

بررسی روش های مختلف انجماد در نگهداری مواد غذایی

فریبا عطایی نوکابادی^۱

۱ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اصفهان،

ایران؛

Email: faribaataei۹۰@yahoo.com

چکیده

انجماد از روش های قدیمی در نگهداری مواد غذایی است که در آن کاهش دما سبب متوقف کردن مکانیزم های فساد مانند فساد باکتریایی و شیمیایی می شود. به طور معمول علت این امر تبدیل آب آزاد به یخ است. در کشورهای توسعه یافته آماده سازی ماهی های منجمد دائماً در حال افزایش است، که دارای سهم ۴۰٪ از محصولات دریایی است. افزایش جهانی بازاریابی برای محصولات غذایی منجمد که باعث به وجود آمدن روشهای جدید منجمد کردن شد، باعث تغییر روش منجمد کردن از منجمد کردن فله ای کالا به روشی که برای مشتری راحت باشد مانند IQF شده است. انجماد مواد غذایی سبب کاهش نرخ رشد میکرو ارگانیسم ها و خارج کردن آب از مواد غذایی می شود، که این موضوع هم به نوبه خود باعث عدم توانایی میکروارگانیسم ها در استفاده از مواد غذایی می شود. انجماد سالیان متمادی برای حفاظت از غذاهای با ارزش مثل گوشت و ماهی به کار رفته است و در طی ۴۰ سال اخیر استفاده از آن بسیار گسترش پیدا کرده است. در طی سالیان اخیر روش های انجماد مواد غذایی بهبود چشمگیری پیدا کرده است، زیرا غذاهای منجمد کیفیت بسیار بالاتری نسبت به غذاهایی دارد که با روش سنتی تهیه شده و تحت فرایندهای حرارتی قرار گرفته اند. علت دیگر این است که انجماد فقط بر روی مواد اولیه با کیفیت بالا و غذاهای تولید شده با ارزش بالا انجام می گیرد.

کلمات کلیدی: انجماد، مکانیزم های فساد، IQF

۱. مقدمه

انجماد صحیح می تواند اثر کمی بر روی ارزش تغذیه ای مواد غذایی داشته باشد و خواص اورگانولپتیک مواد غذایی مانند طعم، رنگ و بافت را به خوبی حفظ کند، و انجماد نامناسب، سبب تخریب بافت ماده غذایی می شود. این موضوع بیشتر به سرعت های پایین انجماد و تشکیل کریستال های بزرگ یخ بر می گردد، که منجر به آسیب بافتی سلول ها، عدم توانایی غذا برای نگهداری آب و نشت بیش از حد آب در مواد غذایی می شود. کنترل دمایی ضعیف و آب شدن جزئی یخ و کریستالیزاسیون مجدد هم ممکن است باعث بروز مشکلات فوق شود. همچنین ممکن است اتلافات ویتامین ها در طی نگهداری طولانی مدت بسیار زیاد باشد. در مورد غذاهای منجمد با مقدار چربی بالا ممکن است رانسید شدن اکسیداتیو چربی ها اتفاق بیافتد. نکته قابل اهمیت این است که باید بین انجماد و انبارداری در دمای پایین تفاوت هایی قائل شویم. انجماد به عنوان یک قسمت از فرایند بر روی مواد غذایی تلقی می شود و به عنوان مثال با استفاده از فریزرهای بستر شناور و فریزرهای صفحه ای با توجه به طبیعت ماده ای که باید منجمد شود صورت می گیرد.

انبارداری سرد شامل نگهداری مواد غذایی در دمای بین ۱۸- تا ۳۰- درجه است که دمای پایین تر عمدتاً منجر به طول عمر انبارداری بیشتر می شود.

فریزرهای خانگی در حقیقت قفسه هایی برای نگهداری مواد منجمد هستند که معمولاً در دمای ۱۸- درجه کار می کنند. هم فریزرهای خانگی و هم انبارهای سرد صنعتی برای منجمد کردن مواد غذایی ساخته نشده اند، بلکه برای ذخیره مواد غذایی که قبلاً منجمد شده اند، در دمای پایین استفاده می شود. بنابراین در زمینه تولیدات صنعتی، مواد غذایی باید محل تولید را در دمای انبارداری خود ترک کنند [۳،۱].

تکنیک های انجماد

معمول ترین انواع فریزرها عبارت اند از: (i) فریزرهای سطح تماس (ii) فریزرهای تماس مستقیم (iii) فریزرهای غوطه وری. برای انجماد ماهی می توان، از تماس مستقیم با عامل سرماساز مانند نیتروژن، کربن دی اکسید یا فریون و یا در فریزرهای سطح تماس، از تماس با سطح سردکننده، مانند صفحه نوار غلطک یا قفسه استفاده کرد. در این فریزرها، مواد با مواد ثانویه مانند هوا یا آب نمک سرد شده، سرد می شوند. فریزر صفحه ای بیشتر فریزر صنعت در یابی است، که ممکن است عمودی، افقی یا چرخشی و یا دستی و اتوماتیک باشد و مزیت اصلی آن تولید قطعات منظم با ضخامت یکسان است [۱].

انجماد سطح تماس

در انجماد تماسی، محصول دریایی در تماس با یک سطح فلزی که با رفریجرانت سرد می شود، قرار می گیرد. فریزرهای صفحه ای با تماس دوگانه، بیشتر برای انجماد بلوک های ماهی و میگو استفاده می شود، که تشکیل شده از مخازن افقی سرد با صفحه هایی در حد فاصل دو محفظه، که یک لایه از محصول را در برمی گیرد. نمای راست یک دستگاه پر شده، مانند یک ساندویچ چند لایه، شامل صفحه های سرد و لایه های محصول است. پس از بستن، صفحه تماس کاملی را با دولا به سطح بستر برقرار کرده، که انتقال حرارت سریع را ایجاد می کند. سطح سرد شامل، ماده سردکننده در گردش با دمای $40^{\circ}C$ - است که در هنگام انتقال محصول انتقال حرارت را انجام می دهد. به علت تماس مناسب بین محصول و سطح یخچال زمان انجماد کوتاه است. این فریزرها مشکل خشک شدن محصول، برفک زدن و تورم بسته را کم کرده اند. بسته محصول باید دارای اندازه یکسان باشد. از فریزرهای سطح تماس می توان برای انجماد اولیه محصولات مرطوب و چسبناک مانند میگوی خام پوست کنده شده استفاده شود. [۷].

فریزرهای وزشی

این فریزرها که در انواع مختلف موجود است، روشی معمول و چند منظوره برای انجماد محصولات دریایی با تماس مستقیم با عامل سرما ساز است. این فریزرها با قراردادن محصول بر روی یک نوار مشبک و عبور آهسته از یک تونل ایزوله، جایی که هوا در دمای ۱۸- تا $40^{\circ}C$ - توسط پنکه در اطراف محصول چرخش می کند، کار می کند. جریان هوا در جهت عکس

محصول با سرعت $1-2 \text{ m/s}$ و با دمای 30°C - حرکت می کند. پنکه ها برای افزایش جریان هوا به کار می روند، که باعث افزایش سرعت سرد کردن می شوند. به علت اینکه هوای سرد با سطح محصول تماس مستقیم دارد، باعث افزایش انتقال حرارت و بهبود سرعت انجماد می شود. در یک فرآیند بیج ماهی ها بر روی نقاله ای با اندازه 200×100 قرار می گیرند. قفسه به تونل یا سلول وارد می شود، که شامل یک یا چندکویل سردکننده و پنکه یا فن برای هدایت هوا بر روی محصول است. ظرفیت دستگاه بین 200 تا 500 kg است [۱].

انجماد غوطه وری

مشکل انجماد محصولات مرطوب، نرم و چسبناک مانند میگوی خام و صدف و مانند اینها که به تجهیزات چسبیده و تشکیل توده می دادند، با انجماد غوطه وری حل شد. عامل منجمد کننده استفاده شده برای این فریزر، باید غیرسمی، ارزان، پایدار، دارای ویسکوزیته کم، فشار بخار پایین و ترجیحاً انتقال حرارت بالا داشته باشد و از طرفی نباید تغییرات نامطلوب روی محصول ایجاد کند [۱].

انجماد کرایوژنیک

در فریزرهای کرایوژنیک، از گازهای فراسرد مانند نیتروژن و کربن دی اکسید مایع به عنوان محیط سرد کننده استفاده می شود. نیتروژن مایع در دمای 196°C - به داخل فریزر اسپری شده و توسط فن های کوچکی به چرخش در می آید. عامل سردکننده به محض اسپری یا تماس با محصول بخار شده و حذف حرارت از محصول، توسط تبخیر سردکننده کرایوژنیک انجام می شود. سرعت انجماد توسط روش کرایوژنیک در مقایسه با روشهای معمولی، بسیار سریعتر است. به طوری که حتی سرعت آن از فریزرهای غوطه وری نیز بیشتر است. میگو در حدود ۹ دقیقه در فریزر نیتروژن مایع منجمد می شود [۱].

انجماد بستر شناور

شناور سازی یک روش مفید برای ایجاد تماس بین جامدات تفکیک شده و یک سیال است. اگر چه اصول بنیادی این فرایند تا حدودی نامعلوم است، ولی در واقع این فرایند، فرایندی مشابه مایع کردن است، که در آن یک ماده گرانولی از فرم پایایی جامد به فرم دینامیک سیال تبدیل می شود. این فرایند هنگامی که یک سیال (گاز یا مایع) از میان بستری از مواد گرانولی به سمت بالا جریان دارد، اتفاق می افتد.

وقتی که یک جریان گاز به انتهای یک بستر از ذرات جامد دمیده می شود، از بین فضاهای خالی بستر به سمت بالا حرکت می کند. در سرعت های گاز پایین تر، نیروهای دراگ ایرودینامیکی بر روی هر ذره کم است، بنابر این بستر در یک حالت ثابت باقی می ماند. با افزایش سرعت بستر نیروهای دراگ ایرودینامیک شروع به تقابل با نیروهای ثقلی می کنند، که باعث

می شود تا سرعت به یک مقدار بحرانی برسد، که در آن نیروهای رو به بالا، با نیروهای جاذبه ای برابر شوند که باعث می شود، ذرات همراه با سیال معلق شوند. در این مقدار بحرانی بستر، بستر شناور نامیده می شود و از خود رفتار سیالی نشان می دهد. با افزایش بیشتر سرعت گاز، دانسیته توده ای بستر بیشتر کاهش می یابد و سیال سازی بیشتر می شود. این جریان تا زمانی ادامه دارد، که ذرات دیگر نتوانند یک بستر را تشکیل دهند و به وسیله جریان گاز به سمت بالا حرکت کنند. وقتی که یک بستر سیال جامد مانند سیالات رفتار می کند، مثل مایعات شکل بستر را به خود می گیرد و سطح آن به جاذبه وابسته است. ذراتی با دانسیته پایین تر از دانسیته توده ای بستر در سطح آن معلق می شوند و بالا و پایین می روند، ولی ذرات با دانسیته بالاتر در پایین بستر غوطه ور می شوند. رفتار سیالیت به ذرات این اجازه را می دهد، که مانند یک سیال جابجا شوند و از میان لوله عبور کنند، بدون اینکه هیچ نیروی انتقالی مکانیکی مثل یک تسمه لازم باشد. دو روش مهم انجماد، انجماد بستر سیال و انجماد با هوای متحرک است. محققان انجماد را، مهم ترین فرایند شناور سازی می دانند، که در آن محصول، به طور جداگانه به سرعت منجمد می شود IQF این محصولات جریان آزاد دارند، سطح آنها آسیب ندیده است و به صورت جالبی صیقلی هستند. فرایندهای بعدی بر روی محصولاتی که در یک فریزر بستر سیال منجمد شده اند، آسان تر است و نسبت به آنهایی که در فریزرهای نواری هوای متحرک پیوسته منجمد شده اند، بسیار ساده تر است. ائتلاف وزن در این محصولات عمدتاً کمتر از ۱٪ است. انجماد بستر سیال به طور کلی، بهترین روش برای به دست آوردن محصولاتی با شکل یکنواخت، با قطری تا حدود ۴۰ میلی متر است. دلیل اصلی استفاده از این نوع انجماد در مواد غذایی، نرخ بالای انتقال حرارت موجود در سیستم های بستر سیال است.

در یک فریزرهای بستر شناور، فرض می شود که ذرات به طور جداگانه و به سرعت سرد می شوند تا یک محصول با جریان آزاد IQF با ظاهر بسیار جذاب با توجه به انجماد آب در سطح ذره ایجاد شود. اگر چه برخی محققان پیشنهاد کرده اند، محصولی که منجمد می شود، لزومی ندارد که در تمام زمان انجماد به صورت معلق باشد و معمولاً انجماد بستر سیال را به عنوان روش اصلاحی برای انجماد هوای متحرک می دانند، که باعث ایجاد ضرایب انتقال حرارت بالاتر می شود و به ما این اجازه را می دهد که تجهیزات کم حجم تری را استفاده کنیم. محققان دیگر پیشنهاد کرده اند که نرخ های بالاتر انتقال حرارت در فریزرهای بستر سیال این امکان را به ما می دهد که تجهیزاتی تا سه برابر کوچک تر از فریزرهای نقاله ای مشابه استفاده شود و زمان انجماد بسیار کمتر از فریزرهای صفحه ای یا فریزرهای هوای متحرک است. از مزایای بسترهای شناور، هزینه های راه اندازی پایین اولیه، قابلیت حرکت و راحتی توسعه و کنترل بهداشت است. اگر چه برای ظرفیت ۱۰۰۰ Kg/h هزینه بستر سیال دو برابر فریزرهای هوای متحرک تونلی است، ولی با توجه به مساحت مورد نظر که به طور قابل توجهی کوچک تر است، استفاده از این فریزرها توجیه پذیر است. مثلاً فضای اشغال شده برای یک فریزر بستر سیال، حدود ۸.۵ متر مربع است، که در مقایسه با فریزر هوای متحرک که ۵۰ متر مربع را اشغال می کند، بسیار کمتر است.

یک مرحله پیش سرد کردن در ورودی به فریزر، می تواند کیفیت محصول را بهبود دهد و همچنین تجمع محصول نرم و چسبناک مانند میگو خام پوست گرفته را کاهش دهد. برای اطمینان از کیفیت بهداشتی محصول در محل های تماس، استیل ضد زنگ و کوپل های قابل دسترس در ساختار به کار می رود. IQF این امکان را می دهد که، تهیه کنندگان محصولات کوچک و آماده را به جای بلوک های بزرگ جامد که نیاز است قبل از بسته بندی یا مصرف بریده شوند، را تولید کنند. محصولات با ارزش مانند فیله و میگو، مواد اولیه مناسب این تکنولوژی هستند [۶].

انجماد سریع (Q.F)

روش صنعتی مهمی برای افزایش عمر نگهداری مواد غذایی فسادپذیر، مانند محصولات دریایی است. به این ترتیب که آنها را در معرض شرایطی با دمای پائین قرار می دهد، تا از تغییرات اکسیداتیو آنزیماتیک و میکروبی که مسؤل تغییرات طعم و رنگ هستند، جلوگیری کند. برای Q.F دمای محصول باید تا $-20^{\circ}C$ در عرض ۲hr، پائین بیاید، در حالی که در انجماد کند، زمان مورد نیاز ۳ تا ۷ hr است [۶].

مزایای انجماد سریع

- انتقال آب، از داخل به خارج کمتر است، که باعث حداقل شدن تغییرات در ساختار اولیه میوفیبریل می شود.
- کریستال های کوچک ایجاد شده در طول انجماد سریع، نسبت به کریستال های بزرگ ایجاد شده در حین انجماد کند، آسیب های سلولی خیلی کمی ایجاد می کند.
- انجماد سریع محصولی با WHC بالا ارائه می دهد.

سرعت در ناحیه دمای ثابت، تعیین کننده کیفیت محصول است. اگر محصول آهسته منجمد شود، زمان کافی به رطوبت داده می شود، تا از داخل به سطح بیاید و کریستال های بزرگی را ایجاد کند. کریستال ها باعث گسیختگی و پارگی سلولها می شود، که به طور نامطلوبی کیفیت بافت را تحت تاثیر قرار می دهد و باعث ایجاد فیله های تاریک و نیمه شفاف شده، در حالی که فیله های منجمد شده به طور مشهودی سفید و شفافند. معمولاً در مورد انجماد سریع، مواد در معرض دمای $-40^{\circ}C$ قرار می گیرند و انجماد در عرض ۱-۲hr کامل می شود در مورد IQF زمان می تواند براساس تجهیزات و دما تا ۳-۲۰min کاهش یابد. اگرچه ممکن است، زمان بسیار کم انجماد باعث ایجاد آسیب های بافتی به بعضی گونه های ظریف ماهی شود. [۶].

مزایای بستر سیال

- رفتاری مشابه مایع کردن دارد، که کنترل و اتوماسیون در آن راحت است.
- اختلاط سریع، دما و غلظت یکنواخت دارد.
- در برابر تغییرات شدید دمایی مقاومت می کند.
- سیرکولاسیون جامدات برای تبادل حرارتی در بستر سیال مناسب است.
- برای فرایندها، چه در مقیاس بزرگ، چه کوچک مناسب است.
- انتقال جرم و حرارت بالا دارد، و فضای اشغال شده برای تجهیزات آن کم است.

ابداعات اخیر در IQF

اخیراً دستگاههای پیشرفته برای ایجاد بالاترین حد بهداشتی به کار گرفته شده است، که دارای چندین جت هوای سرد با سرعتهای بالا هستند ($10-100m/s$) که از نازل خارج شده و روی محصول گردش کرده و نتیجه آن سرعت انجماد بیشتر از کرایوژنیک است. طراحی تجهیزات این سیستم کمک می کند، که براساس اندازه محصول، زمان انجماد تا کمتر از

۲min کاهش یابد. میگو و فیله ماهی می تواند با کمترین از دست رفت آب در عرض ۲۰۰ تا ۳۰۰ ثانیه منجمد شود. معمولاً محصولاتی با ضخامت ۲/۵-۴cm برای این سیستم مناسب ترند. زیرا در محصولات ضخیم تر، انتقال حرارت به مرکز زمان بیشتر می خواهد و بر روی زمان انجماد تأثیر می گذارد. در مورد فیله ماهی سفید از دست رفت آب در این سیستم فقط ۰/۶ تا ۱٪ است، که در مقایسه با ۵-۶٪ (انبار سرد) و ۴-۵٪ (ورزشی) و ۱/۵-۲٪ (فریزهای چرخشی) کم است. این سیستم، پتانسیل تولید بالا با کیفیت بالا در مورد محصولاتی مانند میگوی پوست کنده و فیله ماهی را دارد. دستگاه برای تضمین سلامت محصول، دارای سیستم اتوماتیک در تمیز کردن و تجهیزات استیل است. تجهیزات می تواند تا یک هفته به طور مداوم در شرایط سرمایی باشند. یک سیستم ویژه از این روش نیز برای انجماد فیله بر روی عرشه به کار می رود. روش جدید دیگر انجماد، به نام انجماد تغییر فشار نیز در حال بررسی است که کریستال های یخ کوچک تر و یکنواخت تر، در مقایسه با روشهای معمول تولید می کند. با افزایش فشار تا ۲۰۰mpa نقطه انجماد آب تا $20^{\circ}C$ - کاهش می یابد، بدون اینکه آب یخ بزند. پس از حذف فشار آب در محصول منجمد می شود [۶].

۲. نتیجه گیری

انجماد به روش صحیح و مناسب می تواند یکی از بهترین روش های نگهداری مواد غذایی به شمار رود.

۳. مراجع

- 1 - Arai, S., & Watanabe, M. (1986). Freeze texturing of food materials by ice-nucleation with the bacterium *Erwinia ananas*. *Journal of Biological Chemistry*, 50(1), 169-175.
- 2- Basak, T., & Ayappa, K. G. (1997). Analysis of microwave thawing of slabs with effective heat capacity method. *AIChE Journal*, 43(7), 1662-1674.
- 3- Biswal, R. N., Bozorgmehr, K., Tompkins, F. D., & Liu, X. (1991). Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56(4), 1008-1011.
- 4- Brody, A. L., & Antenevich, J. N. (1959). Ultrasonic defrosting of frozen foods. *Food Technology*, 13, 109-110.
- 5- Chevalier, D., Sentissi, M., Havet, M., & Le Bail, A. (2000).
- 6- Comparison of air-blast and pressure shift freezing on Norway lobster quality. *Journal of Food Science*, 65(2), 329-333.
- 7- Davies, P. L., & Hew, C. L. (1990). Biochemistry of fish antifreeze proteins. *FASEB*, 4, 2460-2468.
- 8- Dixon, G. M., & Jen, J. J. (1977). Changes of sugars and acids of osmotic vacuum-dried apple slices. *Journal of Food Science*, 42, 1126-1127.