ و ۱۰۱/۳۲۵ کیلو پاسکال)، سه سطح دما (در هر فشار دمای متناظر با ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سلسیوس اختلاف با نقطه جوش آب) و سه سطح زمان سرخ کردن (۱۳۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ ثانیه) بودند. این رهیافت برای تعیین میزان اثرات فاکتورهای مختلف (فشار سرخ کردن، دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن) به کار رفت (Montgomery, 2001). جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. جهت بررسی‌های آماری از نرم افزار آماری مینی تب نسخه ۱۶ و برای رسم نمودارها از نرم افزارهای مینی تب نسخه ۱۶، اکسل نسخه ۲۰۰۷ و تک پلات ۳۶۰ استفاده شد. جهت پردازش تصویر نرم افزارهای ایمج جی و متلب به کار رفت.

نتایج و بحث

افت رطوبت

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که فشار سرخ کردن بر میزان رطوبت باقیمانده در رشته خوشکار اثر معنی دار داشته است و با کاهش فشار و در شرایط خلأ افت رطوبت کمتر بوده است. دمای سرخ کردن نیز بر افت رطوبت اثرگذار بوده و هر چه دمای سرخ کردن افزایش یافت میزان رطوبت باقیمانده در فرآورده کمتر بود. افزایش زمان سرخ کردن نیز موجب افت بیشتر رطوبت شده و میزان رطوبت باقیمانده در فرآورده به طور معنی داری کمتر بود ($P < 0.05$). به طور کلی اثر متقابل دما و زمان بر افت رطوبت نسبت به فشار بیشتر بود و در زمان سرخ کردن طولانی‌تر و دمای بالاتر رطوبت بیشتری از رشته خوشکار تبخیر شد (شکل ۳).



شکل ۳- اثر متقابل زمان سرخ کردن، اختلاف دمای سرخ کردن و فشار سرخ کن بر میزان رطوبت رشته خوشکار

اولین دوره، یک دوره افزایش حرارت است که طی آن مواد جامد مرطوب حرارت را از محیط اطراف جذب می‌کنند. دمای فرآورده از دمای اولیه به دمایی که رطوبت شروع به تبخیر از مواد غذایی می‌کند، افزایش می‌یابد. در سرخ کردن تحت خلأ مدت زمان افزایش دمای اولیه بسیار کوتاه است بنابراین تعیین آن به صورت کمی دشوار است. دومین دوره، خشک کردن به عنوان دوره ثابت خشک کردن شناخته شده است. در این دوره سرعت خشک شدن به وسیله سرعتی که حرارت از محیط خشک کننده به فرآورده انتقال می‌یابد، محدود می‌شود. تا زمانی که سطح مواد غذایی مرطوب باشد، وضعیت خشک کردن ثابت ادامه می‌یابد. در مورد چیپس‌های سیب زمینی سرخ شده به روش تحت خلأ، مرحله ثابت خشک کردن قابل مشاهده نبود. سرعت خشک شدن با ورود به مرحله نزولی کاهش می‌یابد و در این دوره میزان رطوبت در فرآورده تا حدی پایین است که سطح فرآورده دیگر مرطوب نیست. طی این دوره، سرعت خشک شدن به وسیله مکانیسم نفوذ رطوبت، کنترل می‌شود. آب در طول این دوره به وسیله جذب چند مولکولی و چگالش مویینگی حفظ می‌شود (Toledo, 1991). Garayo & Moreira (۲۰۰۲) به این نتیجه رسیدند که تیمار فشار تحت خلأ راهی قابل ملاحظه است که میزان افت رطوبت را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در سرخ کردن تحت خلأ از دست رفتن شدید اولیه رطوبت، مشابه شرایط اتمسفری است مخصوصاً وقتی که نیروی پیشران حرارتی افزایش می‌یابد. تفاوت سرخ کردن تحت خلأ و شرایط اتمسفری می‌تواند تا حدودی به علت تغییرات ریز ساختاری باشد که طی مرحله شکستن خلأ اولیه و پس از تبخیر آب آزاد سطحی رخ می‌دهد و ممکن است بر از دست رفتن رطوبت تأثیر بگذارد. این مشاهدات توسط پژوهشگران دیگر هنگامی که بر روی سرخ کردن تحت شرایط اتمسفری کار می‌کردند، مشاهده شد (Ngadi *et al.*, 2007; Mariscal & Bouchon, 2008; Adedeji *et al.*, 2009) و تأیید می‌کرد که کاهش روغن در قطعه‌های سرخ شده تحت خلأ عمدتاً نتیجه کاهش افت رطوبت در زمان مشابه سرخ کردن است (Mariscal & Bouchon, 2008). با توجه به اثر خلأ، زمان و دمای فرایند سرخ کردن، Fan و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که طی سرخ کردن تحت خلأ با کاهش فشار خلأ محتوای رطوبتی و نیروی شکستن چیپس هویج کاهش می‌یابد و دما و زمان سرخ کردن افزایش می‌یابد. دمای سرخ کردن، فشار خلأ و زمان سرخ کردن به طور معنی داری محتوای رطوبت را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

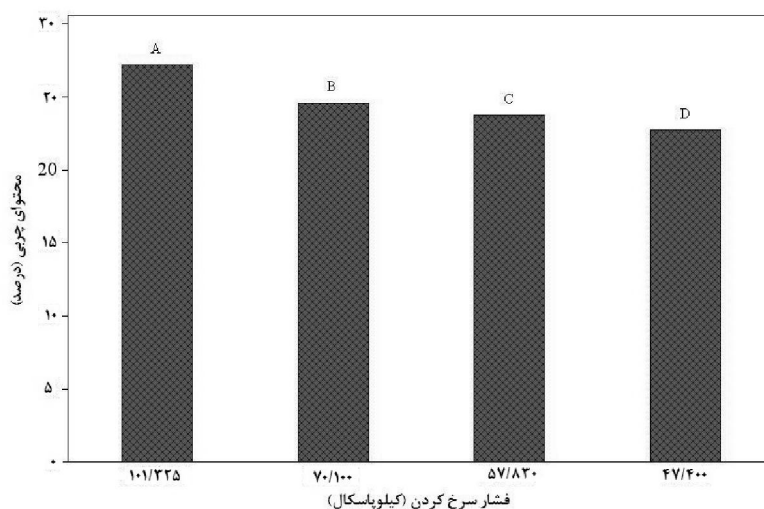
Garayo & Moreira (۲۰۰۲) سه دوره مجزا در فرایند خشک کردن مواد غذایی شناسایی کردند.

یافت (شکل ۴). دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن نیز اثر معنی داری بر جذب روغن داشتند. با افزایش دما و زمان سرخ کردن میزان جذب روغن افزایش یافت ($P < 0.05$). به این ترتیب بیشترین جذب روغن در فرآورده های سرخ شده در فشار اتمسفری و اختلاف دمای ۸۰ درجه سلسیوس با نقطه جوش آب و زمان ۱۹۰ ثانیه مشاهده شد هر چند که اختلاف معنی داری با زمان ۱۶۰ و ۱۳۰ ثانیه نداشت. در حالیکه کمترین جذب روغن در فشار ۴۷/۴ کیلو پاسکال، اختلاف دمای ۴۰ درجه سلسیوس با نقطه جوش آب و زمان ۱۳۰ ثانیه به دست آمد (شکل ۵).

همچنین آنها یک همبستگی منفی بین فشار خلأ و سرعت افت رطوبت برای یک دمای مشابه روغن مشاهده کردند چون وقتی فشار بسیار پایین می آید، نقطه جوش آب نیز کاهش می یابد و آب در چیپس های سیب زمینی در میزان خلأ بالاتر، شروع به تبخیر سریع تر می کند.

جذب روغن

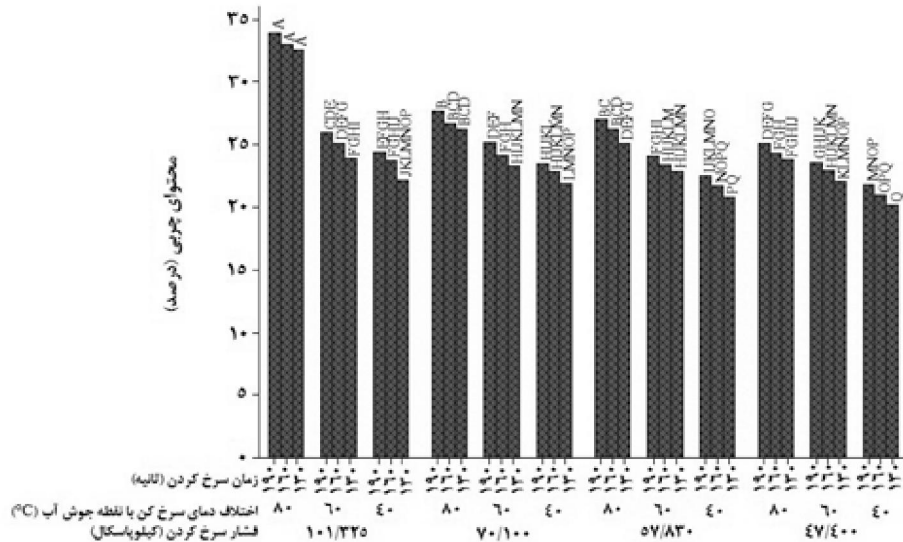
سرخ کردن در خلأ نسبت به شرایط اتمسفری تأثیر معنی داری بر جذب روغن داشت ($P < 0.05$). جذب روغن در شرایط خلأ کمتر از شرایط اتمسفری بود و با کاهش فشار سرخ کردن، جذب روغن کاهش



شکل ۴- اثر فشار سرخ کن بر میزان چربی رشته خوشکار

Garayo & Moreira. (Mir-Bel *et al.*, 2009) (۲۰۰۲) برای حذف روغن اضافی روی سطح چیپس سیب زمینی بعد از برداشتن فرآورده از سرخ کن، از کاغذ جاذب استفاده و مشاهده کردند که جذب روغن در چیپس های سیب زمینی با رطوبت از دست رفته طی فرایند مرتبط است.

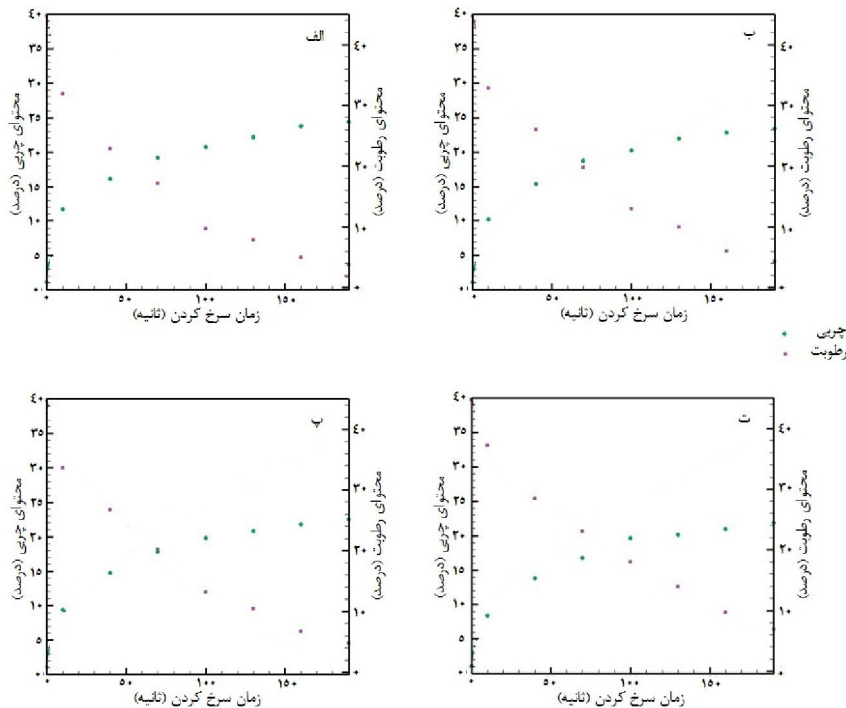
در مطالعات موجود در مورد جذب روغن طی سرد کردن فرآورده سرخ شده در فشار اتمسفری این گونه در نظر گرفته شده است که جذب روغن به علت گرادیان فشار ایجاد شده توسط میعان بخار در فضای داخلی ایجاد می شود. بعلاوه برای سرخ کردن تحت خلأ، تغییر در فشار طی سرد کردن با شکستن خلأ ایجاد می شود که باید به این عامل ها اضافه گردد



شکل ۵- اثر متقابل زمان سرخ کردن، اختلاف دمای سرخ کردن و فشار سرخ کن بر جذب روغن رشته خوشکار

خشک می‌شود و آب دوستی خود را از دست می‌دهد. روغن ممکن است به قطعات بچسبد و به داخل فرآورده وارد شود. نشان داده شده است که مقدار روغن وارد شده به قطعه‌ها به طور مستقیم، متناسب با مقدار رطوبت از دست رفته است (Gamble et al., 1987). در نتایج پژوهش حاضر نیز این امر مشاهده شد (شکل ۶).

به نظر می‌رسد که محتوای روغن با محتوای رطوبت مرتبط باشد. وقتی برش‌های سیب در روغن داغ قرار داده می‌شوند، محتوای رطوبت به سرعت افت می‌کند. سطح بیرونی قطعه‌ها خشک می‌شوند و یک گرادیان انتشار ایجاد شده و رطوبت داخل قطعات تبدیل به بخار می‌شود. با ادامه این پدیده، سطح خارجی اطراف ناحیه‌ای که رطوبت از دست رفته،

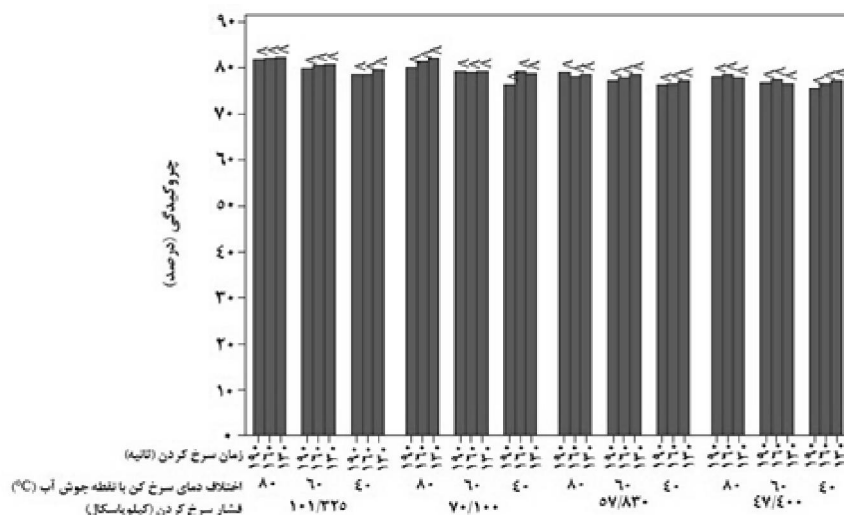


شکل ۶- تغییرات محتوای رطوبت و چربی رشته خوشکار طی سرخ کردن در نیروی پیشران حرارتی ۴۰ درجه سانتی‌گراد و فشار های مختلف (الف: فشار ۱۰۱/۳۲۵ کیلو پاسکال، ب: ۷۰/۱ کیلو پاسکال، پ: ۵۷/۸۳ کیلو پاسکال و ت: ۴۷/۴ کیلو پاسکال)

چروکیدگی

طی سرخ کردن در فشارها، زمان‌ها و دماهای مختلف سرخ کردن چروکیدگی حجمی ۱۸-۲۳ درصد بود. در دماهای بالاتر میزان عددی چروکیدگی کمتر بود (شکل ۷). هرچند که این اختلاف به لحاظ آماری معنی دار نبود ($P > 0.05$). در اغلب موارد میزان چروکیدگی در فرایند سرخ کردن به سرعت انتقال رطوبت وابسته است و برای تمام شرایط سرخ کردن، ۵۰ درصد چروکیدگی تقریباً در یک سوم کل زمان سرخ کردن اتفاق می‌افتد. Costa و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند ضخامت سیب زمینی به طور نمایی با زمان سرخ کردن کاهش می‌یابد. سرعت چروکیدگی با زیاد شدن دمای سرخ کردن افزایش می‌یابد و با کاهش ضخامت، کاهش می‌یابد؛ در نتیجه چروکیدگی نهایی تحت تأثیر دما قرار نمی‌گیرد. به جز مواقعی که

رطوبت فرآورده از ابتدا پایین است، حجم نمونه به طور عمده در نتیجه کاهش رطوبت، کم می‌شود. در مورد برخی مواد غذایی در پایان سرخ کردن (به ویژه برای نمونه‌های کوچک و دماهای سرخ کردن بالا)، حجم به دلیل جذب روغن و تجمع بخار آب به دام افتاده افزایش می‌یابد (Costa *et al.*, 1997). برای خلال‌های سیب زمینی سرخ شده (Krokida *et al.*, 2000a) جذب روغن و افت رطوبت با افزایش دمای روغن افزایش یافته و ضخامت نمونه‌ها کاهش یافت ولی چروکیدگی طی سرخ کردن ناچیز بود. با افزایش دمای روغن و کاهش در ضخامت نمونه، حجم ویژه کاهش یافت (Krokida *et al.*, 2000b). دیسک توفو طی سرخ کردن در ۱۷۲-۱۴۷ درجه سلسیوس در روغن کانولا در محدوده ۱۳/۵-۹/۰ درصد چروکیدگی شد (Baik & Mittal, 2005).



شکل ۷- اثر متقابل زمان سرخ کردن، اختلاف دمای سرخ کردن و فشار سرخ کن بر چروکیدگی رشته خوشکار

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سرخ کردن تحت خلأ بر محتوای رطوبت و چربی فرآورده سرخ شده نهایی تأثیر معنی داری دارد و می‌تواند نسبت به سرخ کردن در شرایط اتمسفری رشته خوشکار سرخ شده‌ای با محتوای رطوبت بالاتر و چربی کمتر ایجاد کند. از سوی دیگر مشخص شد که

برای تولید رشته خوشکار با محتوای چربی کمتر بهتر است این فرآورده را در زمان و دمای کمتری سرخ کرد. رشته خوشکار سرخ شده در فشار ۴۷/۴ کیلو پاسکال، نیروی پیشران حرارتی ۴۰ درجه سلسیوس و زمان ۱۳۰ ثانیه کمترین جذب روغن و افت رطوبت را داشت. هرچند که هیچ‌کدام از این عوامل بر چروکیدگی اثر معنی داری ندارند.

منابع

- ۱- خاور، ز. ۱۳۸۸. هنر آشپزی در گیلان. انتشارات عطایی، تهران.
- 2- Adedeji, A. A., Ngadi, M. O., & Raghavan, G. S. V. 2009. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of Food Engineering*, 91: 146-153.
- 3- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 925.10 & 963.15 Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- 4- Baik, O. D. & Mittal, G. S. 2005. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. *Food Research International*, 38: 183-191.
- 5- Bajaj, I & Singhal, R. 2007. Gellan gum for reducing oil uptake in sev, a legume based product during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 104: 1472-1477.
- 6- Bertolini Suárez, R, Campanõ ne, Garcia, L.A M.A. & Zaritzky, N.E. 2008. Comparison of the deep frying process in coated & uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*, 84: 383-393.
- 7- 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.
- 8- Costa, R.M., Oliveira, F.A.R. & Boutcheva, G. 1997. Structural changes and shrinkage of potato during frying. *International Journal of Food Science & Technology*, 36: 11-23.
- 9- Da Silva, P. & Moreira, R. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT Food Science and Technology*, 41: 1758-1767.
- 10- Dana, D. & Saguy, I. S. 2006. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth- a review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128-130: 267-272.
- 11- Dueik, V., Robert, P. & Bouchon, P. 2010. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119: 1143-1149.
- 12- Fan, L. P., Zhang, M. & Mujumdar, A. S. 2005. Vacuum Frying of Carrot Chips. *Drying Technology: An International Journal*, 23: 645 - 656.
- 13- Farkas, B.E. 1994. Modeling Immersion Frying as a Moving Boundary Problem. Ph.D. Thesis, University of California, Davis, USA.
- 14- Fiszman, S. M., Salvador, A. & Sanz, T. 2005. Why, when and how hydrocolloids are employed in batter-coated food - A review. *Progress in Food Biopolymer Research*, 1: 55-68.
- 15- Freitas, D., Berbari, S, Prati, P, Fakhouri, F, Queiroz, F. & Vicente, E. 2009. Reducing of fat uptake in cassava product during deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 94: 390-394.
- 16- Gamble, M. H., Rice, P. & Selman, J. D. 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22: 233-241.
- 17- Garayo, J. & Moreira, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55: 181-191.
- 18- Garcia, M.A, Ferrero, C.A, Bertola, N.A, Martino, M. & Zaritzky, N. 2002. Edible coating from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3: 391-397.
- 19- Gazmuri, A.M. & Bouchon, P. 2009. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 115: 999-1005.

- 20- Hubbard, L. J. & Farkas, B. E. 2000. Influence of oil temperature on convective heat transfer during immersion frying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24: 143-162.
- 21- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. & Marinos-Kouris, D. 2001a. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*, 49: 339-345.
- 22- Krokida, M., Oreopoulou, V, Maroulis, Z.B. & Marinos-Kouris, D. 2001c. Deep fat frying of potato strips-quality issues. *Drying Technology*, 19: 879-935.
- 23- Krokida, M.K., Oreopoulou, V. & Maroulis, Z.B. 2000b. Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. *Journal of Food Engineering*, 43: 147-54.
- 24- Krokida, M.K., Oreopoulou, V. & Maroulis, Z.B. 2000d. Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering*, 44: 39-46.
- 25- Mallikarjunan, P., Chinnan, M.S, Balasubramaniam, V.M. & Phillips, R.D. 1997. Edible coating for deep-fat frying of starchy products. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 30: 709–714.
- 26- Mariscal, M. & Bouchon, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, 107: 1561-1569.
- 27- Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep fat-fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, 14: 364–373.
- 28- Mir-Bel, J., Oria, R. & 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.
- 29- Montgomery, C. D. 2001. *Design and analysis of experiments*, fifth edition. Wiley, New York.
- 30- Moyano, P. C., Río seco, V. K. & González, P. A. 2002. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated french fries. *Journal of Food Engineering*, 54: 249-255.
- 31- Ngadi, M, Dirani, K. & Oluka, S. 2006. Mass transfer characteristics of chicken nuggets. *International Journal of Food Engineering*, 2: 1–16.
- 32- 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: 1784–91.
- 33- Quasem, J.M, Mazahreh, A.S, Abu-Alruz, K, Afaneh, I.A, Al-Muhtaseb, A.H. & Magee T.R.A. 2009. Effect of methyl cellulose coating and pre-treatment on oil uptake, moisture retention and physical properties of deep-fat fried starchy dough system. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 4: 156-166.
- 34- Rimac-Brcic, S, Lelas, V., Rade, D. & Simundic, B. 2004. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 64: 237-241.
- 35- Sahin, S. & Sumnu, G. 2009. *Advances in deep-fat frying of foods*. New York: Taylor & Francis Group.
- 36- Toledo, R. R. 1991. *Fundamentals of food process engineering*, 2nd edn. Van Nostrand Reinhold Company, Inc., New York.
- 37- 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.
- 38- Varela, G., Bender, A.E & Morton, I.D. 1988. *Frying of Foods*. Ellis Horwood Ltd., Chichester.
- 39- Yadollahinia, A., Latifi, A. & Mahdavi, R. 2009. New method for determination of potato slices shrinkage during drying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2): 268-274.

-
- 40- Yan, Z., Sousa-Gallagher, J. M. & Oliveira, A. R. F., 2007. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 83: 430-440.
- 41- 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.

Evaluation of atmospheric and vacuum frying on properties of deep fat fried Reshte-Khoshkar

Seyed Ahmad Shahidi^{1*}, Mohebbat Mohebbi², Ali Motamedzadegan³, Aman Mohammad Ziaifar⁴, Javad Abolfazli Esfahani⁵, Seyed Ali Mortazavi⁶

1- PhD. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

* Corresponding author (sashahidy@yahoo.com)

2- Associated professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Assistant professor, Department of Food Sciences and Technology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Assistant professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

5- Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

6- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Vacuum frying is a new technology that can be used to improve the quality attributes of fried food because of the low temperatures employed and minimal exposure to oxygen. In this paper, the atmospheric and vacuum frying of Reshte-Khoshkar (a traditional Gilan-Iran sweet cookie) were compared. Four pressure levels (47.4, 57.83, 70.1 and 101.325 kPa), with three frying times (130, 160 and 190 s) and three thermal driving forces ($\Delta T=40, 60, \text{ and } 80^\circ\text{C}$, constant difference between the oil temperature and the boiling point of water at the applied pressure) were used for frying. The effects of frying time, vacuum level and frying temperature on physical properties, such as moisture loss, oil absorption, and shrinkage were investigated. Moisture loss and oil absorption of fried Reshte-Khoshkar were significantly affected by frying pressure, frying time and frying temperature. The results showed that the moisture content decreased with increasing the frying pressure, frying time and frying temperature and fat content increased. Interestingly, a strong relationship between water loss and oil content was observed in both techniques. Vacuum frying was shown to be a promising technique that could be used to reduce oil content in the fried Reshte-Khoshkar. Shrinkage was not directly related to the frying condition of Reshte-Khoshkar.

Keywords: Deep-fat frying; Oil uptake; Reshte-Khoshkar; Vacuum frying