کاربرد فناوری انجماد در صنعت فرآوری آبزیان

ذبیح اله بهمنی[1*]، رضا صفری عیسی خندقی[2]، یزدان مرادی[3]

۱- پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. بندرعباس، ایران. کدپستی: ۷۹۱۶۷۹۳۱۶۵

۲- پژوهشکده اکولوژی خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ساری، ایران.

۳- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

*Email: zabihbahmani@gmail.com

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

چکیده

انجماد یکی از روش های مهم و اجتناب ناپذیر نگهداری مواد غذایی با منشا آبزیان است. امروزه انواع یخچال و تونل های انجماد در دسترس هستند که به حفظ کیفیت این مواد غذائی تا مرحله رساندن به دست مصرف کننده کمک می کنند. سالانه بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ هزار تن فرآورده های شیلاتی بصورت منجمد به کشورهای چین، روسیه، ترکیه، امارات، عراق و قطر صادر می شود. انجماد سرعت رشد میکروب‌ها را کاهش داده و در برخی از گونه ها متوقف می کند و در نتیجه مدت زمان نگهداری محصولات شیلاتی افزایش می دهد. سرعت انجماد متأثراز تجهیزات انجماد و خصوصیات محصول نظیرنقطه انجماد گوشت ماهی می باشد. اگرچه آب در صفر درجه سانتی گراد منجمد می‌شود، اما مواد غذایی بدلیل وجود ترکیبات آلی و معدنی موجود در گوشت آبزیان دمای انجمادی پایین تری دارند بنابراین برای نگهداری طولانی مدت فرآورده های شیلاتی باید بیش از ۷۰ تا ۸۰ درصد اب موجود در فرآورده های شیلاتی منجمد گردد که لازمه این کار استفاده از سیستم انجماد سریع با دمای بالای ۳۰- تا۴۰- درجه سانتی گراد می باشد. استفاده از سیستم های انجمادی که کیفیت محصولات را به بهترین شکل ممکن حفظ و به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد برای صنایع شیلاتی بسیار ضروری می باشد.

واژگان کلیدی: انجماد، فرآورده دریایی، حمل و نقل، سردخانه

بیان مسئله

سالانه ۳۰ تا ٤٠ درصد از مواد غذایی تولید شده در دنیا به دلیل عدم استفاده از روش های مناسب نگهداری دستخوش آلودگی و فساد می شوند. این امر باعث خسارات مالی، جانی و بهداشتی زیادی می گردد. از عوامل مؤثر در فساد مواد غذایی می توان به گرما و سرما، رطوبت و خشکی، نور، اکسیژن، جوندگان و حشرات اشاره کرد (ایاسه و نیکخواه، ۱۳۹۵). انجماد روشی بسیار کاربردی و اقتصادی برای نگهداری فرآورده های شیلاتی است که دارای ارزش غذایی بالا هستند و نسبت به شرایط نگهداری بسیار حساس و فسادپذیرند، محسوب می شود (Hall, 2010). به طور کلی فساد در آبزیان به دو دسته تقیسم می گردد:

الف- فساد بیولوژیک: این نوع فساد توسط میکروارگانیسم ها شکل می گیرد و به سه گروه طبقه بندی می شود:

۱- فساد ناشی از ترشح مواد سمّی توسط میکروارگانیسم های موجود در گوشت ماهی نظیر سم مترشحه از کلستریدیوم بوتولینوم[۱] و استافیلوکوک ها[۲]

۲- فساد ناشی از رشد مخمرها و کپک ها

۳- فساد ناشی از آنزیم های درونی با آندوژن یا آنزیم‌های ترشح شده از میکروارگانیسم ها در گوشت آبزیان (Hall, 2010)

ب- فساد فیزیکوشیمیایی: این دسته از انواع فساد بر اثر عواملی نظیر گرما و سرما، رطوبت و خشکی هوا، اکسیژن، نور، زمان و pH و مواد موجود در ماده غذایی به وجود میاید. نمونه بارز این نوع فساد، تند شدن چربی بافت ماهی بر اثر اکسیداسیون ناشی از اکسیژن هوای مجاور با چربی گوشت ماهی می باشد (**Sikorski** et al., 2020).

فرآیند انجماد: آبزیانی که برای نگهداری در سردخانه آماده می شوند لازم است دارای کیفیت مطلوب و فاقد ضایعاتی از قبیل ضربه و کوفتگی باشند. در خلال انجماد، ابتدا آب منجمد می‌شود، که باعث تغلیظ سایر مواد می‌شود و اگر فرآورده شیلاتی سریعاً منجمد نشود تغلیظ ترکیبات موجود در فرآورده مخصوصاً آنزیم‌ها ، موجب از دست رفتن کیفیت محصول می‌شود (Qiao et al., 2022). بنابراین انجماد باید سریعً انجام شود (خصوصا در دمای بحرانی انجماد بین ۱- تا ۵- درجه سانتی گراد) تا کیفیت غذا در بهترین حالت حفظ شود. انجماد سریع، مانع از تشکیل کریستال‌های یخ بزرگ می‌شود، چون زمان کافی برای بزرگ شدن کریستال‌های یخ وجود ندارد. انجماد آرام باعث ایجاد کریستال‌های بزرگ و مخرب می‌شود که به بافت گوشت آسیب وارد می نماید (Sampels, 2015). هرچه ضخامت ماده غذایی بیشتر باشد به زمان انجماد بیشتری نیاز دارد. بنابراین برای انجماد بهتر و سریعتر، ضخامت بسته بندی مواد غذایی بایستی کمتر باشد. وزن ماهی در دوره نگهداری در سردخانه به دلیل تبخیر سطحی ناشی از انجماد کاهش می یابد. به محض رفع انجماد مقداری از پروتئین های محلول در آب از بدن ماهیان خارج شده و به افت ارزش غذایی و افت وزنی در ماهیان یخ زدایی شده منجر خواهد شد (Backi, 2018).

[۱] *Chostridium butilinum*
[۲] *Staphylococcus* Spp

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

دستاورد یا راهکار

برای انجماد محصولات غذایی و فرآورده های شیلاتی دو نوع سیستم وجود دارد:

۱- مکانیکی: در این سیستم انجماد ماده غذیی طی کاهش دما که توسط جریان مبرد در سیستم تبرید ایجاد می شود صورت می گیرد.

۲- سیستم کرایوژنیک یا برودتی: در این روش انجماد مواد غذایی در اثر تماس مستقیم با مبرد (نیتروژن مایع یا دی اکسید کربن) صورت می گیرد. از مهمترین مواردی که در ساخت تونل های انجماد باید در نظر گرفته شود سرعت و زمان انجماد محصول است که در حفظکیفیت و بافت محصول تاثیر بسزایی دارد. ولی باید در نظر داشت که با کاهش مدت زمان انجماد محصول، هزینه ساخت سردخانه و تونل انجماد افزایش خواهد یافت (Sharanagat et al., 2019). روش های متداول انجماد براساس سرعت انجماد به سه دسته انجماد کند، سریع و فوق سریع تقسیم می شوند (Jessen et al. 2014).

الف- انجماد کند

انجماد کند، قدیمی‌ترین روش انجماد آبزیان، با هوای سرد و ساکن که دارای رسانایی ضعیفی است، انجام می گیرد در این روش محصولات شیلاتی در فضای کاملا بسته با دمای منفی ۱۸- تا ۴۰- درجه‌سانتی‌گراد، برای مدت بیش از ۲ ساعت در منطقه بحرانی باقی می‌ماند که آسیب زیادی به کیفیت آنها وارد می گردد. مدت زمان انجماد در این روش بسته به حجم، نوع محصول و دمای سردخانه، ممکن است تا هفتاد و دو ساعت طول بکشد (Sharanagat et al., 2019). در حال حاضر، دناتوره شده پروتئین بعلت ماندگاری زیاد در منطقه بحرانی به عنوان عامل اصلی تفاوت بین کیفیت ماهی منجمد شده به روش انجماد کند و سریع شناخته شده است. در رابطه با انجماد کند همواره این نظریه وجود داشته که تشکیل هسته بلور معمولاً محدود به فضای خارج سلول بوده که همواره با تشکیل و رشد این بلورها، فشار اسمزی خارج سلولی افزایش می‌یابد که این امر باعث خارج شدن آب از سلول شده که به دنبال آن غلظت محیط احاطه‌کننده بلور افزایش یافته، سبب پایین آمدن نقطه انجماد می‌گردد و با گسترش مرز انجماد، تعدادی بلورهای یخ بزرگ بوجود می‌آیند. تشکیل بلورهای یخ در خارج سلول بر خلاف نظرات گذشته، منجر به پارگی غشای سلولی نشده و به سلول آسیب نمی‌رساند، بلکه عامل اصلی در این مورد، افزایش غلظت الکترولیت‌ها و تغییر pH و در نتیجه تغییر ماهیت پروتئین‌هاست، که با ایجاد تغییر در ماهیت طبیعی آن ها می‌تواند به سلول آسیب برساند. از دیگر معایب انجماد کند، خشک شدن و از دست دادن آب در اثر تماس با هوای سرد کم رطوبت است (Jessen et al., 2014; Sharanagat et al., 2019).

ب- انجماد سریع

در این روش دمای درونی محصول در کمتر از ۲ ساعت از منطقه بحرانی (۱- تا ۵- درجه سانتی گراد) عبور می‌نماید و از طریق افزایش سرعت عبور هوای سرد (حدود ۰/۳ سانتی‌متر در دقیقه یا سریع‌تر) از روی ماهی و سایر آبزیان (تونل انجماد)، حرارت به سرعت از محصول گرفته شده و ماهی منجمد می‌گردد. قرار دادن محصول در تماس مستقیم یا غیرمستقیم با ماده سرمازا،

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

مهم‌ترین روش‌های انجماد سریع محسوب می‌گردند (Sikorski et al., 2020). در برخی منابع انجماد سریع را به دو دسته طبقه‌بندی می کنند:

۱- تونل‌های انجماد (جریان هوای سرد شدید)

تونل انجماد در واقع نوع پیشرفته‌ای از سردخانه‌های صنعتی شناخته می‌شود البته تفاوت‌هایی نیز بین سردخانه‌های معمولی و تونل انجماد وجود دارد. در کل می‌توان گفت که سرعت انجماد در تونل انجماد با سردخانه تفاوت زیادی داشته و در واقع تونل انجماد با استفاده از دمای پایینی که کمپرسور تونل انجماد ایجاد می‌کند، سرعت فریز کردن محصولات را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، از آنجایی که تونل انجماد یک سیستم یکپارچه است، بخش‌های مختلف آن، اتوماتیک بوده و نیروی انسانی کمتری نسبت به سردخانه نیاز دارد. همچنین درب تونل انجماد دارای طراحی و عایق بندی ویژه‌ای بوده و از پی وی سی یا پلی استر برای قسمت داخلی و آلیاژ مخصوصی از آلومینیوم ساخته می‌شوند. این سیستم در حال حاضر معمولی‌ترین روش انجماد مواد غذایی می‌باشد زیرا هم سرعت انجماد زیاد است و هم برای انواع فرآورده‌ها در ابعاد و حجم‌های مختلف قابل استفاده می‌باشد. در این روش ماهی به صورت آویزان و یا در بسته بندی در مسیر جریان هوای سرد متحرک ٤٠- درجه سانتی‌گراد با سرعت بین ۳۰ تا ۷۰ متر در دقیقه قرار می‌گیرد بطوری که سرعت یخ زدن افزایش یافته و در هر دقیقه سه میلی‌متر از قطر بدن ماهی منجمد می‌گردد. بنابراین این سرعت جریان قادر خواهد بود محصول را در کوتاه ترین زمان با کیفیتی مطلوب منجمد نماید. با افزایش سرعت جریان هوا می‌توان زمان انجماد را کاهش داد از طرفی چنانچه ماهی‌ها فاقد پوشش و بسته‌بندی مناسب باشند و یا رطوبت لازم در تونل موجود نباشد، سوختگی حاصل از سرما[۳] به صورت لکه‌های خاکستری در سطوح ماهی ایجاد شده و کریستال‌های کوچک به صورت برفک روی آن تشکیل می‌گردد ضمن اینکه مقداری از رطوبت ماهی تبخیر شده، کاهش و افت وزنی را به همراه خواهد داشت. برای جلوگیری از بروز این تغییرات، زمان و رطوبت هوا در فریزر از جمله عواملی هستند که باید به دقت تحت کنترل قرار گیرند (Jessen et al., 2014).

انواع تونل انجماد

تونل های انجماد بر اساس کارکرد به دودسته کلی تونل انجماد وزشی و تسمه ای (خطی و مارپیچی[٤]) تقسیم بندی می‌شود.

فریزرهای تونلی وزشی[٥]

رایج ترین روش انجماد محصولات غذایی استفاده از فریزرهای وزشی است (شکل، ۱) در این فریزرها، هوای از پیش خنک شده با دمای تقریبی ٤٠- درجه‌سانتی‌گراد روی محصولات غذایی دمیده می شود. جریان هوا توسط فن هایی در اطراف محصول

[۳] Freezer burn
[٤] Spiral
[٥] Air- Blast Tunnel

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

در گردش است و جهت حرکت آن بر خلاف حرکت محصول می باشد. غذاهای بسته بندی شده مانند فراورده های گوشتی (مرغ، گوشت و آبزیان)، معمولاً در تونل های وزشی منجمد می شوند.

شکل ۱. فریزر وزشی

فریزر های تسمه ای[۶]

فریزرهای تسمه ای، معمولاً از یک فیلم پلاستیکی یک بار مصرف به عنوان تسمه نقاله استفاده می کند که از طریق تونل انجماد از روی صفحات مبرد عبور می کند. این صفحات به سرعت و به طور موثر سطح تماس محصول را منجمد می کنند، در حالی که محیط تونل برای کاهش دمای کل محصول خنک می شود. این فریزرها با استفاده از سیستم های تبرید برودتی یا مکانیکی عمدتاً برای فرآوری محصولات ظریف، چسبنده و سخت طراحی شده اند. این فریزرها را می توان به سرعت و به طور موثر در پایان تولید تمیز کرد همچنین انواع مختلف محصولات غذایی را می توان بدون نیاز به مراحل تمیز کردن منجمد نمود (Nakazawa and Okazaki, 2020).

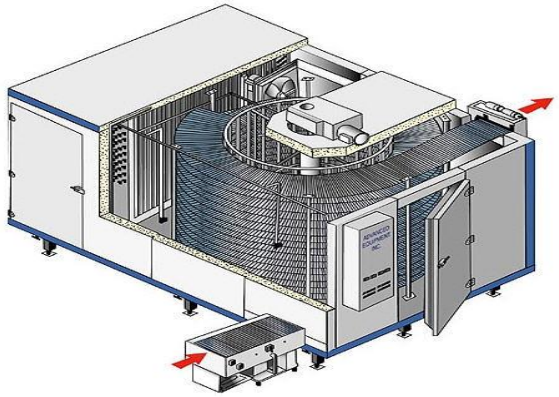
الف. تونل انجماد خطی (انجماد سریع انفرادی[۷])

در تونل‌های انجماد سریع خطی (شکل، ۲)، ماهی و سایر آبزیان با استفاده از فناوری سیال سازی در هوای سرد با سرعت و شدت زیاد معلق و به طور جداگانه در مدت ۱۰ تا ۱۲ دقیقه منجمد و دارای ظرفیت‌های متفاوتی از ۲۰۰ تا ۱۲۰۰۰ کیلوگرم در ساعت می باشد. در نتیجه، بیشتر خواص اصلی مواد غذایی حفظ می شود (Gokoglu and Yerlikaya, 2015).

[۶] Belt Freezers
[۷] Individual Quick Freezing

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

شکل ۲. تونل انجماد سریع خطی



شکل ۳. دستگاه انجماد سریع مارپیچی

ب. تونل انجماد سریع مارپیچی[۸]: ظرفیت تونل انجماد سریع اسپیرال (شکل، ۳) از ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم متفاوت است و بیشتر در خطوط تولید صنعتی گوشت قرمز، مرغ و فرآورده های شیلاتی قابل استفاده می باشد (Hall, 2010).

۲- انجماد از طریق تماس غیرمستقیم با مواد سرمازایا فریزرهای صفحه ای[۹]

انجماد در این روش از طریق تماس غیر مستقیم محصول با ماده سرمازا که در داخل صفحات فلزی توخالی جریان دارد، انجام می‌گیرد. در این حال از طریق فشاری که توسط صفحات فریزر به دو طرف محصول وارد می‌گردد، ضمن ایجاد تماس بیشتر و کامل‌تر، ضریب انتقال حرارت بین محصول و صفحات هرچه بیشتر افزایش می‌یابد. به طور کلی ۳۵ ٪ از ماهی‌ها به این روش منجمد می‌گردند که بیشتر برای آبزیان بسته‌بندی شده مانند فیله و استیک و میگوهای بسته‌بندی شده استفاده می‌شود. این نوع فریزرها در دو شکل افقی و عمودی ساخته می‌شوند علل اصلی ضعف عملکرد این روش انجماد، عدم تغییر مکان و انتقال محصول قبل از کامل شدن انجماد و نقص در نگه‌داری دستگاه و تماس نامناسب بین صفحات و محصول می‌باشد. عدم تماس بین محصول و صفحات ممکن است در حالات زیر اتفاق بیفتد:

- پر نشدن کامل کارتن‌ها، به طوری که فضای خالی بین محصول و کارتن یا پوشش بوجود آید. در آنجائی که این کارتن‌ها از یک طرف سرد می‌شوند، لذا وجود هوا در داخل بسته یک لایه عایق بوجود آورده و از این راه زمان انجماد را تا سه برابر افزایش می‌دهد.

- وجود برفک روی سطح خارجی صفحات، رطوبت موجود در هوا به صورت برفک روی صفحات سرد متراکم می‌گردد.

فریزر صفحه‌ای افقی[۱۰]: فریزرهای صفحه‌ای افقی (شکل، ٤) دارای دو کاربرد مهم می باشند، اول، انجماد کارتن‌های از پیش بسته‌بندی شده آبزیان مورد مصرف در خرده‌فروشی‌ها و دیگری انجماد بلوک‌های یکنواخت و مکعبی شکل فیله معروف به بلوک‌های لامینه، مورد استفاده در تهیه تکه‌های ماهی می‌باشد. در این روش، در طول انجماد حرارت مستقیماً از محصول

[۸] Spiral
[۹] Plate freezer
[۱۰] Horizontal plate freezer

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.)

بسته‌بندی شده به صفحات فریزر منتقل می‌شود و در نتیجه ضمن تقلیل تبخیر سطحی، حداکثر صرفه‌جویی در فضا لحاظ می‌گردد. زمان انجماد در فریزرهای صفحه‌ای افقی به عواملی مانند درجه برودت صفحات، مقاومت گرمایی بین صفحات و محصول، رسانایی گرمایی و ضخامت محصول بستگی دارد به طور کلی مدت زمان انجماد فیله‌های آبزیان بسته‌بندی شده با ضخامت حدود ۵ سانتی‌متر، ۲-۱ ساعت خواهد بود (Hall, 2010;Jessen et al., 2014).

شکل ٤. فریزر صفحه‌ای افقی

شکل ۵. فریزر عمودی

فریزرهای صفحه‌ای عمودی[11]: مزیت اصلی فریزرهای صفحه‌ای عمودی (شکل، ۵)، منجمد کردن فله‌ای ماهی بدون نیاز به بسته‌بندی یا قرار دادن محصول در سینی می‌باشد.در واقع صفحات، صندوق‌هایی هستند که از بالا باز بوده و ماهی مستقیماً درون این فضاها بارگیری می‌شود. از آنجایی که این نوع فریزرها برای انجماد فله‌ای محصولات مناسب هستند، به طور گسترده‌ای برای انجماد ماهی کامل در دریا استفاده می‌شوند (Verpe et al., 2018).

ج- **انجماد فوق سریع** (مجاورت مستقیم محصول با مایع منجمد کننده)

در فریزرهای غوطه وری از محلول نمک، قند، الکل در آب و یا کرایوژن استفاده می کنند. محصول بصورت بسته بندی و یا بدون بسته بندی به درون مخزن منتقل می شود و یا می توان خنک کننده را روی محصول اسپری کرد در برخی از فریزرها به ویژه سیستم های برودتی، از هر دو روش استفاده می کنند. ماده مورد استفاده برای انجماد محصولات غذایی در این سیستم ها، باید غیرسمی و فاقد هر گونه اثر نامطلوب باشد. مزیت این فریزرها این است که دیگر مشکل چسبیدن محصول به سطح فریزر وجود ندارد. در این روش که انجماد به‌وسیله گازهای سرمازای مایع[12]صورت می‌گیرد، محصول را می‌توان در مدت چند دقیقه منجمد نمود.غوطه‌ور کردن محصول در مواد سرمازا یا اسپری نمودن این مواد مثل: نیتروژن مایع، دی‌اکسیدکربن مایع، یا فرئون ۱۲، روی ماهی می‌تواند این محصول را در حداقل زمان منجمد نماید. تماس بیشتر بین محصول و ماده سرمازا این امکان را فراهم می‌سازد تا انتقال حرارت به دلیل کاهش مقاومت به بهترین صورت انجام گیرد. البته در روش‌هایی که بین محصول و ماده سرمازا تماس

[11] Vertical plate freezer
[12] Cryogenic

Journal of Aquatic Caspian

مستقیم برقرار می‌گردد، ضروری است ماده سرمازا از قابلیت انتقال حرارت بالایی برخوردار بوده و ویسکوزیته آن در درجات حرارت پایین کم باشد. بعلاوه در محصول بو و طعم خاص ایجاد نکرده و رنگ، بافت و ظاهر آن را تغییر ندهد. مزیت این روش، حفظ کیفیت بافت و طعم محصول منجمد در حد محصول تازه است (Jessen et al., 2014).

سیستم های برودتی، تحول بزرگی در صنایع مختلف به خصوص در صنایع شیلاتی ایجاد نموده است. به نحوی که عدم بهره گیری از این تکنولوژی ها و سیستم های برودتی در بسیاری از زمینه های تولید مواد غذایی و بهداشتی به امری اجتناب ناپذیر تبدیل شده است، از آنجایی که حفظ کیفیت آبزیان دارای رابطه مستقیم با دما و سرعت انجماد می باشد. لذا دما و سرعت انجماد بعنوان اصلی ترین فاکتور در انتخاب نوع سیستم سرمایشی می باشد. در جدول ۱، دما، سرعت، زمان اسمی و واقعی انجماد در روش های مختلف انجماد مورد مقایسه قرار گرفته است. سرعت انجماد در مورد تونل انجماد وزشی با دمای ۳۵- درجه‌سانتی‌گراد و IQF برای انجماد فرآورده های شیلاتی مناسب می باشد و سایر سیستم ها برای نگهداری بلند مدت آبزیان پیشنهاد می گردد.

جدول ۱. مقایسه سرعت انجماد آبزیان در سردخانه، تونل انجماد وزشی و IQF (Hall, 2010)

روش انجماد	متوسط دما (°C)	ضریب انتقال سطحی حرارت ($W/m^2.°C$)	ضخامت نمونه (mm)	سرعت انجماد (°C/min)	زمان اسمی انجماد (min)	زمان واقعی انجماد (min)
سردخانه	-۳۵	۵	۱۸	۰/۰۷۵	۲۵۵	۳۱۲
تونل انجماد وزشی	-۱۸	۱۵	۱۸	۰/۲۲	۷۷	۱۱۳
تونل انجماد وزشی	-۳۵	۱۵	۱۸	۰/۷۱	۲٤	٤۱
IQF	-٤۰	۲۵	۱۸	۱/۳۵	۰/۲۵	۰/۵

توصیه ترویجی

گوشت ماهی و آبزیان باید در کمترین زمان ممکن منجمد گردد در حالی که گوشت مرغ و گوشت قرمز باید به مدت ۱ تا ۵ روز در پیش سردکن جهت ترد شدن نگهداری شده و سپس به فریزر انتقال داده شود. در صنعت همواره میان مزیت های نسبی سیستم های انجماد مکانیکی و برودتی، اختلاف نظر و بحث وجود داشته است. بسته به نوع محصول و دمای مناسب برای نگهداری سیستم انجماد مناسب متفاوت می باشد اما در مورد فرآورده های شیلاتی سیستم های انجمادی سریع و فوق سریع با توجه به اثراتی که در کیفیت محصول نهایی از خود به جا می گذارند بعنوان سیستم های پیشنهادی معرفی می گردند از بسیاری جهات، این بحث به نفع همه افراد بوده و منجربه پیشرفت در همه سیستم های انجماد شده است. در مورد سیستم های کرایوژنیک بازده انجماد سریع به عنوان مزایای اصلی به شمار می روند در حالی که هزینه بالای مورد نیاز این سیستم اغلب به‌عنوان نقطه ضعف اصلی آن محسوب می شود. تولیدکننده محصولات غذایی هنگام تصمیم گیری در مورد سیستم انجمادی،

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

لازم است هزینه سرمایه، هزینه عملیاتی، توان عملیاتی و کیفیت محصول در نظر بگیرد. انتخاب و طراحی فریزر صنعتی به نیازهای عملیاتی و هم چنین شرایط محصول بستگی دارد. پارامترهای مانند نوع محصول، اندازه، دمای اولیه و شرایط محصول، ظاهر، ظرفیت خط تولید (کیلوگرم در ساعت)، زمان های بحرانی عملیاتی و محدودیت های فضای کارخانه بر انتخاب سیستم تأثیر می گذارند. هیچ نوع فریزی وجود ندارد که برای همه کاربردهای انجماد بهترین باشد.

تشکر و قدردانی

از همکاران گرامی در پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان صمیمانه سپاسگزارم

منابع

ایاسه،ع.، نیکخواه، م.، ۱۳۹۵. نگهداری مواد غذایی در سردخانه. موسسه آموزش و ترویج کشاورزی. ۲۱۰ صفحه.

Backi, C.J., 2018. Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review. *Journal of Food Process Engineering*, *41*(1), p.e12598.

Gokoglu, N. and Yerlikaya, P., 2015. Seafood chilling, refrigeration and freezing.*Science and technology*.John Wiley & Sons.

Hall, G.M., 2010. Freezing and chilling of fish and fish products. *Fish Processing*: *Sustainability and New Opportunities*, pp.77-97.

Jessen, F., Nielsen, J. and Larsen, E., 2014. Chilling and freezing of fish. *Seafood processing*: *Technology, quality and safety*, pp.33-59.

Nakazawa, N. and Okazaki, E., 2020. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood. *Fisheries Science*, *86*, pp.231-244.

Qiao, Z., Yin, M., Qi, X., LI, Z., Yu, Z., Chen, M., Xiao, T. and Wang, X., 2022. Freezing and storage on aquatic food: underlying mechanisms and implications on quality deterioration. *Food Science and Technology*, *42*.

Sampels, S., 2015. The effects of storage and preservation technologies on the quality of fish products: A review. *Journal of food processing and preservation*, *39*(6), pp.1206-1215.

Sharanagat, V.S., Kansal, V. and Singh, L., 2019. Fish freezing: principle, methods, and scope. *Technological Processes for Marine Foods, From Water to Fork: Bioactive Compounds, Industrial Applications, and Genomics*, *97*.

Sikorski, Z.E., Kołakowska, A. and Burt, J.R., 2020. Postharvest biochemical and microbial changes.In *Seafood* (pp. 55-75).CRC Press.

Verpe, E.H., Bantle, M. and Tolstorebrov, I., 2018. Evaluating plate freezing of fish using natural refrigerants and comparison with numerical freezing model.In *Proceedings of the 13th IIR Gustav Lorentzen Conference, Valencia, 2018*.IIR.

Journal of Caspian Fisheries Research (J.A.C.F.R)