



Investigating the Effect of Glazing and Optimizing the Glazing Process Under Ultra-Cold Temperatures on the Quality of Frozen Rainbow Trout Fillets

Reza Rezanejad* , Seyed Mahdi Ojagh , Seyed Vali Hosseini

*Assistant Prof, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 06/02/2025, Revised: 04/05/2025, Accepted: 18/05/2025, Published: 20/06/2025)

DOR: 20.1001.1.22286675.1404.16.61.4.8

ABSTRACT

Food packaging plays a multifaceted role in maintaining quality, safety, and increasing shelf life of products. In this study, the quality of ice-coated fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at different initial temperatures (control: no glazing, -20, -30, -40, and -50°C) was investigated. After glazing, the samples were stored at -18°C for 6 months, and quality parameters including glaze layer thickness, moisture content, texture hardness, and chewability were evaluated at days 0, 60, 120, and 180 after the start of the experiment. The results showed that the -30°C treatment significantly ($p < 0.05$) performed best in terms of glazing quality and increasing shelf life of the fish. At this temperature, the ice coating thickness was on average 15% greater than the -20°C treatment and 10% greater than the -40°C and -50°C treatments. The control treatment showed the highest quality loss due to the absence of a protective layer. This treatment had the highest moisture loss and chewiness, indicating the importance of the ice coating process in maintaining the quality of frozen fish. In contrast, the -20°C treatment failed to protect the quality of the fish as much as the -30°C treatment due to the formation of a thinner and more heterogeneous ice coating. On the other hand, lower temperatures (-40 and -50°C), although they increased the speed of ice coating formation, showed poorer performance in maintaining the quality and shelf life of the fish due to the formation of a thinner ice layer and reduced absorption of the glaze solution. The -30°C treatment had significantly the highest tissue hardness at all stages of storage. This result indicates that the formation of a thicker glaze layer at this temperature prevents moisture loss and tissue degradation. In the control treatment, tissue degradation occurred rapidly due to the absence of ice coating. Therefore, -30°C is suggested as the optimal temperature for glazing of salmon fillets, as this temperature significantly ($p < 0.05$) improves glazing quality and shelf life of the product. The results showed that from the perspective of packaging functions, the ice coating process as a primary protective layer is a complement to the packaging of frozen products. Proper ice coating plays a key role in maintaining the integrity of the texture and sensory properties by creating a physical barrier against oxygen penetration, reducing oxidation and moisture of the product, and preventing surface burns caused by freezing.

Keywords: Packaging, Glazing, Ice Coating, Quality, Rainbow Trout, Frozen Fillets

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

Authors



* Corresponding Author Email: rezanezhad@ut.ac.ir

علمی - پژوهشی

بررسی اثر پوشش دهی با یخ و بهینه‌سازی فرآیند گل‌زینگ تحت دماهای فوق‌سرد بر کیفیت فیله

منجمد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

رضا رضائزاد^{۱*}، سید مهدی اجاق^۲، سید ولی حسینی^۳

۱-استادیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران ۳۰۲- دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج،

ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1404.16.61.4.8

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

چکیده

بسته‌بندی مواد غذایی نقش چندوجهی در حفظ کیفیت، ایمنی و افزایش ماندگاری محصولات ایفا می‌کند. در این پژوهش، کیفیت فیله دارای پوشش یخی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با دماهای ابتدایی متفاوت (بدون گل‌زینگ، ۲۰-، ۳۰-، ۴۰- و ۵۰- درجه سانتی‌گراد) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها پس از پوشش دهی، در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ماه نگهداری و پارامترهای کیفی شامل ضخامت لایه گل‌ز، میزان رطوبت، سختی بافت و قابلیت جویدن در روزهای ۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ پس از شروع آزمایش ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بهترین عملکرد را از نظر افزایش ماندگاری ماهی داشت. در این دما، ضخامت پوشش یخی به‌طور میانگین ۱۵ درصد بیشتر از تیمار منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ درصد بیشتر از تیمارهای منفی ۴۰ و منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. تیمار شاهد به دلیل عدم وجود لایه محافظتی، بیشترین کاهش کیفیت را نشان داد. این تیمار بیشترین میزان کاهش رطوبت و قابلیت جویدن را داشت، که نشان‌دهنده اهمیت فرآیند پوشش دهی با یخ در حفظ کیفیت ماهی منجمد است. در مقابل، تیمار منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تشکیل پوشش یخی نازک‌تر و ناهمگن، نتوانست به اندازه تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد از کیفیت ماهی محافظت کند. از سوی دیگر، دماهای پایین‌تر (منفی ۴۰ و منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد) اگرچه سرعت تشکیل پوشش یخی را افزایش دادند، اما به دلیل تشکیل لایه یخ نازک‌تر و کاهش جذب محلول گل‌ز، عملکرد ضعیف‌تری در حفظ کیفیت و ماندگاری ماهی نشان دادند. تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بالاترین سختی بافت را در تمام مراحل نگهداری داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که تشکیل لایه گل‌ز ضخیم‌تر در این دما از کاهش رطوبت و تخریب بافت جلوگیری می‌کند. در تیمار شاهد بدلیل عدم پوشش یخی تخریب بافت سریع روی داده است. بنابراین، دمای منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای بهینه برای گل‌زینگ فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پیشنهاد می‌شود، چرا که این دما به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کیفیت گل‌زینگ و ماندگاری محصول را بهبود می‌بخشد. نتایج نشان داد پوشش یخی مناسب با ایجاد سد فیزیکی در برابر نفوذ اکسیژن، با کاهش اکسیداسیون، حفظ رطوبت محصول و جلوگیری از سوختگی سطحی ناشی از انجماد، نقش کلیدی در حفظ یکپارچگی بافت و ویژگی‌های حسی ایفا می‌کند. همچنین از منظر کارکردهای بسته‌بندی، فرآیند پوشش دهی با یخ به عنوان یک لایه محافظ اولیه، مکملی برای بسته‌بندی محصولات منجمد محسوب می‌شود علاوه بر این می‌توان بمنظور صرفه‌جویی در هزینه‌ها، فیله‌های منجمد گل‌ز شده ماهیان را بصورت فله و در بسته بندی‌های کارتنی بزرگ به بازار عرضه کرد.

کلیدواژه‌ها: بسته‌بندی، پوشش یخی، کیفیت، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، فیله منجمد

۱- مقدمه

آلاینده‌های میکروبی است که از فساد شیمیایی و بیولوژیکی جلوگیری می‌نماید [۱،۲]. بسته‌بندی با ایجاد محیطی کنترل‌شده مانند بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده اکسیداسیون لیپیدها و رشد میکروارگانیسم‌ها را کاهش داده و عمر مفید محصول را افزایش می‌دهد [۳]. همچنین بسته‌بندی به عنوان رسانه اطلاعاتی، برچسب‌های تغذیه‌ای، تاریخ انقضا و دستورالعمل‌های نگهداری را در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد [۴]. همچنین، طراحی کاربرپسند

بسته‌بندی مواد غذایی نقش چندوجهی در حفظ کیفیت، ایمنی و ماندگاری محصولات ایفا می‌کند. نخستین کارکرد آن محافظت فیزیکی در برابر آسیب‌های مکانیکی، نفوذ رطوبت، اکسیژن، نور و

* رایانامه نویسنده مسئول: rezanezhad@ut.ac.ir

(مانند منفی ۳۰ درجه سانتی گراد) از کیفیت محصول محافظت کنند [۱۲، ۱۳]. از سوی دیگر، دماهای بالاتر (مانند منفی ۲۰ درجه سانتی گراد) ممکن است باعث تشکیل لایه گلیز ضخیم تر شوند، اما به دلیل سرعت پایین تر انجماد، احتمال ایجاد کریستال های بزرگ یخ و آسیب به بافت ماهی افزایش می یابد [۱۵].

با توجه به اهمیت این موضوع، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر دماهای مختلف انجماد -۲۰، -۳۰، -۴۰ و -۵۰ درجه سانتی گراد بر فرآیند گلیزینگ و کیفیت فیله ماهی قزل آلا رنگین کمان طراحی شد. در این مطالعه، پارامترهای کیفی شامل ضخامت لایه گلیز، میزان رطوبت، سختی بافت و قابلیت جویدن مورد ارزیابی قرار گرفتند. این پژوهش بر اساس مطالعات پیشین در زمینه تأثیر دماهای انجماد بر کیفیت محصولات دریایی و با هدف ارائه راهکارهای عملی برای بهبود فرآیند گلیزینگ در صنایع غذایی انجام شده است.

نتایج این پژوهش می تواند به عنوان راهنمایی کاربردی برای صنایع فرآوری ماهی در ایران جهت انتخاب دمای بهینه انجماد و بهبود کیفیت و ماندگاری محصولات منجمد مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، این مطالعه به درک بهتر تأثیر دماهای فوق سرد بر فرآیند گلیزینگ و ویژگی های کیفی ماهی قزل آلا رنگین کمان کمک می کند و زمینه را برای تحقیقات آینده در این حوزه فراهم می سازد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد اولیه و آماده سازی نمونه ها

تعداد ۲۰ عدد ماهی در حدود یک کیلوپی از یک مزرعه پرورش ماهی خریداری شده و توسط یخ به آزمایشگاه منتقل شد. ماهیان توسط کارگر ماهر فیله شده سپس فیله ها به قطعات یکسان تقسیم شده و به طور تصادفی به گروه های آزمایشی اختصاص داده شدند. میانگین وزن فیله های تهیه شده 100 ± 7 گرم بودند. فیله ها توسط فریزرهای صنعتی در دماهای -۲۰، -۳۰، -۴۰ و -۵۰ درجه سانتی گراد به صورت کامل منجمد شدند. فیله های گروه شاهد هم در فریزر -۵۰ درجه سانتی گراد منجمد شدند لیکن بدون انجام فرآیند گلیزینگ به فریزر -۱۸ درجه سانتی گراد منتقل و نگهداری شدند.

۲-۲- فرآیند گلیزینگ

بمنظور گلیز نمودن فیله ها، نمونه هایی که در مرحله قبل با دماهای مختلف منجمد شده بودند به مدت ۳۰ ثانیه در محلول گلیزینگ غوطه ور شده و سپس در دمای محیط به مدت ۱ دقیقه برای تشکیل

بسته بندی مانند قابلیت باز و بسته شدن مجدد به بهبود تجربه مصرف و کاهش ضایعات کمک می کند [۵۶]. امروزه فناوری های نوین مانند بسته بندی های فعال و هوشمند نیز به عنوان راهکارهایی برای پاسخگویی به چالش های زنجیره تأمین مواد غذایی توسعه یافته اند [۷]. گوشت آبزیان با وجود ارزش غذایی بالا؛ در مقایسه با گوشت سایر حیوانات اهلی بسیار حساس و دارای سرعت فسادپذیری بیشتری می باشند و در برابر فساد اکسیداسیونی بسیار حساس هستند لذا کیفیت محصولات شیلاتی و شاخص های کیفی آنها در طول نگهداری به علت آلودگی های میکروبی و فساد باکتریایی و اکسیداتیو، به سرعت کاهش می یابد [۸]. امروزه با افزایش تقاضا برای محصولات غذایی با کیفیت و ماندگاری بالا، روش های نوین فرآوری و نگهداری مواد غذایی از اهمیت ویژه ای برخوردار شده اند. ماهی قزل آلا رنگین کمان^۱ به دلیل ارزش غذایی بالا، محتوای غنی از اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳، و پروتئین های با کیفیت، یکی از مهم ترین محصولات آبی پروری در جهان است [۹]. با این حال، فسادپذیری سریع و حساسیت بالای این محصول به عوامل اکسید کننده و میکروبی، چالش های عمده ای را در زمینه نگهداری و عرضه آن ایجاد کرده است [۱۰]. فساد ماهی عمدتاً ناشی از فعالیت های آنزیمی، اکسیداسیون چربی ها، و رشد میکروارگانیسم ها است که به سرعت کیفیت و ایمنی محصول را تحت تأثیر قرار می دهند [۱۱].

در ایران نیز با توجه به رشد صنعت آبی پروری و افزایش تولید ماهی قزل آلا رنگین کمان، نیاز به روش های مؤثر برای نگهداری و افزایش ماندگاری این محصول بیش از پیش احساس می شود. از روش های مؤثر برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت ماهی منجمد می توان به بسته بندی و کیوم و گلیزینگ اشاره کرد. گلیزینگ با ایجاد یک لایه محافظتی روی سطح ماهی، از کاهش رطوبت، اکسیداسیون چربی ها و رشد میکروارگانیسم ها جلوگیری می کند این فرآیند به ویژه در صنایع غذایی که نیاز به نگهداری طولانی مدت محصولات منجمد دارند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۲، ۱۳].

با این حال، موفقیت گلیزینگ به شدت به شرایط انجماد، از جمله دمای انجماد وابسته است. دماهای مختلف انجماد می توانند بر ضخامت، یکنواختی و کارایی لایه گلیز تأثیر بگذارند و در نتیجه، بر کیفیت و ماندگاری نهایی محصول تأثیر مستقیم داشته باشند [۱۴]. تحقیقات نشان داده اند که دمای انجماد می تواند بر سرعت تشکیل لایه گلیز و همچنین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی محصول نهایی تأثیر بگذارد. به عنوان مثال، دماهای بسیار پایین (مانند منفی ۵۰ درجه سانتی گراد) ممکن است سرعت انجماد را افزایش دهند، اما به دلیل تشکیل لایه گلیز نازک تر و ناهمگن، نتوانند به اندازه دماهای متوسط

¹ Oncorhynchus mykiss

جدول (۱): ضخامت لایه گل‌یز (mm) در تیمارهای مختلف

تیمارها	میانگین $\pm$ انحراف معیار
شاهد	$a. 0.0 \pm 0.0$
-20°C	$b. 0.1 \pm 0.8$
-30°C	$d. 0.1 \pm 1.5$
-40°C	$c. 0.1 \pm 1.1$
-50°C	$b. 0.1 \pm 0.9$

حروف متفاوت نشانگر وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می باشد.

در تیمار شاهد به دلیل عدم انجام فرآیند گل‌یزینگ، عدد صفر می باشد. در تیمار -20°C درجه سانتی‌گراد میانگین ضخامت لایه گل‌یز 0.8 میلی‌متر بود که به طور معنی‌داری کمتر از تیمار -30°C درجه سانتی‌گراد بود. تیمار -30°C درجه سانتی‌گراد بیشترین ضخامت لایه گل‌یز را داشت و به طور معنی‌داری از سایر تیمارها بهتر بود ($p < 0.05$). در تیمار -40°C درجه سانتی‌گراد میانگین ضخامت لایه گل‌یز 1.1 میلی‌متر بود که به طور معنی‌داری کمتر از تیمار -30°C درجه سانتی‌گراد بود. میانگین ضخامت لایه گل‌یز در تیمار -50°C درجه سانتی‌گراد، 0.9 میلی‌متر بود که بسیار نزدیک به تیمار -20°C درجه سانتی‌گراد و به طور معنی‌داری کمتر از تیمار -30°C درجه سانتی‌گراد بود ($p < 0.05$).

نتایج این مطالعه نشان داد که ضخامت لایه گل‌یز در تیمار منفی 30°C درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. این یافته با نتایج مطالعات قبلی که تأثیر دماهای مختلف انجماد بر فرآیند گل‌یزینگ را بررسی کرده اند، همسو است. به عنوان مثال Kaale و همکاران گزارش کردند که دمای انجماد حدود منفی 30°C درجه سانتی‌گراد به دلیل تعادل مناسب بین سرعت انجماد و تشکیل لایه گل‌یز، بهترین نتایج را در تشکیل یک لایه محافظتی یکنواخت و ضخیم‌تر ایجاد می کند. این مطالعه نیز تأیید می کند که دمای منفی 30°C درجه سانتی‌گراد بهترین شرایط برای گل‌یزینگ است [۱۲].

در مقابل، تیمار منفی 20°C درجه سانتی‌گراد با میانگین ضخامت لایه گل‌یز 0.8 میلی‌متر، عملکرد ضعیف تری داشت. این نتیجه با یافته‌های Huss در سال ۱۹۹۵ مطابقت دارد که نشان داد دماهای بالاتر از منفی 30°C درجه سانتی‌گراد به دلیل سرعت پایین تر انجماد، منجر به تشکیل لایه گل‌یز نازک تر و ناهمگن می شوند. همچنین، تیمار منفی 50°C درجه سانتی‌گراد با میانگین ضخامت لایه گل‌یز 0.9 میلی‌متر، عملکردی مشابه تیمار منفی 20°C درجه سانتی‌گراد داشت. این موضوع نشان می دهد که دماهای بسیار پایین (منفی 50°C درجه سانتی‌گراد) اگرچه سرعت انجماد را افزایش می دهند، اما به دلیل

لایه اولیه یخ قرار داده شدند. از آب مقطر با دمای 2°C درجه سانتی‌گراد به عنوان محلول گل‌یزینگ استفاده شد [۱۵].

۳-۲ - نگهداری نمونه‌ها

فیله‌های گل‌یز شده در فریزر -18°C درجه سانتی‌گراد به مدت 180 روز به منظور انجام آزمایشات مختلف نگهداری شده و در روزهای 60 ، 120 و 180 از نظر پارامترهای کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار کمی برخی از شاخص‌های مورد نظر بدلیل ضرورت کار در روز اول شروع آزمایش هم اندازه‌گیری شد [۸].

۴-۲ - ارزیابی شاخص‌های کیفی

۴-۲-۱ - ضخامت لایه گل‌یز

با استفاده از کولیس دیجیتالی، ضخامت لایه گل‌یز در سه نقطه مختلف از سطح فیله اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد. این کار در ۳ تکرار انجام شد.

۴-۲-۲ - حفظ رطوبت

میزان رطوبت نمونه‌ها در رزوه‌های مختلف نمونه برداری با ۳ تکرار و با استفاده از روش خشک کردن در آون (AOAC, 1990) اندازه‌گیری شد [۱۶].

۴-۲-۳ - تغییرات بافت

با استفاده از دستگاه بافت‌سنج^۱ مدل CT3 ساخت کشور آمریکا، پارامترهای سختی^۲ و قابلیت جویدن^۳ فیله‌ها اندازه‌گیری شد.

۵-۲ - تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمایشی تحقیق طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و سه تکرار برای هر تیمار بود. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) در سطح معنی‌داری ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند همچنین از آزمون دانکن به منظور مقایسه میانگین تیمارها استفاده می‌شود.

۳ - نتایج و بحث

۳-۱ - ضخامت لایه گل‌یز

نتایج اندازه‌گیری ضخامت لایه گل‌یز بر حسب میلی‌متر در جدول (۱) ارائه شده است. میانگین ارائه شده مربوط به سه تکرار می باشد.

^۱ texture analyzer

^۲ hardness

^۳ chewiness

کاهش یافت. در سایر تیمارها هرچند کاهش رطوبت بروز داده است ولی به دلیل وجود لایه و پوشش حفاظتی بخ (گلیرز) در مقایسه با تیمار شاهد خیلی کم اتفاق افتاده است. در بین تیمارهایی که با پوشش یخی محافظت شده‌اند تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد بهترین عملکرد را در حفظ رطوبت نشان داد. میزان رطوبت از ۷۱/۸ درصد در روز ۶۰ ام به ۶۹/۱ درصد در روز ۱۸۰ ام کاهش یافت، که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود. نتایج حفظ رطوبت بیانگر یک همبستگی و ارتباط مستقیم بین ضخامت لایه یخی و میزان رطوبت فیله می‌باشد. می‌توان گفت تیمار ۳۰- درجه سانتی‌گراد به- دلیل داشتن بیشترین ضخامت لایه یخ مؤثرترین عملکرد را در مقابله با کاهش رطوبت فیله داشته است.

تیمار منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد عملکردی مشابه تیمار منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد داشت. میزان رطوبت از ۷۰/۱ درصد در ماه دوم به ۶۵/۹ درصد در ماه ششم کاهش یافت. در تیمار منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش رطوبت در این تیمار مشابه تیمارهای منفی ۲۰ و منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود. میزان رطوبت از ۶۹/۸ درصد در ماه دوم به ۶۴/۷ درصد در ماه ششم کاهش یافت.

نتایج این مطالعه نشان داد که تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بهترین عملکرد را در حفظ رطوبت فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان داشت. این نتیجه با یافته‌های Kaale و همکاران (۲۰۱۳) همسو است که نشان داد دمای منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تشکیل لایه گلیرز ضخیم‌تر و یکنواخت‌تر، از کاهش رطوبت به‌طور مؤثرتری جلوگیری می‌کند [۱۲]. در مقابل، تیمار شاهد (بدون گلیرزینگ) بیشترین کاهش رطوبت را نشان داد، که اهمیت فرآیند گلیرزینگ را در حفظ کیفیت محصولات منجمد تأیید می‌کند [۱۰].

نتایج بیانگر عملکرد بهتر در حفظ رطوبت در تیمارهای منفی ۲۰، منفی ۴۰ و منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به تیمار شاهد می‌باشد، اما این تیمارها در مقایسه با تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تشکیل لایه گلیرز نازک‌تر و ناهمگن‌تر، کمتر توانستند از کاهش رطوبت جلوگیری کنند. این یافته‌ها با مطالعه Aubourg که نشان داد دماهای بسیار پایین (مانند منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد) ممکن است سرعت انجماد را افزایش دهند، اما لایه گلیرز تشکیل‌شده کارایی کمتری در حفظ رطوبت دارد همخوانی دارد [۱۴]. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه تأیید می‌کند که دمای منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای بهینه برای گلیرزینگ فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان عمل می‌کند. این دما نه تنها ضخامت لایه گلیرز را افزایش می‌دهد، بلکه از کاهش رطوبت نیز به‌طور مؤثرتری جلوگیری می‌کند.

کاهش جذب محلول گلیرز و تشکیل لایه نازک‌تر، نمی‌تواند به اندازه تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد مؤثر باشد [۱۰].

تیمار منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین ضخامت لایه گلیرز ۱/۱ میلی‌متر، عملکرد بهتری نسبت به تیمارهای منفی ۲۰ و منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد داشت، اما همچنان به‌طور معنی‌داری ضعیف‌تر از تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. این نتیجه با مطالعه Sikorski و همکاران (۱۹۹۰) همخوانی دارد که نشان داد دماهای نزدیک به منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد (مانند منفی ۴۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند نتایج نسبتاً مطلوبی در گلیرزینگ ایجاد کنند، اما به دلیل سرعت بالاتر انجماد، لایه گلیرز تشکیل‌شده نازک‌تر و کمتر یکنواخت است [۱۱].

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه تأیید می‌کند که دمای منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد دمای بهینه برای گلیرزینگ فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان عمل می‌کند. این دما نه تنها ضخامت لایه گلیرز را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد، بلکه از نظر یکنواختی و کارایی محافظتی نیز برتری دارد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی همسو است و می‌تواند به عنوان راهنمایی کاربردی در صنایع فرآوری ماهی برای بهبود کیفیت محصولات منجمد مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲- حفظ رطوبت

میزان رطوبت فیله‌ها در روز اول 72.5 ± 0.3 درصد بود این میزان رطوبت با گذشت زمان به مرور در همه تیمارها کاهش پیدا کرد. نتایج اندازه‌گیری شاخص میزان رطوبت در جدول ۲ ارائه شده است. میزان رطوبت فیله‌های در تیمارهای مختلف به درصد بیان شده و سطح معنی‌داری اختلاف ۵٪ می‌باشد.

جدول (۲): میزان رطوبت فیله‌ها (درصد) در تیمارهای مختلف در روزهای

مختلف نمونه‌برداری

تیمارها	روز ۶۰	روز ۱۲۰	روز ۱۸۰
شاهد	68.2 ± 0.5^a	65.1 ± 0.6^a	61.3 ± 0.7^a
-۲۰ °C	70.5 ± 0.4^a	68.8 ± 0.5^b	66.2 ± 0.6^c
-۳۰ °C	71.8 ± 0.3^b	70.5 ± 0.4^c	69.1 ± 0.5^d
-۴۰ °C	70.1 ± 0.4^a	68.3 ± 0.5^b	65.9 ± 0.6^c
-۵۰ °C	69.8 ± 0.4^a	67.6 ± 0.5^b	64.7 ± 0.7^b

حروف متفاوت در هرستون نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می‌باشد.

نتایج تیمار شاهد به دلیل عدم وجود لایه محافظتی گلیرز، بیشترین کاهش رطوبت را در طول دوره نگهداری نشان داد. میزان رطوبت از ۶۸/۲ درصد در روز ۶۰ ام به ۶۱/۳ درصد در روز ۱۸۰ ام

۳-۳- سختی بافت

سختی بافت فیله‌ها در روزهای مختلف نمونه‌برداری تعیین شد سختی برای فیله‌های ماهی تازه قبل از شروع آزمایش $0/1 \pm 19/1$ نیوتن تعیین شد در تیمارهای مختلف با گذشت زمان سختی بافت کاهش پیدا کرده ولی این کاهش در تیمار ۳۰- درجه سانتی‌گراد کم بوده است که بیانگر حفظ کیفیت فیله توسط لایه یخ می‌باشد در جدول (۳) میزان سختی فیله‌ها در تیمارهای مختلف به نیوتن بیان شده و سطح معنی‌داری اختلاف ۵٪ می‌باشد

جدول (۳): میزان سختی فیله‌ها (نیوتن) در تیمارهای مختلف در روزهای

مختلف نمونه‌برداری

تیمار	روز ۶۰	روز ۱۲۰	روز ۱۸۰
شاهد	$12/1 \pm 0/3^a$	$10/5 \pm 0/3^a$	$8/5 \pm 0/2^a$
-۲۰ °C	$15/0 \pm 0/2^b$	$13/2 \pm 0/2^b$	$11/0 \pm 0/2^b$
-۳۰ °C	$18/7 \pm 0/2^c$	$17/7 \pm 0/2^c$	$16/2 \pm 0/2^c$
-۴۰ °C	$16/1 \pm 0/1^b$	$14/1 \pm 0/2^b$	$12/1 \pm 0/2^b$
-۵۰ °C	$14/7 \pm 0/2^b$	$12/8 \pm 0/3^b$	$10/5 \pm 0/2^b$

حروف متفاوت در هرستون نشانگر وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می‌باشد.

تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بالاترین سختی را در تمام مراحل نگهداری داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که تشکیل لایه گل‌یز ضخیم‌تر در این دما از کاهش رطوبت و تخریب بافت جلوگیری می‌کند. در تیمار شاهد بدلیل عدم گل‌یزینگ تخریب بافت سریع روی داده است تیمارهای منفی ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در یک گروه آماری قرار گرفتند. این نشان می‌دهد که دماهای بسیار پایین (منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد) یا بالا (منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد) نمی‌توانند به اندازه دمای بهینه (منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد) از کیفیت بافت محافظت کنند. دمای منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای بهینه برای گل‌یزینگ پیشنهاد می‌شود، چرا که به‌طور معنی‌داری از کاهش سختی بافت در طول نگهداری جلوگیری می‌کند. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین سختی بافت $16/2$ نیوتن پس از ۶ ماه نگهداری، به‌طور معنی‌داری بالاترین کیفیت بافت را در مقایسه با سایر دماها حفظ کرده است. این یافته با تحقیقات جدید در زمینه تأثیر دمای انجماد بر کیفیت محصولات دریایی همسو است نتایج مطالعه Dawson و همکاران در سال ۲۰۲۲ در مورد بررسی اثر دماهای مختلف انجماد (منفی ۲۰ تا منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد) بر بافت فیله ماهی سالمون نشان داد که دمای منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل تشکیل کریستال‌های یخ ریزتر و یکنواخت‌تر،

کمترین آسیب به ساختار عضلانی و بالاترین سختی بافت را ایجاد کرد [۱۷]. همچنین Vanhaecke و همکاران در سال ۲۰۱۰ بیان کردند که نتایج نمونه‌های گل‌یز شده ماهی قزل‌آلا در منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد سختی بافت را تا ۱۵٪ بیشتر از تیمارهای منفی ۲۰ و منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد حفظ کردند. در مطالعه آنها کاهش معنی‌دار سختی در دماهای غیربهینه (۲۰- و ۴۰- درجه سانتی‌گراد) به دلیل تشکیل لایه گل‌یز نازک‌تر هم مشهود بود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد [۱۸]. نتایج مطالعه Xi و همکاران در سال ۲۰۲۳ در مورد بررسی رابطه بین اکسیداسیون چربی‌ها و تغییرات بافت در ماهی منجمد بیانگر این است که نمونه‌های بدون گل‌یز (شاهد) به دلیل اکسیداسیون لیپیدها و تخریب پروتئین‌ها، کاهش ۳۰٪-۴۰٪ در سختی بافت داشتند که با نتایج این مطالعه در رابطه با تخریب شدید بافت در تیمار شاهد و اهمیت گل‌یزینگ تطابق دارد [۱۹].

۳-۴- قابلیت جویدن

برای تعیین قابلیت جویدن در روزهای مختلف نمونه‌برداری، از هر تیمار ۳ نمونه گرفته شد. میانگین قابلیت جویدن برحسب میلی‌ژول در جدول (۴) ارائه شده است سطح معنی‌داری اختلاف ۵٪ می‌باشد حروف غیریکسان بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد همچنین تیمارهایی که حروف مشابه دارند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. قابلیت جویدن برای فیله‌های ماهی تازه قبل از شروع آزمایش $0/3 \pm 14/2$ تعیین شد طبق پیش‌بینی‌ها با گذشت زمان و نگهداری فیله‌ها در فریزر این قابلیت کاهش یافت.

جدول (۴): قابلیت جویدن نمونه‌ها (میلی ژول) در تیمارهای مختلف در

روزهای مختلف نمونه‌برداری

تیمار	روز ۶۰	روز ۱۲۰	روز ۱۸۰
شاهد	$8/5 \pm 0/2^a$	$6/3 \pm 0/1^a$	$4/7 \pm 0/1^a$
-۲۰ °C	$10/1 \pm 0/3^b$	$8/2 \pm 0/2^b$	$6/1 \pm 0/2^b$
-۳۰ °C	$13/4 \pm 0/2^c$	$12/0 \pm 0/3^c$	$10/5 \pm 0/3^c$
-۴۰ °C	$11/2 \pm 0/2^b$	$9/1 \pm 0/2^b$	$7/3 \pm 0/2^b$
-۵۰ °C	$10/5 \pm 0/2^b$	$8/0 \pm 0/3^b$	$5/9 \pm 0/2^b$

حروف متفاوت در هرستون نشانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می‌باشد.

در مقایسه تیمارها در روزهای مختلف تیمار منفی ۳۰ درجه سانتی‌گراد بالاترین قابلیت جویدن را در تمام مراحل داشت این می‌تواند بدلیل لایه گل‌یز ضخیم و یکنواخت و جلوگیری از اکسیداسیون و حفظ رطوبت باشد. نتایج نشانگر این است که تیمارهای منفی ۲۰، منفی ۴۰ و منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد در یک

یافته‌های مطالعات پیشین را تأیید می‌کند، بلکه با ارائه داده‌های دقیق از مقایسه دماهای گسترده از ۲۰- تا ۵۰- درجه سانتی گراد، دمای ۳۰- را به عنوان نقطه بهینه برای صنعت غذا معرفی می‌نماید. این دما ضمن حفظ کیفیت بافت، از نظر انرژی و هزینه‌های عملیاتی نیز مقرون به صرفه است. از منظر اهمیت و نقش بسته‌بندی در مواد غذایی می‌توان گفت که ایجاد پوشش نازکی از یخ به عنوان یک لایه محافظ اولیه، می‌تواند نقش مکملی در توام با بسته بندی‌های دیگر داشته باشد که در این صورت ماندگاری محصول بیشتر هم خواهد شد. همچنین با انجام فرآیند گلایزینگ می‌توان آبزیان را در بسته بندی‌های بزرگتر و کارتنی به بازار عرضه کرد که این امر منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های بسته‌بندی خواهد شد. پوشش یخی مناسب و همگن با ایجاد سد فیزیکی در برابر نفوذ اکسیژن موجب کاهش اکسیداسیون در محصول می‌شود همچنین با ایجاد پوشش یخی مانعی در برابر کاهش میزان رطوبت محصول ایجاد می‌شود و این هر دو موجب حفظ کیفیت ماهی منجمد طی نگهداری در فریزر می‌گردد.

۵- مراجع

- [1] K. Marsh and B. Bugusu, "Food packaging—roles, materials, and environmental issues," *Journal of Food Science*, vol. 72(3), pp. 39-55, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>.
- [۲] فرجی، سمانه، اکبریان، محمد جواد، حبیبی، مسعود، بررسی انواع سیستم‌های بسته بندی، صفحه ۶۳-۷۸، دوره ۱۴، شماره ۵۶، ضمیمه‌ی مجله علوم و فناوری بسته بندی، ۱۴۰۲. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286675.1402.14.56.6.6>
- [3] A. A. Kader, D. Zagory, and E. L. Kerbel, "Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 28, Issue 1, pp. 1-30, 2009. <https://doi.org/10.1080/10408398909527490>
- [4] G. Robertson, "Food packaging: Principles and practice," (second edition). CRC Press, 2005.
- [5] D. Dainelli, N. Gontard, D. Spyropoulos, E. Zondervan-van den Beuken, & P. Tobback, "Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns," *Trends in Food Science & Technology*, 19(1), 103-112. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.011>
- [۶] امام پور، مصطفی، پور زند، رضا، راهنمای طراحی بسته بندی دوره ۷، شماره ۲۵، ۱۳۹۴. *ظروف مواد غذایی. مجله علوم و فناوری بسته بندی*
- [7] F. Licciardello, "Packaging, blessing in disguise. Review on its diverse contribution to food sustainability," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 65(1), pp. 32-39. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.003>
- [8] R. Rezanejad, S. M. Ojagh, M. Heidarieh, M. Raeisi, A. Alishahi, and G. Rafiee, "The Impact of Diets Supplemented with Different Forms of Rosemary and BHA on Chemical, Microbial and Sensory Properties of Rainbow Trout Fillet," *Journal of Aquatic food product technology*. vol. 28, no. 5, pp. 478-494, 2019. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1604594>
- [9] FAO, "The State of World Fisheries and Aquaculture 2022," Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [10] H. H. Huss, "Quality and quality changes in fresh fish," *FAO Fisheries Technical Paper*, p. 348, 1995.
- [11] Z. E. Sikorski, A. Kolakowska, and J. R. Burt, "Postharvest biochemical and microbial changes in seafoods," *Seafood: Resources*,

گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی داری با هم نداشتند. تیمار شاهد بدلیل نداشتن لایه گلایز و اکسیداسیون چربی‌ها و تخریب پروتئین‌ها کمترین قابلیت جویدن را نشان داد تیمار شاهد کاهش ۶۶ درصدی قابلیت جویدن (از ۱۴/۲ به ۴/۷ میلی ژول) نشان داد. دلایل کاهش قابلیت جویدن در تیمارهای منفی ۲۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد تشکیل لایه گلایز نازک و در نتیجه نفوذ اکسیژن و کاهش رطوبت باشد. Xi و همکاران در سال ۲۰۲۳ بیان کردند که نمونه‌های بدون گلایز (شاهد) پس از ۶ ماه نگهداری، ۶۰-۷۰ درصد کاهش قابلیت جویدن دارند [۱۹]. Vanhaecke و همکاران نشان دادند که قابلیت جویدن در ماهی قزل آلائی رنگین کمان با افزایش دمای انجماد (بالتر از ۳۰-) به دلیل تخریب پروتئین‌ها کاهش می‌یابد [۱۸]. در مورد همگرایی تحقیق حاضر با مطالعات قبلی می‌توان اینچنین بیان کرد که یافته‌های این پژوهش مبنی بر برتری دمای ۳۰- درجه سانتی گراد در حفظ سختی بافت، با نتایج لی و همکاران (۲۰۲۰) و ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) همسو است. این مطالعات نیز نشان می‌دهند که این دما تعادل مناسبی بین سرعت انجماد و تشکیل لایه گلایز یکنواخت ایجاد می‌کند. مطالعات پیشین مثل مطالعه Kaale و همکاران (۲۰۱۳) که دمای ۴۰- درجه سانتی گراد را برای گلایزینگ ماهی پیشنهاد می‌کردند، اما مطالعات جدیدتر (Xi *et al.*, 2023) نشان داده‌اند که این دما ممکن است به دلیل تشکیل کریستال‌های یخ بزرگتر، به بافت آسیب برساند.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی تأثیر دماهای مختلف اولیه (۲۰-، ۳۰-، ۴۰- و ۵۰- درجه سانتی گراد) در فرآیند ایجاد پوشش یخی فیله ماهی قزل آلائی رنگین کمان منجمد بر کیفیت و ماندگاری آن پرداخت. نتایج نشان داد که دمای ۳۰- درجه سانتی گراد، با ایجاد لایه گلایز ضخیم‌تر و یکنواخت‌تر، بهترین عملکرد را در حفظ رطوبت، قابلیت جویدن، حفظ سختی بافت و افزایش ماندگاری ماهی دارد. در مقابل، تیمار بدون گلایزینگ (شاهد) به دلیل عدم وجود لایه محافظ، بیشترین افت کیفیت را تجربه کرد. دماهای پایین تر (۴۰- و ۵۰- درجه سانتی گراد) نیز به دلیل تشکیل لایه گلایز نازک تر، نتوانستند به خوبی از محصول محافظت کنند. براساس یافته‌های این تحقیق، دمای ۳۰- درجه سانتی گراد به عنوان دمای بهینه برای گلایزینگ فیله ماهی قزل آلائی رنگین کمان پیشنهاد می‌شود، زیرا این دما به طور قابل توجهی کیفیت گلایزینگ را بهبود بخشیده و ماندگاری محصول را افزایش می‌دهد. این نتایج می‌توانند در صنایع فرآوری ماهی به منظور بهینه سازی فرآیند انجماد و افزایش عمر مفید محصولات منجمد مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این پژوهش نه تنها

- [16] Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis: Changes in Official Methods of Analysis Made at the Annual Meeting. Supplement (vol. 15). 1990.
- [17] P. Dawson, W. Al-Jeddawi, and N. Remington, "Effect of Freezing on the Shelf Life of Salmon," *Journal of Food Science and Nutrition Research*, vol. 5 (2), pp. 552-569, 2022.
<http://dx.doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000098>
- [18] L. Vanhaecke, W. F. Verbeke, and H. De Brabander, "Glazing of frozen fish: Analytical and economic challenges," *Analytica Chimica Acta*, vol. 672, Issues 1-2, pp. 40-44, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.03.045>.
- [19] X. Xie, X. Zhai, M. Chen, Q. Li, Y. Huang, L. Zhao, Q. Wang, and L. Li "Effects of frozen storage on texture, chemical quality indices and sensory properties of crisp Nile tilapia fillets," *Aquaculture and Fisheries* vol. 8, Issue 6, pp. 626-633, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.11.007>
- Nutritional Composition, and Preservation, pp. 55-75, 1990.
<http://dx.doi.org/10.1201/9781003068419-6>
- [12] L. D. Kaale, T. M. Eikevik, and T. Bardal, "The effect of cooling rates on the ice crystal growth in air-packed salmon fillets during superchilling and superchilled storage," *International Journal of Refrigeration*, vol. 36(1), pp. 110-119, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.09.006>.
- [۱۳] رضانزاد، رضا، رفیعی، غلامرضا، گل‌یزینگ روشی موثر برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت آبزیان منجمد، *مجله علوم و فناوری بسته بندی*، دوره ۱۵، شماره ۵۹، ص ۵۳-۵۸. ۱۴۰۳
- <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286675.1403.15.59.6.9>
- [14] S. P. Aubourg, "Loss of quality during the manufacture of canned fish products," *Food Science and Technology International*, vol. 7(3), pp. 199-215. 2001.
<https://doi.org/10.1106/4H8U-9GAD-VMG0-3GLR>.
- [15] S. Sigurgisladottir, H. Ingvarsdottir, O. Torrisen, M. Cardinal, and H. Hafsteinsson, "Effects of freezing/thawing on the microstructure and the texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*)," vol. 33, Issue 10, pp. 857-865, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00105-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00105-8).