

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر گرمایش اهمیک بر سرعت انجماد زدایی و خصوصیات ماهی تن منجمد

مریم کشانی¹ - نفیسه زمین‌دار^{2*} - رضا حاجیان³

تاریخ دریافت: 1398/06/12

تاریخ پذیرش: 1398/10/04

چکیده

از نکات مهم در فرایند مواد غذایی منجمد، انجمادزدایی با حداقل آسیب به ویژگی‌های کیفی آن است. با توجه به اینکه روش‌های معمول مورد استفاده برای رفع انجماد مواد غذایی سرعت کمی داشته و باعث کاهش کیفیت محصول می‌شوند، استفاده از روش‌های انجمادزدایی کارآمد ضروری به‌نظر می‌رسد. انجمادزدایی اهمیک یک روش حرارتی-الکتریکی با توانایی تولید گرمای یکنواخت‌تر نسبت به دیگر روش‌های انجمادزدایی می‌باشد. در این روش با تعیین میزان جریان الکتریکی گذرا از محصول می‌توان سرعت انجمادزدایی را تغییر داد. در این پژوهش تأثیر انجمادزدایی مکعب‌های منجمد ماهی تن با روش اهمیک به‌صورت غوطه‌وری در ولتاژ 50، فرکانس ثابت 50 هرتز و در سه غلظت مختلف آب نمک (0/3، 0/4، 0/5 درصد) مورد بررسی قرار گرفت و خواص شیمیایی و فیزیکی نمونه‌ها طی سه روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بعد از انجمادزدایی اندازه‌گیری شد. مطابق با نتایج آزمون تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی، گذشت زمان باعث افزایش حلالیت پروتئین، pH، کل نیتروژن فرار باند شده، کاهش افت سانتیفریژ و افشره دارای اسانس گردید. اثر غلظت بر سرعت رفع انجماد معنی‌دار نبود ولی بر افت انجمادزدایی، افت تبخیر، افت سانتیفریژ، تلفات عصاره و کل نیتروژن فرار باند شده در سطح احتمال 5% اثر معنی‌داری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: ماهی تن، انجمادزدایی اهمیک، ازت فرار، حلالیت پروتئین

مقدمه

حفظ کیفیت غذاهای منجمد اهمیت دارد. طولانی‌تر شدن زمان ذوب ممکن است باعث افزایش رشد میکروب‌های بیشتر روی محصولات، همچنین کاهش قابلیت انحلال پروتئین‌ها و افزایش مصرف انرژی شود (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2016). بدین منظور روش‌هایی کارآمد و ایمن برای انجمادزدایی سریع غذاهای منجمد ضروری است. روش‌های مختلفی برای رفع انجماد غذاهای منجمد وجود دارد؛ از جمله: انجمادزدایی در دمای اتاق، انجمادزدایی سردخانه‌ای، انجمادزدایی در آب نمک گرم، انجمادزدایی در آب ساکن، انجمادزدایی به کمک مایکروویو، انجمادزدایی فرکانس رادیویی، انجمادزدایی به روش اهمیک، انجمادزدایی در میدان الکتریکی با ولتاژ بالا و انجمادزدایی به کمک امواج صوتی (Liu *et al.*, 2017).

انجمادزدایی اهمیک یک روش حرارتی-الکتریکی است که داری گرمای یکنواخت تری نسبت به دیگر روش‌های حرارتی-الکتریکی می‌باشد. سرعت و یکنواختی نسبی گرمای حرارت اهمیک (OH) توسط عبور مستقیم جریان الکتریکی از درون محصول امکان‌پذیر است (Liu *et al.*, 2017). در این فرآیند از مقاومت الکتریکی غذاهای تیمار شده استفاده می‌شود، به‌گونه‌ای که انرژی الکتریکی تلف شده باعث ایجاد

تونا نام عمومی گروهی از گونه‌های ماهی است که متعلق به خانواده اسکامبروئیدا است. خانواده اسکامبروئیدا شامل ماهی تن، بونتیو، مکرومل و غیره می‌باشد (Nordt and Pomeranz 2016). که در آب‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شود. تونا و گونه‌های شبیه تونا در بین ماهی‌ها به دلیل ارزش اقتصادی بالا در تجارت بین‌الملل از اهمیت خاصی برخوردارند، لیکن این نوع ماهی را به دلیل فصل ماهی‌گیری محدود، کمبود بازارهای در دسترس در نواحی خاص و هزینه‌های انتقال به نواحی دیگر نمی‌توان به‌صورت تازه مصرف کرد (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2015). بنابراین بایستی از روش‌های نگهداری طولانی مدت استفاده شود.

سال‌های زیادی است که برای نگهداری غذاها به مدت طولانی از انجماد استفاده می‌شود چرا که همراه با حفظ کیفیت محصولات، زمان نگهداری آنها را افزایش می‌دهد. درحالی که تغییرات شیمیایی و فیزیکی و بیوشیمیایی که در طول انجماد زدایی‌های طولانی اتفاق می‌افتد، منجر به افت کیفیت محصولات می‌شود (Liu *et al.*, 2017). بنابراین انجام عملیات ذوب با سرعت زیاد و در دماهای پایین، برای

*- نویسنده مسئول: (Email: n.zamindar@khuif.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82797

1 و 2- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
3- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه بیوالکتریک، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

کاملاً از تفلون ساخته شده است در دو انتهای محفظه تیمار دو الکتروود دایره‌ای شکل به‌عنوان عامل اولیه عبور جریان از ماده غذایی از جنس استیل ضدزنگ نصب شد. در این تحقیق فاصله بین الکتروودها 7 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ماده غذایی در داخل محفظه تیمار به‌عنوان مقاومت الکتریکی عمل کرده، در فاصله بین دو الکتروود قرار می‌گیرد و در آن حرارت می‌بیند تا به دمای فرآیند برسد. ترموکوپل نوع K برای اندازه‌گیری دمای نمونه، در مرکز هندسی قطعات ماهی قرار گرفت و دمای آن خوانده شد. همچنین این سیستم دارای منبع ولتاژ متناوبی با فرکانس 50 هرتز، ولتاژ متغیر 0 تا 300 ولت و حداکثر توان 5 کیلو ولت آمپر می‌باشد. جریان و ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود و به همراه دما به صورت سنکرون توسط میکروکنترلر به PC فرستاده می‌شود. داده‌های ارسالی از میکرو دریافت و درون فایل اکسل ذخیره می‌شوند.

تعیین هدایت الکتریکی

قبل از شروع کار، هدایت الکتریکی (میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) محلول آب نمک و نمونه ماهی اندازه‌گیری شد (Lascorz et al., 2016). به این منظور محلول آب نمک با غلظت‌های مختلف از 0/1 تا 1 درصد وزنی/ حجمی سدیم کلرید تهیه و 24 ساعت در دمای محیط نگهداری شد سپس با استفاده از هدایت‌سنج (متروهم، 712، سوئیس) هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. همچنین رسانایی الکتریکی خمیر ماهی اندازه‌گیری شد.

روش آزمایشگاهی

در هر آزمایش سلول اهمیک از محلول آب نمک با غلظت‌های مشخص (0/3، 0/4، 0/5 درصد وزنی/حجمی) پر شده و ترموکوپل را به مرکز هندسی نمونه ماهی منجمدی که از قبل به دمای 18- درجه سانتی‌گراد رسیده، متصل کرده و ولتاژ ثابت 50 ولت و فرکانس 50 هرتز را اعمال می‌کنیم تا زمانی که مرکز نمونه به دمای 7- درجه سانتی‌گراد برسد سپس نمونه را از سل خارج کرده و پارامترهای وابسته بلافاصله پس از انجمادزدایی (در زمان صفر)، یک روز پس از انجمادزدایی (24 ساعت) و دو روز بعد از انجمادزدایی (48 ساعت) در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

تعیین سرعت انجمادزدایی

زمان لازم برای بالا بردن درجه حرارت در مرکز نمونه ماهی یخ زده از 18- به 7- درجه سانتی‌گراد به‌عنوان سرعت تعیین شده است. سرعت انجمادزدایی نمونه‌های ماهی یخ‌زده برابر است با تقسیم وزن نمونه ماهی منجمد بر زمان انجماد زدایی و با استفاده از معادله 1 محاسبه می‌شود (Rahbari et al., 2018).

$$\text{Thawing rate} = \frac{\text{weight of frozen fish}}{\text{Thawing time}} \text{ (g/s)} \quad (1)$$

گرما می‌شود (اثر ژول). مقدار گرمای حاصل از تلفات الکتریکی مستقیماً با ولتاژ به‌کار برده شده و هدایت الکتریکی محصولات یا اجزاء محصولات در ارتباط است (قانون اهم) (Liu et al., 2017). علاوه بر این که زمان فرآیند از روش‌های حرارت‌دهی مرسوم کمتر است، خصوصیات کیفی محصولات مثل طعم و مواد مغذی بالاتر خواهد بود (Liu et al., 2017).

یکی از مسائلی که در استفاده از روش اهمیک وجود دارد ارتباط مناسب میان ماهی و الکتروود می‌باشد. همانطور که مشخص است ماهی دارای سطح صافی که تمامی نواحی آن به خوبی با الکتروود در ارتباط باشد، نیست و در حالت منجمد خاصیت شکل‌پذیری هم ندارد. بنابراین برای غلبه بر این مشکل در این پژوهش از محلول آب نمک به‌عنوان الکترولیت استفاده می‌کنیم.

در این مقاله انجماد زدایی در غلظت‌های مختلف آب نمک انجام شد و ماهی تا 48 ساعت پس از رفع انجماد نگهداری و پارامترهای شیمیایی ماهی و سرعت انجمادزدایی اندازه‌گیری شده است. با توجه به اینکه ماهی تون در صنعت پیش از فرآوری نیاز به رفع انجماد دارد، بنابراین تحقیق حاضر به دنبال بررسی روشی مناسب جهت رفع انجماد ماهی، به‌منظور حفظ بهتر جنبه‌های تغذیه‌ای و کیفی این گونه بوده تا بتواند به صنعت پیشنهاد نماید.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه ماهی تن

نمونه‌های منجمد ماهی تن حاصل از صید صنعتی با وزن تقریبی هر کدام 10 کیلوگرم از کارخانه تولید تن ماهی از مجتمع صنایع غذایی پگاه اصفهان تهیه و با محفظه‌های یخ به آزمایشگاه مهندسی صنایع غذایی انتقال یافت و بلافاصله مراحل آماده‌سازی نمونه آغاز شد. تمامی ماهیچه‌های سفید ماهی با استفاده از چاقو به ابعاد (3×3×3 سانتی‌متر) بریده و در بسته‌های پلاستیکی زیپ‌دار بسته‌بندی شده و در دمای 30- درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت نگهداری شد و سپس نمونه‌ها در 18- درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمون‌ها نگهداری شدند (Mousakhani-Ganjeh et al., 2015).

تجهیزات مربوط به سیستم حرارت‌دهی اهمیک

ساختار گرم‌کننده اهمیک مورد استفاده در این مطالعه در نشان داده شده است. این سیستم شامل سه بخش، سیستم تامین انرژی الکتریکی، محفظه تیمار و سیستم کنترل است. در سیستم تامین انرژی الکتریکی به‌منظور تغییر در ولتاژ ورودی به دستگاه و به دنبال آن تغییر در سرعت حرارت‌دهی از یک منبع تغذیه جریان متناوب با فرکانس 50 هرتز استفاده شد. محفظه تیمار به شکل استوانه دارای طول و قطر داخلی معین و درب استوانه‌های قابل باز و بسته شدن بود. محفظه و درب آن

$$\text{Evaporation loss}(\%) = \frac{M_0 - M_T}{M_T} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Drip loss} = \text{Thawing loss} - \text{Evaporation loss} \quad (4)$$

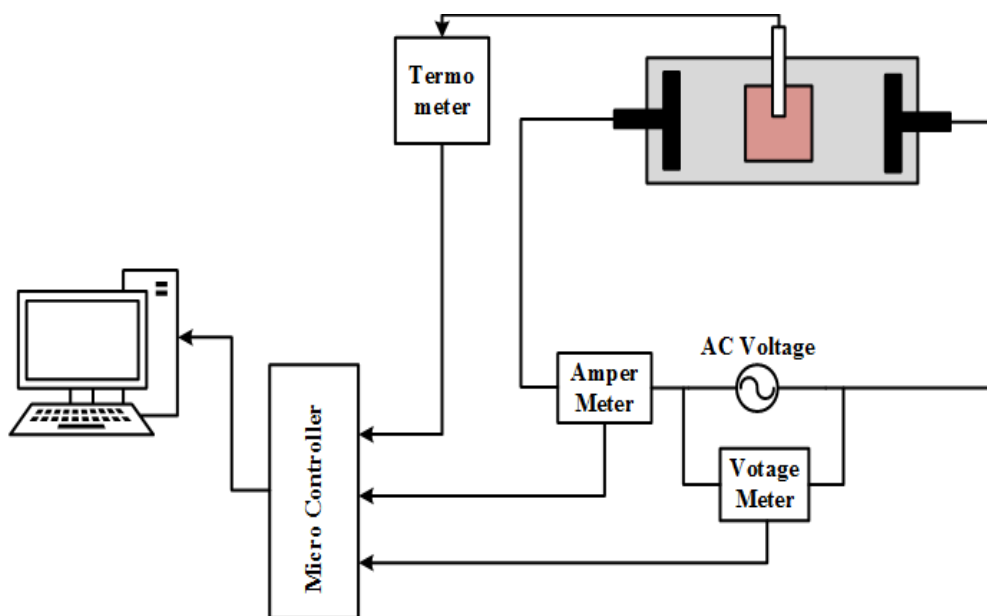
که در آن M_0 ، M_T و M_{TT} به ترتیب وزن ماهی یخ زده، وزن نمونه انجمادزدایی شده قبل از بین بردن آب سطحی و وزن ماهی رفع انجماد شده بعد از حذف آب سطحی است (He et al., 2013).

تعیین افت تبخیر، انجماد زدایی و تلفات عصاره

برای میزان افت وزن 3 شاخص بررسی شد، که شامل افت وزن ناشی از تبخیر، افت وزن ناشی از رفع انجماد، افت وزن ناشی از خروج خونابه، می‌باشد.

افت تبخیر، افت انجمادزدایی و افت عصاره، مطابق معادله‌های 2 و 3 و 4 محاسبه می‌شود:

$$\text{Thawing loss}(\%) = \frac{M_0 - M_{TT}}{M_{TT}} \times 100 \quad (2)$$



شکل 1- دیاگرام مربوط به سیستم گرمادهی اهمیک

$$\text{TVBN}(mg) = \frac{V \times C \times 14 \times 100}{M} \quad (5)$$

که در آن V ، حجم (میلی لیتر) اسید کلریدریک مصرف شده برای تیتراسیون، C غلظت محلول اسید کلریدریک مصرفی برای تیتراسیون و M ، وزن نمونه (گرم) می‌باشد.

حالیات پروتئین

اثر ذوب روی دنا تورا سیون پروتئین با استفاده از قابلیت انحلال پروتئین تعیین می‌شود. 1 گرم از نمونه‌های ذوب شده همگن و در 20 میلی لیتر از پتاسیم یدید سرد یا پتاسیم فسفات (pH=7/2) مخلوط می‌شود. نمونه‌ها در 5000 دور بر دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد به مدت 20 دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس 2 میلی لیتر از سوپرناتانت¹ را برداشته و با 8 میلی لیتر معرف بیورت مخلوط و جذب محلول در 540 نانومتر خوانده می‌شود. برای تهیه معرف بیورت، 0/15 گرم سولفات

کل نیتروژن فرار باند شده

قطعات ماهی ذوب شده در 4 درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته نگهداری شده و TVB-N نمونه‌های ماهی فوراً و 6 روز بعد از انجمادزدایی ارزیابی می‌شود. 10 گرم از گوشت ماهی خرد شده را با 50 میلی لیتر آب مقطر مخلوط و این مخلوط همراه با 2 گرم اکسید منیزیم به بالن کلدال انتقال یافت. برای جلوگیری از کف کردن، چند قطره از توتین 80 به آن اضافه شد. در یک ارلن مایر، 50 میلی لیتر محلول اسید بوریک 2% و چندین قطره معرف متیل رد اضافه شد و در خروجی کلدال نصب گردید. پس از آن شعله را روشن نموده تا مخلوط به آرامی شروع به جوشیدن و تقطیر کند، حرارت دهی تا زمانی که حجم ماده موجود در ارلن مایر به 150 سی سی برسد، ادامه یافت. محلول به دست آمده با اسید کلریدریک 0/1 نرمال تیترو و با استفاده از معادله 5، میزان ازت فرار موجود در نمونه گزارش گردید (Goulas and Kontominas 2005).

1 supernatant

نتایج و بحث

همانگونه که گفته شد برای تعیین میزان کیفیت انجمادزدایی به روش حرارت‌دهی اهمیتیک معیارهای سرعت انجمادزدایی، افت انجماد زدایی، افت تخییر، افت عصاره، اندازه‌گیری pH، TVB-N، حالیت پروتئین، افت سانتیفریژ مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد نظر توسط روش تجزیه تحلیل واریانس در ولتاژ 50 و در سه غلظت آب نمک (0/3، 0/4، 0/5 درصد) در مدت زمان سه روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در اثر غلظت بر افت انجمادزدایی در سطح احتمال 1% معنادار بود (جدول 2). در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/4%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت 0/5% و غلظت‌های 0/3% و 0/4% تفاوت آماری معنادار مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همانگونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود بیشترین میزان افت انجمادزدایی مربوط به غلظت 0/5% و کمترین افت انجمادزدایی مربوط به غلظت‌های 0/3% و 0/4% بود. در جدول‌های 3 و 4 مقایسه میانگین برای معیارهایی که در غلظت یا زمان از نظر آماری معنادار بوده است، مشاهده می‌شود. جدول 1 و 2 مشاهده می‌شود. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات متقابل دو پارامتر مستقل (غلظت × روز) بر پارامتر TVB-N در سطح احتمال 5% معنادار می‌باشد.

سرعت انجمادزدایی

افزودن سدیم کلراید به تکه‌های گوشت منجر به افزایش سرعت انجمادزدایی و کوتاه شدن زمان انجمادزدایی شده است (Kim et al., 2006). کوتاه‌ترین زمان انجمادزدایی در مقایسه با روش‌های انجمادزدایی به سیستم اهمیتیک اختصاص داده شده است (Duygu and Ümit 2015). سرعت انجمادزدایی برای غلظت‌های آب نمک 0/3، 0/4، 0/5 درصد به ترتیب برابر 0/21، 0/22، 0/24 گرم بر ثانیه می‌باشد که بررسی تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی نشان از عدم تفاوت معنادار بین سطوح غلظت دارد ($p < 0/05$).

بررسی افت انجمادزدایی

اثر غلظت بر افت انجمادزدایی در سطح احتمال 1% معنادار بود (جدول 2). در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/4%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت 0/5% و غلظت‌های 0/3% و 0/4% تفاوت آماری معنادار مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همانگونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود بیشترین میزان افت انجمادزدایی مربوط به غلظت 0/5% و کمترین افت انجمادزدایی مربوط به غلظت‌های 0/3% و 0/4% بود. در جدول‌های 3 و 4 مقایسه میانگین

مس 5 آبه و 0/6 گرم تارتارات مضاعف سدیم - پتاسیم در حدود 50 میلی لیتر آب مقطر حل شده و پس از افزودن 30 میلی لیتر سود 10% به حجم 100 میلی لیتر رسید. با استفاده از سرم آلبومین گاوی با غلظت 3 تا 9 میلی گرم بر میلی لیتر منحنی استاندارد به دست آمد (Warner et al., 1997).

اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH، 5 گرم نمونه با 20 میلی لیتر آب مخلوط و به مدت 5 دقیقه در 9000 دور بر دقیقه در یک همگن کننده فرایند، همگن و سپس pH قرائت گردید (Kim et al., 2006).

اندازه‌گیری PJ²

برای تست PJ، کاغذ فیلتر در بالا و زیر ماهی قرار داده می‌شود. فشرده سازی با سرعت ثابت 1 میلی متر بر ثانیه تا 60 درصد تغییر شکل با 0/1 ثانیه مکث بین خوانش و یک لودسل 122/5 نیوتونی انجام می‌شود. ماهی و کاغذ فیلتر قبل و بعد از فشرده‌سازی وزن می‌شوند و نتیجه تفریق وزن قبل و بعد از فشرده‌سازی به عنوان درصد افشره حجم ماهی شناخته می‌شود (Pedersen et al., 2016).

افت سانتیفریژ

دو گرم از ماهی ذوب شده همگن و برای 10 دقیقه با سرعت rpm 4000 سانتیفریژ می‌شوند، سپس ماهی همگن شده استخراج و وزن می‌شود. میزان وزن تلف شده در سانتیفریژ توسط اختلاف بین وزن اولیه (M_p) و ثانویه (M_c) مطابق معادله (7) به دست می‌آید و به صورت درصد بیان می‌شود (Li et al., 2017).

$$\text{Centrifugal loss}(\%) = \frac{M_p - M_c}{M_p} \times 100 \quad (6)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به منظور بررسی تاثیر تیمارهای مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. آزمایش با 3 سطح متفاوت برای غلظت آب نمک (0/3 - 0/4 - 0/5%) و مدت نگهداری (0، 24 و 48 ساعت) انجام پذیرفت، تجزیه و تحلیل واریانس با استفاده از نرم افزار SAS نسخه 9/2 و با در نظر گرفتن سطح احتمال کمتر از 0/05 انجام شد. در صورت معنی دار بودن اثر هر عامل آزمایشی از آزمون حداقل اختلاف معنی دار جهت مقایسه میانگین استفاده گردید. در این بخش از مطالعه نتایج به شکل میانگین ± انحراف استاندارد ارائه شدند.

برای معیارهایی که در غلظت یا زمان از نظر آماری معنادار بوده است، مشاهده می‌شود.

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت و زمان بر پارامترهای TVB-N، حلالیت پروتئین، pH، PJ، افت سانتیفریوژ

میانگین مربعات					درجه آزادی	عوامل تغییرات
افت سانتیفریوژ	PJ	pH	حلالیت پروتئین	TVB-N		
*37/79	0/3557 ^{ns}	0/00054 ^{ns}	3/76 ^{ns}	*11/48	2	غلظت
*84/17	*4/5	*0/031	*122/17	**22/83	2	روز
1/22 ^{ns}	0/1979 ^{ns}	0/00067 ^{ns}	10/07 ^{ns}	**71/3	4	غلظت * روز
1/49	0/5612	0/00053	9/63	23/99	18	خطا

* و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد و غیرمعنی‌دار است.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت بر پارامترهای افت انجماد زدایی، افت تبخیر، تلفات عصاره، سرعت انجماد زدایی

میانگین مربعات				درجه آزادی	عوامل تغییرات
سرعت انجماد زدایی	تلفات عصاره	افت تبخیر	افت انجماد زدایی		
0/0031 ^{ns}	**3/27	*8/7	**6/08	2	غلظت
0/039	1/98	0/15	2/139	6	خطا

* و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد و غیرمعنی‌دار است.

جدول 3- جدول مقایسه میانگین زمان‌های مختلف بر پارامترهای TVB-N، حلالیت پروتئین، pH، PJ، افت سانتیفریوژ

زمان	TVB-N	حلالیت پروتئین	pH	PJ	افت سانتیفریوژ
صفر	16/39±1/37 ^b	16/6±2/7 ^b	5/55±0/054 ^b	3/497±0/32 ^a	12/76±2/55 ^a
24	16/98±0/658 ^b	18/6±2/58 ^b	5/64±0/067 ^a	2/931±0/41 ^{ab}	4/74±0/2 ^b
48	18/57±3/32 ^a	23/7±3/7 ^a	5/66±0/073 ^a	2/274±0/6 ^b	7/22±1/68 ^b

اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنادار از نظر صفات مورد بررسی از لحاظ آزمون LSD با یکدیگر ندارند (P ≤ 0/05)

جدول 4- جدول مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف آب نمک برای پارامترهای TVBN، افت سانتیفریوژ، افت انجماد زدایی، افت تبخیر، تلفات عصاره

غلظت	TVB-N	افت سانتیفریوژ	افت انجماد زدایی	افت تبخیر	تلفات عصاره
0/3	18/23±3/27 ^a	9±3/11 ^b	2/721±0/2 ^b	-2/068±0/15 ^a	4/14±0/3 ^a
0/4	16/92±1/257 ^b	11/4±3/12 ^a	1/459±0/4 ^b	-4/07±0/23 ^b	5/5±0/26 ^b
0/5	16/8±1/57 ^b	7/32±2/36 ^c	3/42±0/9 ^a	-1/89±0/036 ^a	5/3±0/9 ^b

اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنادار از نظر صفات مورد بررسی از لحاظ آزمون LSD با یکدیگر ندارند (P ≤ 0/05)

غلظت 0/4% و بیشترین افت انجماد زدایی مربوط به غلظت‌های 0/3% و 0/5% بود.

بررسی تلفات عصاره

تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی برای تلفات عصاره نشان دهنده معنادار بودن در سطح احتمال 1% می‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/4% - 0/5%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت (0/3% و 0/5%) و (0/3% و 0/4%) تفاوت آماری معنادار

بررسی افت تبخیر

تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی برای افت تبخیر نشان دهنده معنادار بودن اثر غلظت در سطح احتمال 5% می‌باشد (جدول 2). در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/5%) تفاوت معناداری مشاهده نشد، اما بین غلظت 0/4% و غلظت‌های 0/3% و 0/5% تفاوت آماری معنادار مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همانگونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود کمترین میزان افت تبخیر مربوط به

بررسی حلالیت پروتئین

شاخص‌های زیادی برای ارزیابی میزان دنا توره شدن پروتئین‌ها وجود دارد. یکی از رایج‌ترین روش‌ها اندازه‌گیری میزان حلالیت پروتئین است. آزمایش فاکتوریل حاکی از معنادار بودن اثر زمان در سطح احتمال 5% بر حلالیت پروتئین می‌باشد اما اثر غلظت و غلظت در زمان بر آن معنادار نمی‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان صفر و 24 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما در زمان 48 ساعت با زمان‌های صفر و 24 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌شود، نتایج نشان‌دهنده افزایش حلالیت پروتئین با گذشت زمان بود به نحوی که کمترین میزان حلالیت پروتئین در ساعت صفر و بیشترین حلالیت پروتئین در 48 ساعت مشاهده شد.

بررسی PJ

همانطور که در جدول 1 ملاحظه می‌شود اثر زمان بر PJ در سطح احتمال 5% معنادار می‌باشد اما اثر غلظت و غلظت در زمان بر PJ معنادار نمی‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان 24 ساعت با زمان‌های صفر و 48 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما بین زمان‌های صفر و 48 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌شود، نتایج نشان‌دهنده کاهش میزان PJ با گذشت زمان بود به نحوی که بیشترین میزان PJ در ساعت صفر و کمترین میزان PJ در 48 ساعت مشاهده شد.

بررسی افت سانتی‌فیوژ

میزان افت سانتی‌فیوژ در سه غلظت مختلف و به مدت سه روز متوالی اندازه‌گیری شد، جدول 1 نشان می‌دهد اثر زمان و غلظت در سطح احتمال 5% بر افت سانتی‌فیوژ معنادار می‌باشد. اثر متقابل غلظت در زمان معنادار نبود. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان 24 و 48 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما در زمان صفر با زمان‌های 24 و 48 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، نتایج نشان‌دهنده این است که بیشترین میزان افت سانتی‌فیوژ مربوط به زمان صفر می‌باشد (جدول 3).

در آزمون LSD میان هر سه سطح غلظت، تفاوت معنادار مشاهده شد. بیشترین افت سانتی‌فیوژ به ترتیب در غلظت‌های 0/4 و 0/5 و 0/5 درصد ملاحظه شد (جدول 4).

نتیجه‌گیری

مشاهده شد. در بررسی اثر غلظت، همان‌گونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود کمترین میزان تلفات عصاره مربوط به غلظت 0/3% و بیشترین تلفات عصاره مربوط به دو غلظت دیگر است.

بررسی pH

بر طبق داده‌های جدول 1 زمان در سطح احتمال 5% بر pH اثر معنی‌داری دارد اما اثر غلظت و غلظت در زمان بر pH معنادار نمی‌باشد. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان 24 و 48 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما زمان صفر با زمان‌های 24 و 48 ساعت تفاوت آماری معنادار نشان داد، در بررسی اثر زمان، کمترین میزان pH در زمان صفر و بیشترین میزان pH در زمان 48 ساعت مشاهده شد، همان‌گونه که در جدول 3 مشاهده می‌شود نتایج نشان‌دهنده افزایش pH است (تغییرات pH در طول زمان بسیار جزئی می‌باشد). pH ماهی زنده حدود 7 بوده که پس از مرگ به مقدار حدود 6 کاهش می‌یابد. این نشانه تازگی و کیفیت قابل قبول ماهی است، ولی بایستی در نظر داشت که pH به تنهایی عامل کافی برای تخمین کیفیت تازگی ماهی نیست. پس از مرگ ماهی به علت یکسری تغییرات شیمیایی که درون آن رخ می‌دهد ماهی فاسد می‌شود و pH آن افزایش می‌یابد (EIShehawey et al., 2016).

بررسی TVBN

شاخص TVBN برای ارزیابی فساد مواد غذایی استفاده می‌شود. نیتروژن فرار، که ناشی از تجزیه پروتئین و ترکیبات نیتروژن غیرپروتئینی است، عمدتاً به دلیل فعالیت میکروبی تولید می‌شود و در طول ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد (موسی‌خانی و همکاران، 2015). اثر غلظت بر TVBN در سطح احتمال 5% معنادار می‌باشد، به علاوه اثر زمان و اثر متقابل غلظت در زمان نیز در سطح احتمال 1% معنادار گردیده است. در آزمون LSD میان دو سطح مختلف غلظت (0/3% و 0/4%) تفاوت معنادار در سطح احتمال 5% مشاهده شد اما بین غلظت 0/5% و غلظت 0/4% تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد. در آزمون بین غلظت 0/3% و غلظت‌های 0/4% و 0/5% تفاوت معنادار در سطح احتمال 5% مشاهده شد.

در آزمون LSD میان دو سطح مختلف زمان صفر و 24 ساعت تفاوت معناداری مشاهده نشد اما در زمان 48 ساعت با زمان‌های صفر و 24 ساعت تفاوت آماری معنادار مشاهده گردید، در بررسی اثر زمان، همان‌گونه که در جدول 2 مشاهده می‌شود، مشابه نتایج (گولاس و همکاران، 2006) با گذشت زمان TVBN افزایش می‌یابد، به نحوی که کمترین میزان TVBN در ساعت صفر و بیشترین TVBN در 48 ساعت مشاهده شد.

نشد هم چنین نقطه سرد نمونه طی زمان بسیار کوتاهی به دمای نهایی رسید. یکی دیگر از نتایج به دست آمده در این روش انجمادزدایی کمتری بودن میزان آب چک و حفظ آب محصول است که از جمله عوامل موثر در حفظ بافت محصول می باشد. با توجه به نتایج آفت سانتیفریژ، انجمادزدایی، تبخیر و TVBN و غلظت های آب نمک مصرفی در این پژوهش ابتدا غلظت 0/4 و سپس 0/3 درصد جهت انجمادزدایی ماهی منجمد پیشنهاد می شود

از عوامل تاثیرگذار بر روی این انتقال حرارت می توان به اندازه اولیه قطعات نمونه، بافت، دمای اولیه محصول، خصوصیات حرارتی -الکتریکی و غیره اشاره کرد که در نهایت بر ویژگی های حسی، فیزیکی، شیمیایی و ارزش تغذیه ای محصول اثر می گذارد.

نقش ارزشمند ماهی در تغذیه به دلیل وجود اسیدهای چرب غیراشباع امگا3، املاح معدنی، فسفر و کلسیم، ویتامین ها و پروتئین ها و اسیدآمینوهای ضروری برای رشد و نگهداری فیزیکی بدن می باشد که موجب پیشگیری و حتی درمان برخی از بیماری ها می گردد. لیکن به دلیل فصل ماهی گیری محدود، کمبود بازارهای در دسترس در نواحی خاص و هزینه های انتقال به نواحی دیگر نمی توان ماهی را به صورت تازه مصرف کرد، به همین دلیل بسیاری از جوامع به مصرف ماهی کنسرو شده، روی آورده اند، بنابراین می بایست عطر و طعم، ارزش تغذیه ای مواد غذایی و کیفیت محصول حفظ گردد. در این مطالعه روش انجمادزدایی اهمیک به عنوان یک روش جدید برای رفع انجماد ماهی منجمد پرداخته شد. در این روش در مقایسه با روش های حرارتی - الکتریکی هیچ گونه سوختگی در لبه ها و اطراف نمونه مشاهده

منابع

- Duygu B, Ümit G 2015. Application of ohmic heating system in meat thawing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195: 2822-2828 .
- ElShehawy SM, Gab-Alla AAE-F, Mutwally HM 2016. Quality Attributes of the Most Common Consumed Fresh Fish in Saudi Arabia. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* 5: 85-94. doi: 10.11648/j.ijnfs.20160502.11
- Goulas AE, Kontominas MG 2005. Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry* 93: 511-520 .
- He X, Liu R, Nirasawa S, Zheng D, Liu H 2013. Effect of high voltage electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of frozen pork tenderloin meat. *Journal of Food Engineering* 115: 245-250 .
- Kim J-Y, Hong G-P, Park S-H, Spiess WE, Min S-G 2006. Effect of Ohmic Thawing on Physico-Chemical Properties of Frozen Hamburger Patties. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 26: 223-228 .
- Li D, Jia S, Zhang L, Wang Z, Pan J, Zhu B ,Luo Y 2017. Effect of using a high voltage electrostatic field on microbial communities, degradation of adenosine triphosphate, and water loss when thawing lightly-salted, frozen common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Engineering* .
- Liu L, Llave Y ,Jin Y, Zheng D-y, Fukuoka M, Sakai N 2017. Electrical conductivity and ohmic thawing of frozen tuna at high frequencies. *Journal of Food Engineering* 197: 68-77 .
- Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, Soltanizadeh N 2015. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*). *Journal of Food Engineering* 156: 39-44 .
- Mousakhani-Ganjeh A, Hamdami N, Soltanizadeh N 2016. Thawing of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) using still air method combined with a high voltage electrostatic field. *Journal of Food Engineering* 169: 149-154 .
- Nordt SP, Pomeranz D 2016. Scombrotoxic poisoning from tilapia. *The American journal of emergency medicine* 34: 339-331.
- Pedersen SJ, Feyissa AH, Kavli STB, Frosch S 2016. An investigation on the application of ohmic heating of cold water shrimp and brine mixtures. *Journal of Food Engineering* 179: 28-35 .
- Rahbari M, Hamdami N, Mirzaei H, Jafari SM, Kashaninejad M, Khomeiri M 2018. Effects of high voltage electric field thawing on the characteristics of chicken breast protein. *Journal of Food Engineering* 216: 98-106 .
- Warner R, Kauffman R, Greaser M 1997. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat science* 45: 339-352 .



Effect of Immersion Ohmic Heating on Thawing Rate and Properties of Frozen Tuna Fish

M.Keshani, N. Zamindar*, R. Hajian

Received: 2019.09.03

Accepted: 2019.12.25

Introduction: The Scombridae family of fish consists of tuna, bonito and mackerel species that are found in warm waters (Nordt and Pomeranz, 2016). Tuna species is important because of economic value and prevalence in global trade. Although, they are usually not consumed fresh because of the limited fishing season, lack of accessible markets at certain locations and cost of transport to other areas. Therefore, long-term preservation methods must be used. For many years, freezing has been the method of preserving food for a longer period without a significant quality decrease. Thawing with minimal damage to the products quality is very important. Since common thawing methods are usually slow and reduce food quality, a substituted technique seems necessary (Mousakhani-Ganjeh, *et al.*, 2015). Ohmic thawing is a thermal-electrical method with a more uniform heat compared to other thermal-electrical methods. The speed and relative uniformity of ohmic heating is possible by passing direct electrical current through the product. In this process, the electrical resistance of frozen food is utilized. Electrical energy passes through food by means of electrical current and is dissipated in the form of heat (Joule effect). Based on Ohm's law, the amount of dissipated heat is directly related to the used voltage and the electrical conductivity of the product or its parts.

Materials and Methods: Muscles of the frozen tuna fish were cut into 3x3x3 cm cubes and kept in zip lock bags and stored at -30°C for 24 h. Then the samples maintained at -18°C until the experiments time (Mousakhani-Ganjeh *et al.*, 2015). The ohmic cell was filled with saline solution (0.3%, 0.4% and 0.5% respectively) and the thermocouple was connected to the geometric center of the frozen fish at -18°C. Then a voltage of 50 volts with 50Hz frequency was applied until the sample center reached -7°C. The samples were then removed from the cells and protein solubility, pH, TVBN, centrifuge loss, thawing loss, drip loss, evaporation loss, and press juice were measured at 0, 24 and 48 h after thawing. Completely randomize design in factorial form with three replications was carried out for the experiments. Data were analyzed by SAS software.

Results and Discussion: In this research, ohmic thawing was evaluated as a new method for thawing fish. According to the results of ANOVA, with passing of time the protein solubility, pH, TVBN, centrifuge loss and press juice was increased. With further study of ANOVA of thawing loss and drip loss, it was concluded that salt concentration had significant effect on dependent parameters ($P < 0.05$). While keeping a high thawing speed, no burning marks appeared on the edges and around the samples in ohmic method.

Keywords: Tuna fish; Immersion ohmic thawing, TVB-N, Protein solubility.

(*Corresponding author's email: n.zamindar@khuisf.ac.ir)