

تأثیر شرایط انجماد و سرخ کردن نهایی بر ویژگی‌های فیزیکی ناگت مرغ

نفسیه جهان‌بخشیان^۱، ناصر همدمی^{۲*} و محمد شاهدی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۳۰

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۳ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*مسئول مکاتبه: Email: hamdami@cc.iut.ac.ir

چکیده

فرایند انجماد به دلیل بهبود کیفیت، ایمنی و افزایش عمر ماندگاری مواد غذایی از دیر باز مورد توجه بوده است. انجماد، بسته به سرعت آن می‌تواند اثرات بافتی نامطلوبی در مواد غذایی ایجاد نماید. چنین اثر نامطلوبی بعد از سرخ کردن نهایی با جدا شدن و یا ترک خوردن پوسته در محصولات دوقسمتی مانند ناگت مرغ ظاهر می‌شود. در تحقیق حاضر اثر انجماد بر ویژگی‌های فیزیکی ناگت مرغ حین فرایند انجماد و پس از سرخ کردن نهایی بررسی شد. بدین منظور از سه دمای ۲۰-، ۳۰- و ۴۰°C^۰ در تونل انجماد استفاده شد. از دستگاه بافت سنج و آزمون‌های فشاری و نفوذی به ترتیب جهت ارزیابی بافت ناگت مرغ پس از انجماد و پس از سرخ کردن نهایی استفاده شد. میزان پوشش ترک خورده یا جدا شده ناگت پس از سرخ کردن نهایی با استفاده از روش پردازش تصویر محاسبه گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که با کاهش دما طی فرایند انجماد مدول یانگ (سختی) افزایش یافته و نسبت پواسون کاهش می‌یابد. همچنین میزان ترک‌های ریز در سطح پوسته بعد از سرخ کردن نهایی افزایش یافته اما میزان جدا شدن پوسته کاهش می‌یابد. دماهای متفاوت تونل انجماد تأثیر معنی‌داری بر میزان سفتی نداشتند اما این اثر پس از سرخ کردن نهایی در سطح احتمال ۹۵٪ معنی‌دار بود.

واژگان کلیدی: انجماد، پردازش تصویر، مدول یانگ، ناگت مرغ، نسبت پواسون

مقدمه

کاهش داده و همین امر منجر به حفظ ایمنی و کیفیت، و نهایتاً افزایش عمر ماندگاری مواد غذایی می‌شود (پرسون ۱۹۹۳). در زمینه اثر انجماد بر ویژگی‌های کیفی، تأثیر بر بافت محصول مهم‌ترین شاخص است و اثر بر سایر ویژگی‌های کیفی (رنگ، طعم و محتوی مواد مغذی) از اهمیت کمتری برخوردار است. با این وجود

انجماد نوعی عملیات واحد است که طی آن دمای ماده‌ی غذایی به زیر نقطه‌ی شروع انجماد رسیده و بخشی از آب موجود تغییر فاز داده و به کریستال‌های یخ تبدیل می‌شود. تثبیت آب به شکل یخ و همچنین تغلیظ مواد محلول در آب منجمد نشده، فعالیت آبی ماده‌ی غذایی را

ترد محصولات سرخ شده، رایج‌ترین روش پیش پخت کردن چنین محصولاتی همان سرخ کردن عمیق می‌باشد (چو و مین ۲۰۰۷). دمای روغن و مدت زمان قرار گرفتن محصول در آن اثر مستقیم بر تردی سطح، رنگ و جذب روغن دارد. بهترین دما جهت سرخ کردن ۱۷۰ تا ۱۹۰°C^۱ پیشنهاد شد چرا که ویژگی‌های بافتی مطلوبی در محصول نهایی ایجاد می‌کند (اوانورینی و پورنومو ۲۰۱۱، کیلینکر و هپساگ ۲۰۱۱، اجاق و همکاران ۲۰۱۳).

همان طور که ذکر شد بررسی منابع نشان می‌دهد که با وجود نقش موثر فرایند انجماد در تولید محصولات نیمه آماده، اثر فرایند انجماد بر ویژگی‌های محصولات دوقسمتی نیمه آماده از جمله ناگت مرغ پس از سرخ کردن نهایی تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است لذا هدف تحقیق حاضر مطالعه اثر شرایط انجماد و سرخ کردن نهایی بر خصوصیات فیزیکی ناگت مرغ بود تا با پوشش دادن این بخش گامی جهت بهبود کیفیت این دسته از محصولات منجمد برداشته شود. لازم به ذکر است که از نتایج حاصله می‌توان برای مواد غذایی مشابه مانند سایر ناگتها، شنیسل و فلافل‌های منجمد آماده مصرف بهره برد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

ناگت مرغ استوانه‌ای شکل با ابعاد ۲/۲×۴ سانتی‌متر از یک کارخانه محصولات آماده مصرف (پاپلس، اصفهان) تهیه شد. جهت بررسی خواص مکانیکی پوسته تعدادی نمونه استوانه‌ای شکل با همان درصد ترکیبات پوسته ناگت در ابعاد ۴/۳۵ × ۱/۲۴ سانتی متر تهیه شد. کلیه نمونه‌ها مرحله پیش سرخ کردن را در کارخانه در روغن با دمای ۱۸۰°C^۱ به مدت ۱۰۰ ثانیه گذرانده و پس از سرد شدن و پیش از مرحله انجماد در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شدند. جهت بررسی ویژگی‌های مغز ناگت،

تحقیقات کمی در زمینه اثر انجماد بر بافت مواد غذایی صورت گرفته است (ترومک و همکاران ۲۰۰۸). تاثیر انجماد بر بافت موارد مختلفی را شامل می‌شود از تغییرات کوچک میکروسکوپی ایجاد شده در اثر کریستال‌های یخ که بیشتر در انجماد آهسته اتفاق می‌افتد تا تغییرات بافتی ماکروسکوپی مانند ترک خوردگی محصول که اکثراً در انجمادهای سریع اتفاق می‌افتد (فام و همکاران ۲۰۰۵). ترک خوردگی محصولات معمولاً در زمان انجماد مشاهده نمی‌شود و این آثار از جمله ترک خوردگی پوسته در محصولات دو قسمتی پس از رفع انجماد و در مواردی که نیاز به فرایند تکمیلی مانند سرخ کردن است پس از سرخ کردن نهایی پدیدار می‌شود. یکی از مشکلات محصولات دوقسمتی (شامل پوسته و مغز)، ترک خوردن و یا جدا شدن پوسته پس از فرایند نهایی توسط مصرف کننده است. در اکثر مطالعات انجام شده برای جلوگیری از بروز این مشکل و همچنین کاهش جذب روغن و حصول رنگ مناسب‌تر پوسته، ترکیب خمیر پوشش دهنده را تغییر داده اند برای مثال از آرد نرت، برنج و سویا به جای آرد گندم استفاده شده است (دوگان و همکاران ۲۰۰۵، زو و گادی ۲۰۰۶) و یا از *HPMC*، *CMC* و یا نشاسته اصلاح شده در فرمول خمیر استفاده شده است (چن و همکاران ۲۰۰۹). همچنین اثر *HPMC* صمغ زانتان و نشاسته اصلاح شده در فرمول آرد^۱ مورد بررسی قرار گرفته است (آلبرت و همکاران ۲۰۰۹). مطالعاتی نیز در زمینه جایگزینی آب با آب پنیر در بهبود خواص کیفی ناگت خوک صورت گرفته است (کومار و همکاران ۲۰۰۷) در تعدادی از مطالعات نیز تاثیر فرایندهای پیش از انجماد بر روی بافت و تخریب‌های بافتی بررسی شده است. برای مثال در تحقیقی حفظ کیفیت بالاتر مواد در روش پخت با مایکروویو و یا آون در مقایسه با سرخ کردن عمیق به اثبات رسید (آلبرت و همکاران ۲۰۰۹). با این وجود به دلیل عطر و طعم مطلوب رنگ مناسب و بافت

¹ Predust

محدودیت های آزمون‌های بافتی مورد استفاده (آزمون نفوذ سنجی و آزمون فشاری) بود.

سرخ کردن نهایی

سرخ کردن نهایی نمونه‌های منجمد شده در دماهای انجماد متفاوت بدون رفع انجماد در سرخ کن در دمای 180°C و به مدت ۳۰۰ ثانیه صورت گرفت. نمونه‌ها بعد از خروج از روغن و جذب روغن اضافه سطح مورد ارزیابی بافت قرار گرفتند.

آزمون‌های بافتی

ویژگی‌های مکانیکی مورد سنجش مدول یانگ^۲ و نسبت پواسون^۳ بود که با استفاده از دستگاه بافت سنج^۴ ساخت شرکت سانتام^۵ اندازه‌گیری شد. برای این منظور از آزمون فشاری با سل ۵۰۰ نیوتن و قطر پروب ۵ سانتی‌متر استفاده شد که نمونه را با سرعت 20 mm/min تا زمان شکست تحت فشار قرار میداد. مدول یانگ توسط دستگاه محاسبه شد. در حقیقت مدول یانگ شیب بخش خطی نمودار تنش به کرنش می‌باشد که به نوعی بیانگر میزان سفتی نمونه‌ها است (فام و همکاران ۲۰۰۵).

جهت محاسبه نسبت پواسون حین انجام آزمون فشاری از نمونه فیلمبرداری شد و پس از تبدیل فیلم به عکس و مشخص کردن زمان دقیق شکست نمونه نسبت پواسون با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} = -\frac{\Delta D/D}{\Delta L/L}$$

که ε_z و ε_y به ترتیب مقدار کرنش در جهت شعاعی و عمودی می‌باشد. در حقیقت ε_y تغییرات عرض به عرض اولیه و ε_z تغییرات طول به طول اولیه می‌باشد. که جهت استخراج این مقادیر از عکس‌ها از نرم افزار *Image J* استفاده شد.

برای ارزیابی بافت نمونه‌های سرخ شده از آنجا که هدف ارزیابی همزمان پوسته و مغز ناگت کامل بود از آزمون

پوسته از سطح ناگت جدا شد که بدین ترتیب ابعاد مغز ناگت $3/44 \times 1/67$ سانتی‌متر بود.

مرحله انجماد

نمونه‌های مغز و پوسته ناگت در یک تونل انجماد هوای متحرک تحت سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و دماهای -20°C و -30°C منجمد شدند. برای هر یک از تیمارها حداقل دو تکرار در نظر گرفته شد. جهت مطالعه تغییرات بافت حین انجماد برای هر یک از تیمارها ۷ نمونه مغز و ۷ نمونه پوسته داخل تونل قرار گرفت که دمای مرکز یکی از نمونه‌ها توسط ترموکوپل نوع K ثبت می‌شد. با فرض یکنواخت بودن نمونه‌ها و یکسان بودن شرایط انجماد پس از رسیدن دمای مرکز نمونه‌ی دارای ترموکوپل به دمای مورد نظر یک نمونه از تونل خارج شده و تحت آزمون فشاری^۱ قرار گرفت. دماهای در نظر گرفته شده در این مرحله برای مغز ناگت ۹، ۰، ۳، $-3/5$ ، ۵، -10 و 15°C و برای پوسته ناگت ۹، ۰، ۵، -10 ، ۱۵، -20 و 25°C بود. این دماها بر مبنای نقطه‌ی شروع انجماد متفاوت مغز و پوسته به ترتیب $2/9$ و 17°C در نظر گرفته شد. به منظور تعیین پروفیل دمایی یک عدد ترموکوپل نوع K در مرکز ناگت و یک عدد دقیقاً زیر پوسته ناگت قرار گرفت و بر مبنای مدت زمان لازم جهت کاهش دما از نقطه شروع انجماد تا 10°C زیر آن سرعت انجماد دماهای متفاوت محاسبه شد.

تعدادی نمونه ناگت کامل نیز درون تونل در هر یک از دماهای ذکر شده قرار گرفت که این نمونه‌ها در مرحله سرخ کردن نهایی استفاده شدند. از نمونه‌های مغز و پوسته که به صورت جداگانه آماده شده بود به منظور بررسی اثر انجماد بر بافت مغز و پوسته‌ی ناگت استفاده شد و نمونه‌های ناگت کامل برای بررسی اثر انجماد بر سایر پارامترهای کیفی پس از سرخ کردن نهایی مورد استفاده قرار گرفت. علت استفاده از مغز و پوسته‌ی جداگانه به منظور تعیین ویژگی‌های بافتی حین انجماد

² Young modulus

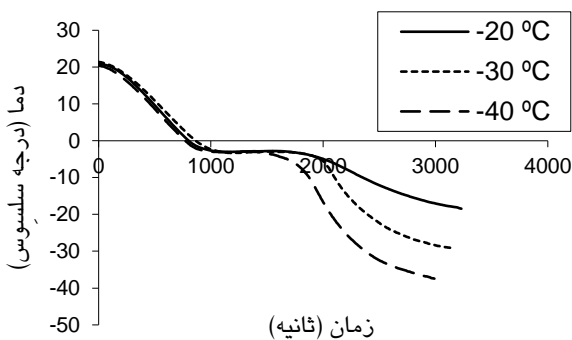
³ Poisson ratio

⁴ Texture Analyser

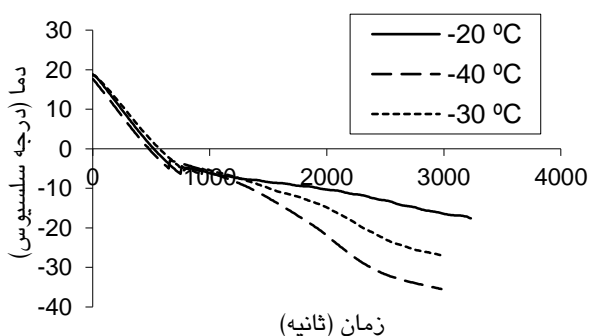
⁵ SANTAM

¹ Compression

یک مقاومت درونی در برابر انتقال حرارت وجود دارد که عامل کنترل‌کننده‌ی خروج گرما می‌باشد اما در نمونه‌های با ابعاد کوچک و سطح نمونه‌های در حال انجماد (شکل ۲) عامل اصلی در برابر خروج گرما مقاومت بیرونی می‌باشد این امر باعث می‌شود که سطح نمونه نسبتاً به سرعت از دماهای انجماد عبور کند در حالیکه مرکز تا دماهای نزدیک به نقطه‌ی انجماد سرد می‌شود و سپس در این محدوده در حالت غیر منجمد به مدت مشخصی باقی می‌ماند (فام ۲۰۱۴). جدول ۱ سرعت انجماد مغز ناگت مرغ را نشان می‌دهد همان طور که انتظار می‌رود هر اندازه دمای انجماد پایین‌تر باشد سرعت انجماد افزایش می‌یابد.



شکل ۱- پروفیل دمایی مرکز ناگت کامل



شکل ۲- پروفیل دمایی زیر پوسته ناگت کامل

جدول ۱- سرعت انجماد ناگت کامل در دماهای متفاوت

دما (°C)	-۲۰°C	-۳۰°C	-۴۰°C
سرعت (°C/min)	۰/۴۱۶	۰/۶۳۲	۰/۶۴۵

نفوذ سنجی^۱ با سل ۵۰ نیوتن و قطر پروب ۱ سانتی‌متر که با سرعت ۲۰ mm/min در نمونه نفوذ می‌کرد استفاده شد. با استفاده از نمودار نیرو در برابر جابجایی حاصل از این آزمون و محاسبه شیب بخش اول و دوم نمودار میزان مدول یانگ مربوط به پوسته و مغز ناگت حاصل شد. در این بخش برای هر یک از تیمارها و تکرارها حداقل ۳ نمونه در نظر گرفته شد.

بررسی میزان پوشش ترک خورده

به منظور بررسی میزان پوشش ترک خورده نمونه‌های سرخ شده ابتدا نمونه‌ها در محفظه مخصوصی که برای عکس گرفتن طراحی شده بود و نور روز را با زاویه ۴۵ درجه به نمونه می‌تاباند قرار گرفته و عکس برداری توسط دوربین دیجیتالی انجام گرفت. تصاویر بدست آمده با فرمت *tiff* توسط نرم افزار *Image J* مورد ارزیابی قرار گرفته و با توجه به تفاوت در روشنایی بخش‌های ترک خورده و سالم مساحت بخش‌های ترک خورده محاسبه شده و با تقسیم بر سطح کل درصد ترک خوردگی محاسبه شد. میزان پوشش جدا شده نیز به همین ترتیب محاسبه شد.

آنالیزهای آماری

از طرح کاملاً تصادفی حداقل در دو تکرار جهت آنالیز داده‌ها استفاده شد. آنالیزهای واریانس با استفاده از نرم افزار آماری *SAS* صورت گرفته و از آزمون *LSD* بر روی میانگین داده‌ها استفاده شد.

پروفیل دمایی و سرعت انجماد

در شکل‌های ۱ و ۲ پروفیل دمایی مرکز و زیر پوسته ناگت مرغ نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود نقطه شروع انجماد حدود -3°C می‌باشد که نمونه در این دما باقی می‌ماند تا تمام آب آن منجمد شود. اما در شکل ۲ این محدوده‌ی ثابت دیده نمی‌شود دلیل این امر این است که زمانی که ابعاد نمونه بزرگ باشد (مثل حالتی که ترموکوپل در مرکز نمونه قرار گرفته و فاصله‌ی آن از سطح انتقال حرارت زیاد است)

¹ Penetration

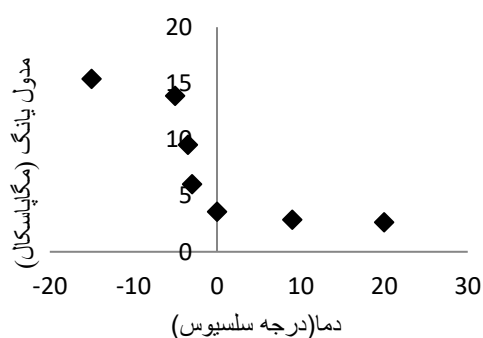
است که نمونه‌ای که سرد می‌شود به دلیل کند شدن حرکات مولکول‌ها انعطاف پذیری کمتری داشته و تغییرات طولی کمتری را حین اعمال فشار می‌تواند متحمل شود و زودتر به حد آستانه شکست می‌رسد. به همین جهت تغییرات عرض کم شده و نسبت پواسون کاهش می‌یابد (قام و همکاران ۲۰۰۵). از دو فاکتور اندازه‌گیری شده در این تحقیق در مدل سازی پدیده‌های ترمومکانیکی حین انجماد استفاده شده و علت ترک خوردگی محصولات منجمد همچنین راه کارهای جلوگیری از این پدیده مشخص می‌شود.

میزان سفتی نمونه ها پس از سرخ کردن نهایی

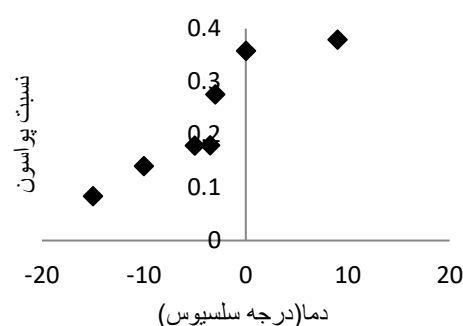
شکل‌های ۵ و ۶ میزان مدول یانگ پوسته و مغز ناگت مرغ را نشان می‌دهد. در مورد مغز ناگت هیچ تفاوت معنی‌داری بین مدول یانگ دماهای متفاوت انجماد پس از سرخ کردن نهایی مشاهده نشد. و این به معنی عدم وابستگی مدول یانگ به سرعت انجماد می‌باشد. الیویرا و سالدوری (۲۰۰۹) نیز نتایج مشابهی در مورد پاستای پخته شده منجمد و غیر منجمد گزارش کردند. اما در مورد پوسته ناگت با افزایش سرعت انجماد سفتی (مدول یانگ) به صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد. این مورد با نتایج بونسومرج و همکاران (۲۰۰۶) که نیروی برش میگوی منجمد را در سرعت‌های متفاوت انجماد بررسی کرده بودند در توافق است. در آزمایش‌های آنها نیروی برش در سرعت ۸ m/s به صورت معنی‌داری بالاتر از سرعت‌های ۴ و ۶ m/s بود. عدم وابستگی سفتی مغز ناگت به سرعت انجماد پس از سرخ کردن نهایی احتمالاً حالت محافظی است که پوسته دارد که مانع از خروج رطوبت زیاد از مغز می‌شود بنابراین با وجود کریستالهای یخ با اندازه‌های متفاوت در این نمونه‌ها از آنجا که محصول رطوبت خود را حفظ نموده تفاوت معنی‌داری در سختی ایجاد نمی‌شود.

اثر انجماد بر بافت نمونه ها

شکل‌های ۳ و ۴ نمایش‌گر اثر انجماد بر مدول یانگ و نسبت پواسون مغز ناگت مرغ می‌باشد. از آنجاییکه مدول یانگ و نسبت پواسون نمونه‌های منجمد شده در دماهای متفاوت اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند لذا از رسم شکل دماهای متفاوت صرف نظر شده و در شکل‌های ۳ و ۴ میانگین مدول یانگ و نسبت پواسون زیر-دماهای هر یک از تیمارها نمایش داده شده است.



شکل ۳- مدول یانگ مغز ناگت

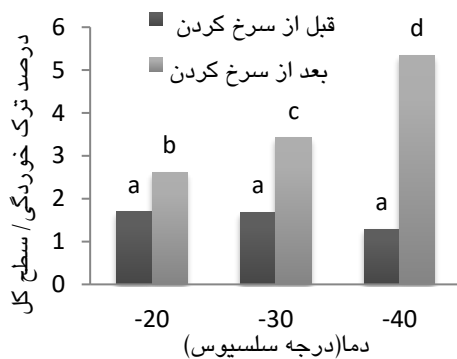


شکل ۴- نسبت پواسون مغز ناگت

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدول یانگ که به نوعی بیانگر سختی نمونه‌هاست با کاهش دما افزایش می‌یابد این افزایش سختی تا قبل از شروع انجماد ناچیز است اما به محض شروع انجماد که حدود دمای 0°C می‌باشد سختی به شدت افزایش می‌یابد که این به دلیل تبدیل آب نمونه به یخ است که در حقیقت تبدیل حالت مایع به جامد می‌باشد که سختی بالاتری دارد. در این تحقیق اما نسبت پواسون دقیقاً حالت عکس دارد دلیل این امر بدان جهت

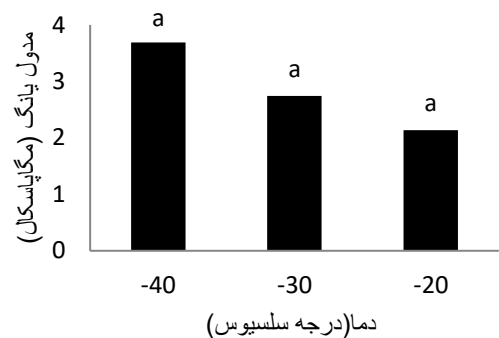
بررسی ترک خوردگی و پوشش جدا شده بعد از سرخ کردن نهایی

یکی از مشکلاتی که ممکن است بعد از سرخ کردن نهایی ناگت و به طور کلی محصولات دو لایه پیش آید ترک خوردگی پوسته و در مواقع شدیدتر جدا شدن بخشی از پوسته می‌باشد. شکل‌های ۷ و ۸ میزان پوشش ترک خورده و جدا شده ی ناگت های منجمد شده در دماهای متفاوت را قبل و پس از سرخ کردن نهایی نشان می‌دهد.

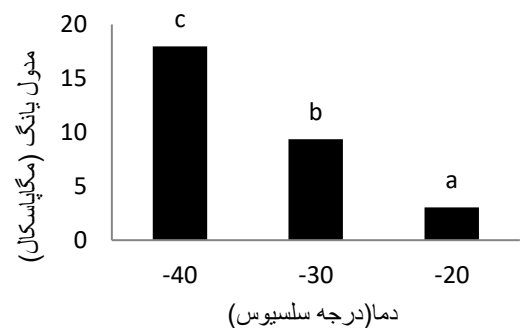


شکل ۷- درصد ترک خوردگی پوسته ناگت های مرغ منجمد شده در دماهای متفاوت قبل و بعد از سرخ کردن نهایی

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود درصد ترک خوردگی پوسته ناگت‌هایی که در دمای پایین‌تر منجمد شده‌اند بیشتر از ترک‌های نمونه‌هایی است که در دمای بالاتر منجمد شده‌اند عامل ترک خوردگی نمونه‌ها حین انجماد انبساط نمونه در اثر تبدیل آب به یخ (در اثر تبدیل آب به یخ حجم آب ۹٪ افزایش می‌یابد) و بعد از آن انقباض نمونه در اثر کاهش دما می‌باشد. هر اندازه سرعت انجماد بیشتر باشد این انقباض و انبساط‌ها با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد و نمونه نمی‌تواند خود را با شرایط منطبق ساخته و در نتیجه ترک می‌خورد (فام و همکاران ۲۰۰۵). همان‌طور که در شکل ۷ نیز مشخص است پیش از سرخ کردن اثر دماهای متفاوت انجماد ظاهر نمی‌شود اما بعد از سرخ کردن این تاثیر به صورت معنی‌داری خود را نشان می‌دهد. اما انجمادهای



شکل ۵- مدول یانگ مغز ناگت های منجمد شده در دماهای متفاوت پس از سرخ کردن نهایی



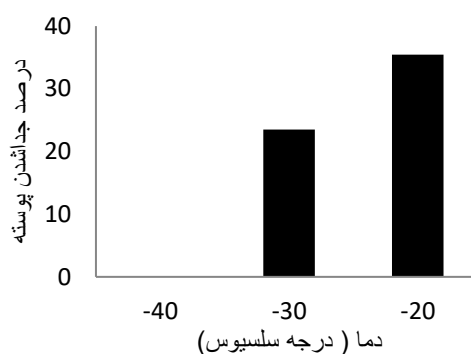
شکل ۶- مدول یانگ پوسته ناگت های منجمد شده در دماهای متفاوت پس از سرخ کردن نهایی

کاهش سفتی در اثر کاهش سرعت انجماد احتمالاً به دلیل کریستال‌های یخ درشت‌تری است که در دماهای بالاتر تشکیل می‌شود که باعث آسیب‌های بافتی حین سرخ کردن و رفع انجماد شده و همین امر باعث نرم شدن بافت می‌گردد. حین انجماد همان‌طور که مشاهده شد با تبدیل آب به یخ سفتی (مدول یانگ) افزایش یافت اما سرعت‌های متفاوت انجماد اثر معنی‌داری بر میزان سفتی نداشتند. به این معنا که سفتی تحت تاثیر کیفیت یخ (درشت یا ریز) قرار نگرفته و فقط به کمیت یخ تشکیل شده وابسته است. اما پس از رفع انجماد هر اندازه سرعت انجماد پایین‌تری وجود داشته باشد آسیب نهایی به بافت بیشتر خواهد شد و در نتیجه ی آسیب ایجاد شده و ایجاد چکابه‌ی بیشتر در انجماد کند بافت نرمتری پس از سرخ کردن نهایی حاصل می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌های بافت حین انجماد و پس از سرخ کردن نهایی نشان داد. که طی انجماد اندازه مدول یانگ چند برابر می‌شود اما دماهای متفاوت استفاده شده در این تحقیق اثر معنی داری بر مدول یانگ نداشتند. نسبت پواسون نیز کاهش می‌یابد بدون اینکه تیمارهای متفاوت اثر معنی‌داری بر آن داشته باشد. اما پس از سرخ کردن نهایی مدول یانگ با کاهش دمای انجماد افزایش یافته و این روند در مورد پوسته معنی‌دار بود و این مسئله بیانگر این واقعیت است که تخریب‌های بافتی در مرحله انجماد ظاهر نشده و پس از مرحله سرخ کردن نهایی نمایان می‌شود. ارزیابی‌های پوسته ناگت پس از سرخ کردن نهایی توسط روش پردازش تصویر با نرم افزار *Image J* نشان داد که میزان ترک‌های ریز با کاهش دمای انجماد افزایش یافته ولی میزان جدا شدن پوسته کاهش می‌یابد. شدت جدا شدن پوسته با افزایش دمای انجماد افزایش یافت که منجر به افت کیفیت محصول می‌گردد.

با سرعت کم نیز مشکلاتی به همراه دارند از جمله تشکیل کریستال‌های یخ خارج سلولی که بعد از رفع انجماد منجر به ایجاد چکابه در نمونه شده که در نمونه‌ی ناگت مرغ در اثر ایجاد این چکابه از مغز و پوسته و در نتیجه خمیری شدن پوسته بعد از سرخ کردن نهایی مقداری از پوسته جدا شده و باعث افت کیفیت و ظاهر نامطلوب ناگت می‌گردد. شکل ۸ نشان می‌دهد که در دمای -20°C میزان پوشش جدا شده صفر بوده و در دمای -40°C این میزان به حدود ۳۵٪ می‌رسد (قام و همکاران ۲۰۰۵).



شکل ۸- درصد پوسته جدا شده از ناگت‌های منجمد شده در دماهای متفاوت، بعد از سرخ کردن نهایی

منابع مورد استفاده

- Albert A, Perez-Munuera I, Quiles A, Salvador A, Fiszman SM and Hernando I, 2009. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as preducts using three cooking procedures. *Food Hydrocolloids* 23: 1443–1448.
- Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, Suzuki Tand Takai R, 2006. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing.
- Chen SD, Chen HH, Chao YC and Lin RS, 2009. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. *Journal of Food Engineering* 95:359–364.
- Choe E and Min DB, 2007. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. *Journal of Food Science*.
- Evanuarini H and Purnomo H, 2011. Physical and organoleptic quality of chicken nuggets fried at different temperature and time. *Journal of Agriculture and Food Technology* 8: 133-136.
- Kilincceker O and Hepsag F, 2011. Performance of different coating batters and frying temperatures for fried fish balls. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 10: 2256-2262.
- Kumar BR, Kalaikannan A and Radhakrishnan KT, 2007. Studies on processing and shelf life of pork nuggets with liquid whey as a replacer for added water. *American Journal of Food Technology* 2: 38-43.
- Ojagh SM, Shabanpour B and Jamshidi A, 2013. The Effect of Different Pre-Fried Temperatures on Physical and Chemical Characteristics of Silver Carp Fish (*Hypophthalmichthys molitrix*) Nuggets. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 5: 414-420.
- Olivera DF and Salvadori VO, 2009. Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta. *Journal of Food Engineering* 90: 271–276.

- Pham QT, 2014. Food freezing and thawing calculations. School of Chemical Engineering, UNSW, Australia. Springer New York Heidelberg Dordrecht London.
- Persson PO and Londahl G, 1993. Freezing technology. Glasgow, UK Blackie Academic and Professional.
- Pham QT, Bail AL, Hayert M and Tremeac B, 2005. Stresses and cracking in freezing spherical foods: a numerical model. *Journal of Food Engineering* 71:408–418.
- Tremeac B, Hayert M and Bail AL, 2008. Mechanical properties of Tylose gel and chocolate in the freezing range. *International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, 31: 867-873.
- Xue J and Ngadi M, 2006. Rheological properties of batter systems formulated using different flour combinations. *Journal of Food Engineering* 77:334–341.

Effect of freezing and final frying conditions on physical properties of chicken nugget

N Jahanbakhshian¹, N Hamdami^{2*} and M Shahedi³

Received: March 16, 2015

Accepted: December 20, 2016

¹PhD Student, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

²Associate Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

³Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding author: Email: hamdami@cc.iut.ac.ir

Abstract

Freezing is one of the important refrigeration processes widely applied in food preservation, but textural defects can occur during process depending on freezing rate. These phenomena usually occur during freezing but become visible in the shape of crust cracking and flaking after final frying. This paper represents the effect of freezing and final frying conditions on some physical properties of chicken nugget. Three freezing temperatures (-20, -30 and -40°C) was used in this study. A texture analyzer by compression and penetration tests were used to assess the rigidity of sample after freezing and final frying respectively. Video capturing method was used during compression test for acquiring poisson ratio; also, crust cracking and flaking of chicken nugget after freezing and final deep fat frying were evaluated by image analysis. The results showed that reduction in freezing temperature causes an increase in Young's modulus especially at around of freezing point. But poisson ratio decreased gradually by temperature reduction with the greatest change at freezing point. After final frying Young modulus of crust increased significantly ($P < 0.05$) by temperature decreasing while in nugget crumb this behavior was not significant. By reducing freezing temperature the amount of cracks in the crust will increase but crust, flaking will decrease.

Key words: Chicken nugget, Freezing, Image processing, Poisson ratio, Young modulus