مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۲ شماره ۳/ سال ۱۴۰۱/ صفحات ۱۴۱ تا ۱۵۷
DOI: 10.22034/FR.2022.49366.1815

بررسی تاثیر جمود نعشی بر کیفیت، ارزش غذایی و تغییرات پروفایل اسید چرب فیله قره برون (*Acipenser persicus*) پرورشی منجمد

مینا سیف زاده[1*] و قربان زارع گشتی[2]

تاریخ دریافت: ۴۰۰/۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۴۰۰/۱۰/۲۷

[1] استادیار، مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان، پژوهشکده آبزی پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، انزلی، ایران
[2] کارشناس ارشد بازتشسته، مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان، پژوهشکده آبزی پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، انزلی، ایران
*مسئول مکانبه: Email: m_seifzadeh_ls@yahoo.com

چکیده

زمینه مطالعاتی: بعد از صید ماهی، یون‌های کلسیم باعث انقباض ماهیچه‌های آن می‌شوند، و با توجه به این‌که انرژی وجود ندارند، بنابراین ماهیچه‌ها به حالت سفت باقی می‌مانند، که جمود نعشی نامیده می‌شود، و زمان آن با سردسازی ماهی هنگام صید کاهش می‌یابد. **هدف:** مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر جمود نعشی بر ویژگی‌های غذایی، اسید چرب، شیمیایی، میکروبی و حسی فیله قره برون پرورشی در شرایط انجماد انجام شد. روش کار: ماهی‌ها توسط خروج از آب کشتار شدند. فیله بسته‌بندی شده به روش تحت خلاء قبل از گذراندن جمود نعشی به عنوان شاهد استفاده شد. ماهی قره برون بعد از بیومتری و گذراندن جمود نعشی در یخ فیله شده و به روش تحت خلاء بسته‌بندی گردید. کیفیت فیله‌های آزمایشی و شاهد توسط آزمایشات فیزیکی(pH)، میکروبی مانند تعداد کلی باکتری‌ها و باکتری‌های استافیلوکوکوس، سودوموناس و کلی فرم و شیمیایی از جمله PV، TBARS، FFA و TVB-N و حسی نظیر بافت، بو، رنگ، طعم و مزه و پذیرش کلی بررسی شد. ارزش غذایی و پروفایل اسیدهای چرب تعیین شدند. **نتایج:** ماهی‌ها ۱/۸۰ کیلوگرم وزن و ٦٠ سانتی‌متر طول داشتند. در تیمارهای آزمایشی و شاهد: pH، تعداد کلی باکتری‌ها و باکتری‌های سودوموناس و استافیلوکوکوس، شیمیایی و حسی طی زمان نگهداری تغییرات معنی‌دار نشان دادند($p<0/05$). باکتری کلی‌فرم مشاهده نشد. ارزش غذایی تفاوت معنی‌دار نداشت ($p>0/05$). اسید پالمتیک (٣٤/١٦ – ٣٣/٦٧ درصد) بیشترین مقدار بود. نمایه پلی‌ان در تیمار آزمایشی (۰/۱۸) در مقایسه با شاهد (۰/۲۰) کاهش یافت. نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع در تیمارهای شاهد و آزمایشی ۱/۵۸ و ۰/۸٤ بود. تیمارها شش ماه در شرایط انجماد ماندگاری داشتند. رنگ، بافت و پذیرش کلی در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد بهتر ارزیابی شدند ($p<0/05$). **نتیجه گیری نهایی:** با توجه به اولویت ویژگی‌های حسی به سایر عوامل تهیه فیله از قره برون پرورشی بعد از گذراندن جمود نعشی پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: فیله قره برون پرورشی، بسته‌بندی تحت خلاء، انجماد، جمود نعشی

مقدمه

با وجود پیشرفت در فن‌آوری‌های مدرن ذخیره سازی، سرد کردن و انجماد از متداول‌ترین روش‌های نگهداری ماهی و فیله آن به شمار می‌روند (بنرجی و ماهسواپارا ۲۰۱۷). در این روش میزان فساد میکروبی، شیمیایی و آنزیمی به دما وابسته است، بنابراین کاهش دما به طور قابل توجهی سرعت این واکنش‌ها را کاهش داده و تازگی ماهی حفظ می‌شود. از آن جا که لیپیدهای ماهی حاوی سطح بالایی از پلی اسیدهای چرب غیر اشباع است، از این رو ماهی دارای ارزش غذایی بسیار بالایی است. با در نظر گرفتن محتوای اسیدهای چرب غیر اشباع، ماهی‌های مختلف ارزش غذایی متفاوتی را دارا هستند (تولستوربروف و همکاران ۲۰۱٦ و ارباب و همکاران ۱۳۹۸). مطالعات نشان داده است که مصرف ماهی‌های سرشار از اسیدهای چرب غیر اشباع مانند ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید، اثرات درمانی و پیشگیری کننده‌ای بر بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان، فشار خون بالا، التهاب، قند خون، چربی و رشد عصبی نوزادان دارند (ناکازاوا و اوکازاکی ۲۰۲۰ و حاج حسینی و همکاران ۱۳۹۸). در طی ذخیره سازی در شرایط انجماد لیپیدها، تحت تاثیر برخی تغییرات از جمله هیدرولیتیک و اتو اکسیداتیو قرار می‌گیرند که منجر به ایجاد خشکی (بدون ایجاد عطر و طعم نامناسب) می‌شوند و بر کیفیت ماهی و ماندگاری آن تأثیر می‌گذارد. میزان اکسیداسیون لیپیدی به عوامل متعددی از جمله میزان اسیدهای چرب غیر اشباع و زمان و درجه حرارت نگهداری بستگی دارد (داوسون و همکاران ۲۰۱۸).

پرورش ماهیان خاویاری طی سال‌های اخیر دارای روند صعودی بوده و از ٥٦٤ تن در سال ۱۳۹۲ به ۲۸۳۹ تن در سال ۱۳۹۷ رسید (سالنامه آماری شیلات ایران ۲۰۱۸)، که علاوه بر این که به شکل کامل در بازارهای جهانی تجارت می‌گردند، به اشکال استیک، دودی، منجمد و ماریناد نیز عرضه می‌شوند، از این رو تهیه فیله جهت ایجاد تنوع در محصولات ماهیان خاویاری در داخل کشور الزامی است.

بافت همبند ماهی تازه صید شده نسبت به افزایش دما هر چند در مقادیر اندک بسیار حساس است، بنابراین هر گونه عمل‌آوری مانند تخلیه امعاء و احشاء، شستشو یا حرکت ماهی صید تازه می‌تواند منجر به ایجاد منافذ در بافت شود. از این رو سردسازی ماهی صید شده در یخ جهت بازیابی بیشتر قدرت بافت همبند و جلوگیری از تشکیل منافذ در بافت و کاهش کیفیت آن الزامی است، که منجر می‌شود ماهی وارد مرحله جمود نعشی شود (بوردیریاس و سانچز آلونسو ۲۰۱۱). همچنین در اغلب مراکز تکثیر و پرورش ماهی امکانات کافی برای نگهداری ماهی‌های صید شده یا فیله‌سازی آن‌ها وجود ندارد و اکثر این مراکز فاصله مکانی زیادی با مراکز عمل‌آوری دارند، و به منزله عامل دیگری است که منجر می‌شود ماهی طی این مدت وارد مرحله جمود نعشی شود. جمود نعشی فرآیند آنزیماتیک است که به دما وابسته بوده و به سه مرحله تقسیم می‌شود. مرحله اول با مرگ ماهی شروع می‌شود که در طی آن جریان خون، اکسیژن رسانی و مکانیسم های دفاعی متوقف می‌شود. مرحله دوم با گلیکولیز شروع شده که منجر به تولید اسید لاکتیک و کاهش pH می‌شود. همچنین این مرحله با تغییرات فیزیکی همراه بوده و در طی آن انقباض عضلات و کاهش طول ماهی نیز مشاهده می‌شود، که در عضلات روشن مانند ماهی قره برون ۱۸ – ۱۵ درصد وزن اولیه است. در طی مرحله سوم جمود نعشی فرآیندهای اتولیتیک شروع می‌شود، که شامل فرآیند هیدرولیز پروتئین و چربی ماهی توسط آنزیم‌های پروتئولیتیک و لیپولیتیک است. در نتیجه آن به دلیل ایجاد محیط مساعد

برای رشد باکتری‌ها فساد باکتریایی بسیار سریع پیش می‌رود، همچنین واکنش‌های اتولیتیک و باکتریایی سبب می‌شوند که عوامل شیمیایی از جمله pH و تولید ترکیبات نیتروژنی افزایش یابند، و به دنبال افزایش تعداد باکتری‌ها و تولید ترکیبات نیتروژنی افزایش مجموع بازهای نیتروژنی فرار اتفاق می‌افتد. علاوه بر این در طی این مرحله بافت ماهی نیز نرم می‌شود (دوراتی و همکاران ۲۰۲۰). ویژگی‌های حسی از سایر عواملی است که جمود تعشی بر آن اثرگذار است، اگر این فیله‌ها منجمد شوند از کیفیت نامرغوبی برخوردار شده و در زمان انجمادزدایی مقدار زیادی افت انجماد به همراه خواهند داشت. بعلاوه به دلیل سفت شدن ماهی بعد از قرارگیری در تونل انجماد یا پلیت فریزر با ظاهر بد و تغییر شکل یافته منجمد می‌گردد که از نظر بازار یابی قابل قبول نیست (لی و همکاران ۲۰۱۷). و با توجه به این که تهیه فیله یکی از روش‌های بسیار آسان برای تولید فرآورده به شمار می‌رود بدان جهت بررسی کیفیت فیله تهیه شده از ماهی‌های خاویاری بعد از گذراندن جمود نعشی حائز اهمیت به حساب می‌آید (دوراتی و همکاران ۲۰۲۰). در زمینه مطالعات انجام شده در مورد جمود نعشی می‌توان به مطالعه شعبان‌پور و همکاران (۱۳۹۰) بر روی کیفت گوشت ماهی کپور نقره‌ای هنگام نگهداری در یخ اشاره کرد.

از آن جا که فیله‌سازی صنعتی ماهی قبل یا بعد از دوره جمود نعشی انجام می‌شود، از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر جمود نعشی بر ارزش غذایی، تغییرات اسید چرب، ویژگی‌های شیمیایی، میکروبی و حسی فیله قره برون پرورشی بعد از مرحله جمود نعشی در مقایسه با فیله قبل از جمود نعشی طی نگهداری در شرایط انجماد بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری ماهی: تعداد ۲۰ عدد ماهی قره برون پرورشی دو ساله نر و ماده به وزن ۱/۸۰ کیلوگرم و طول ۶۰ سانتی‌متر از مرکز تکثیر و پروش ماهی خاویاری شهید بهشتی تهیه شد. ماهی‌ها با استفاده از تور مخروطی صید شدند، و کشتار آن‌ها توسط خروج از آب انجام شد. سپس توسط یونیلیت حاوی یخ به نسبت دو برابر وزن ماهی به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

بیومتری: قبل از فیله کردن ماهیان نمونه‌برداری شده بیومتری شدند. برای اندازه‌گیری وزن از ترازو با دقت ۱ گرم استفاده شد. برای اندازه‌گیری طول کولیس یا خط‌کش با دقت ۱ میلی‌متر به کار گرفته شد (بیس واس ۱۹۹۳).

جمود نعشی: ماهی‌ها بلافاصله بعد از مرگ با آب آشامیدنی شستشو شده و جهت گذراندن دوره جمود نعشی در مخازن حمل ماهی (Chilled Sea Water[1]) به نسبت دو برابر وزن ماهی با پودر یخ تهیه شده از آب شرب پوشانده شدند، به‌طوری‌که لایه‌های ماهی توسط یخ از هم جدا شدند و به ضخامت ۵ سانتی‌متر روی ماهی یخ قرار گرفت. دریچه خروج آب مخزن CSW طی مدت نگهداری جهت خروج آب حاصل از ذوب یخ باز گذاشته شد. جمود نعشی به روش افتادگی دم از لبه میز اندازه‌گیری گردید و این مرحله با نرم شدن عضلات ماهی پایان گرفت (بایتو و همکاران ۱۹۸۳).

نمونه‌سازی: برای تهیه نمونه‌های آزمایشی ماهیان بعد از گذراندن جمود نعشی شستشو شدند. سپس سر و دم زنی ماهی‌ها، تخلیه امعاء و احشاء، پوست‌گیری و شستشوی مجدد انجام شد. ماهی‌ها به قطعات ۳ – ۱ سانتی‌متری و به وزن ۲۵۰ –۲۰۰ گرمی فیله شدند. فیله‌ها در پلاستیک های پلی آمید به روش تحت خلاء بسته‌بندی

[1] CSW

و در تونل انجماد با روش سریع (دمای ٤٠ – درجه سلسیوس) طی مدت ۸ ساعت منجمد شدند. از فیله قره برون پرورشی قبل از گذراندن جمود نعشی به عنوان شاهد استفاده شد. تیمار شاهد همانند تیمار آزمایشی بسته‌بندی و منجمد شد. تیمارهای آزمایشی و شاهد به مدت ٦ ماه در سردخانه ۱۸ – درجه سلسیوس قرار گرفتند (داوسون و همکاران ۲۰۱۸). با استفاده از آزمایش‌های شیمیایی، میکروبی، حسی و فیزیکی کیفیت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

آزمایشات میکروبی: برای ویژگی‌های میکروبی تعداد کلی باکتری‌ها به روش کشت پورپلیت روی محیط پلیت کانت آگار، باکتری‌های استافیلوکوکوس و سودوموناس به روش کشت سطحی به‌ترتیب روی محیط‌های مانیتول سالت آگار و ستریمید آگار، کلی فرم به روش کشت پورپلیت دولایه روی محیط کشت وایولت رد بایل آگار و کلستریدیوم به روش کشت روی محیط گوشت پخته و پوشانده شده با پارافین مذاب استفاده شد (فلدساین و همکاران ۲۰۰۲).

آزمایشات شیمیایی: برای ویژگی‌های شیمیایی پراکسید به روش تیتراسیون یدومتریک، تیوباربیتوریک اسید به روش رنگ سنجی، اسید چرب آزاد به روش تیتراسیون، مجموع بازهای نیتروژنی فرار به روش تقطیر، نمایه پلی‌ان و نسبت پلی اسیدهای چرب غیر اشباع به اسیدهای چرب اشباع مورد بررسی قرار گرفت (سازمان خوار و بار کشاورزی ۱۹۸٦). نمایه پلی‌ان از فرمول زیر محاسبه شد (خانی پور و همکاران ۲۰۱٦):

فرمول شماره [۱]: $\frac{\text{دوکوزاهگزانوئیک اسید + ایکوزاهگزانوئیک اسید}}{\text{اسید پالمیتیک}}$

آزمایشات فیزیکی: برای ویژگی فیزیکی، pH به روش الکترومتریک مورد بررسی قرار گرفت (نویسندگان بین-المللی سوئدی ۱۹۸٦).

آزمایشات حسی: ویژگی‌های حسی شامل بو، بافت، رنگ، طعم و مزه و پذیرش کلی به روش هدونیک ٥ نقطه‌ای توسط سی ارزیاب زن و مرد در رده سنی ٤٠ – ۳۰ سال انجام شد. در این روش ٥ ، ٤، ۳، ۲ و ۱ به ترتیب نشانگر کیفیت عالی، خیلی خوب، خوب، متوسط و ضعیف است (گیلبرت ۲۰۱۳).

ارزش غذایی: پروتئین، چربی، رطوبت و خاکستر به ترتیب توسط روش‌های ماکروکجلدال، هیدرولیز اسیدی، آون خشک و گراویمتریک تعیین شدند (انجمن متخصصین شیمی ۲۰۰٥).

پروفایل اسیدهای چرب: همچنین پروفایل اسیدهای چرب توسط گاز کروماتوگرافی با ستون موئینه ٦۰ میلی‌متری و دتکتور یونی شعله‌ای اندازه‌گیری شد (استاندارد ملی ایران شماره ۲ – ۱۳۱۲٦ ۲۰۱٥).

نمونه‌برداری برای انجام آزمایشات: نمونه‌برداری برای نمونه‌های آزمایشی و شاهد در زمان‌های یک روز بعد از عمل‌آوری و سپس هر ماه یک بار برای انجام آزمایشات میکروبی، شیمیایی، فیزیکی و حسی انجام شد. نمونه-برداری به روش تصادفی انجام شد. در هر مرحله نمونه-برداری از تیمارهای آزمایشی و شاهد ۳ نمونه مورد بررسی قرار گرفت و در کل با توجه به ۷ مرحله نمونه-برداری برای هر تیمار ۲۱ نمونه آزمایش شد.

آنالیز آماری: نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات میکروبی و شیمیایی نمونه‌های آزمایشی و شاهد با استفاده از نرم افزار SPSS- 25 و آزمون T test استفاده شد. نتایج در سطح معنی‌دار ۹٥ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی نتایج آنالیز حسی روش آماری نان پارامتریک

کروسکال والیس و در صورت نیاز آزمون من ویتنی به کار گرفته شد. در مطالعه حاضر برای بررسی مقایسه میانگین‌ها از Paired-Samples T Test استفاده گردید. نتایج به شکل میانگین به همراه انحراف معیار بیان شدند.

نتایج

جدول ۱ نشان می‌دهد که در ماهی کامل قره برون پرورشی جمود نعشی ۳ ساعت بعد از صید شروع شده و به مدت ٤ ساعت ادامه یافت.

جدول ۱ – نتایج فرآیند جمود نعشی روی ماهی کامل قره برون پرورشی طی نگهداری در یخ

Table 2 - Results of corpse freezing process on farmed *A. persicus* during ice storage

Index	End of rigor mortis	Start of rigor mortis	Temperature (ºC)	Capture time	Length (cm)	Mean of weight (kg)
farmed *Acipenser persicus*	15 (Afternoon)	11 (Monitoring)	20 - 24	8 (Monitoring)	60	1.8

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۲ مقادیر پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت در تیمارهای شاهد و آزمایشی تفاوت معنی‌دار نشان ندادند($p>۰/۰۵$).

جدول ۲ – نتایج ارزش غذایی در تیمارهای قره برون پرورشی قبل (شاهد) و بعد از مرحله جمود نعشی (آزمایشی) (درصد)

Table 1 - Results of nutritional value in *A. persicus* treatments before (control) and after the stage of rigor mortis (Experimental) (percentage)

Experiment Treatment	Ash	Moisture	Fat	Protein
Control	1.47±1.43[a]	76.15±1.93[a]	4.02±1.38[a]	18.36±1.34[a]
Experimental	2.89±1.32[a]	75.34 ±1.59[a]	3.78±1.37 [a]	17.99±1.25[a]

The same letters in the same column and row show no significant difference (P> 0.05)

بر اساس جدول ۳ در تیمارهای آزمایشی و شاهد به ترتیب اسید پالمتیک (٣٤/١٦ – ٣٣/٦٧ درصد)، اسید لینولئیک (٢٩/٣٧ – ٢١ /٢٨ درصد) و اسید اولئیک (٢٦/٥١ – ٢٥/٤٢ درصد) بیشترین مقادیر بودند. نمایه پلی‌ان در تیمار شاهد ۰/۲۰ بود که به ۰/۱۸ در تیمار آزمایشی کاهش یافت. بیشتر اسیدهای چرب در تیمار آزمایشی را اسیدهای چرب غیر اشباع ٦٠/٢٩ درصد تشکیل می‌دهند و اسیدهای چرب اشباع شده ٣٣/٦٧ درصد در مقام دوم قرار می‌گیرند. و در تیمار شاهد اسیدهای چرب غیر اشباع ٦٣/٤٢ درصد و اسیدهای چرب اشباع ٤٠/١١ درصد اسیدهای چرب را تشکیل دادند. نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع در قیله شاهد ۱/۵۸ است که در مقایسه با فیله منجمد (۰/۸٤) بیشتر بود.

جدول ۳ - نتایج اندازه‌گیری پروفایل اسیدهای چرب (درصد) در فیله قره برون پروشی منجمد قبل و بعد از گذراندن فرآیند جمود نعشی (درصد)

Table 3 - Results of measuring the profile of fatty acids (percentage) in frozen *A. persicus* fillets before and after the rigor mortis process (percentage)

Treatment / Fatty acids	Frozen fillets before the rigor mortis process (Control)	Frozen fillets after the rigor mortis process (Experimental)
Lauric acid	1.82±0.89^{a}	1.76±0.93^{a}
Myristic acid	1.39±0.17^{a}	1.32±0.87^{a}
Palmitic acid	34.16±2.35^{a}	33.67±1.59^{a}
Stearic acid	2.74±1.49^{a}	2.39±0.99^{a}
Oleic acid	26.51±2.62^{a}	25.42±3.68^{a}
Linoleic acid	29.37±2.54^{a}	28.21±2.45^{a}
Arachidonic acid	0.42±0.19^{a}	0.29±0.18^{a}
Eicosapentaenoic acid	0.34±0.21^{a}	0.25±0.12^{a}
Docosahexaenoic acid	6.78±2.73^{a}	6.12±2.51^{a}
Other fatty acids	1.86±2.31^{a}	1.59±1.56^{a}

The same letters in the same column and row show no significant difference (P> 0.05)

به‌طوری‌که در جدول ٤ مشاهده می‌شود ویژگی‌های میکروبی در تیمارهای شاهد و آزمایشی طی زمان نگهداری تغییرات معنی‌دار نداشتند (p>۰/۰۵). تیمارهای شاهد در مقایسه با آزمایشی از کیفیت میکروبی بهتری برخوردار بودند (p>۰/۰۵). کلی فرم و کلستریدیوم در تیمارهای شاهد و آزمایشی یافت نشدند. تیمارهای شاهد و آزمایشی به مدت ٦ ماه در انجماد ویژگی‌های میکروبی مناسبی داشتند.

جدول ۴– نتایج بررسی ویژگی‌های میکروبی فیله قره برون پرورشی بعد از گذراندن جمود نعشی در مقایسه با شاهد طی نگهداری به مدت شش ماه در شرایط انجماد

Table 4 - Results of microbial characteristics of farmed *A. persicus* fillet after rigor mortis compared to control during storage for six months in freezing conditions

Treatment	Control samples (before of rigor mortis)			Experimental samples (After rigor mortis)		
Experiment Storage time	Staphylococi bacteria (logCFU/g)	Total bacterial counts (logCFU/g)	*Pseudomonas* bacteria (logCFU/g)	Staphylococi bacteria (logCFU/g)	Total bacterial counts (logCFU/g)	*Pseudomonas* bacteria (logCFU/g)
First day	2.57±0.54^{aA}	3.16±0.27^{cA}	1.24±0.13^{fA}	2.57±0.52^{Aa}	3.27±0.32^{dA}	1.24±0.25^{eA}
1 month	1.48±0.81^{Ab}	3.24±0.73^{cA}	1.36±0.21^{efA}	1.96±0.75^{Ab}	3.35±0.85^{dA}	1.67±0.18^{deA}
2 month	1.38±0.75^{Ab}	3.42±0.91^{bcA}	1.78±0.39^{deA}	1.57±0.48^{Abc}	3.59±0.47cd^{A}	1.99±0.59^{dA}
3 month	1.11±0.72^{Ab}	3.65±0.42^{bA}	2.11±0.42^{cdA}	1.18±0.95^{Ac}	3.79±0.58^{bcA}	2.38±0.631^{cA}
4 month	-	3.74±0.51^{abA}	2.35±0.57^{bcA}	-	4.11±0.32^{abA}	2.71±0.81^{bcA}
5 month	-	3.95±0.72^{aA}	2.64±0.76^{abA}	-	4.23±0.49^{aA}	3.12±0.47^{abA}
6 month	-	4.17±0.83^{Aa}	2.98±0.14^{aA}	-	4.35±0.91^{aA}	3.54±0.79^{aA}

The same letters in the same column and row show no significant difference (P> 0.05).

به‌طوری‌که در جدول ٥ مشاهده می‌شود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در تیمارهای شاهد و آزمایشی طی زمان نگهداری تغییرات معنی‌دار نداشتند (p>۰/۰۵). تیمارهای شاهد در مقایسه با آزمایشی از کیفیت شیمیایی بهتری برخوردار بودند(p>۰/۰۵). تیمارهای شاهد و آزمایشی به مدت ٦ ماه در انجماد ویژگی های شیمیایی مناسبی داشتند.

جدول ۵- نتایج **بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمایی فیله قره برون پرورشی بعد از گذراندن جمود نعشی در مقایسه با شاهد طی نگهداری به مدت شش ماه در شرایط انجماد**

Table 5 - Results of physicochemical characteristics of farmed *A. persicus* fillet after rigor mortis compared to control during storage for six months in freezing conditions

Treatment	Control samples (before of rigor mortis)					Experimental samples (After rigor mortis)				
Experiment Storage time	**pH**	TVB-N (mg/100g)	Free fatty (٪) acids	TBARS (mg/100g)	Peroxide value (meq/kgoil)	**pH**	TVB-N (mg/100g)	Free fatty (٪) acids	TBARS (mg/100g)	Peroxide value (meq/kgoil)
First day	^{Aa} 6.82±1.34	10.26±1.36^{Ae}	0.08±0.14 ^{bA}	0.06±0.11^{Ab}	0.08±0.2^{1Ab}	^{aA} 6.82±1.27	10.24±1.57^{Ad}	0.08±0.1^{3Ab}	0.06±0.11 ^{Ab}	0.08±0.15^{Ab}
1 month	6.83±1.25^{Aa}	11.16±1.85^{Ad}	0.19±0.21^{Ab}	0.14±0.21^{Ab}	0.29±0.36^{Ab}	6.85±1.17^{Aa}	11.28±1.75^{Ac}	0.25±0.24^{Ab}	0.21±0.14^{Ab}	0.58±0.19^{Aab}
2 month	6.91±1.19^{Aa}	14.38±1.42^{Ac}	0.37±0.26^{Ab}	0.28±0.33 ^{Ab}	0.71±0.59^{Aa}	6.93±1.34^{Aa}	15.46±1.89^{Ab}	0.48±0.17^{Aab}	0.36±0.18^{Aab}	0.93±0.68^{Aa}
3 month	6.91±1.28^{Aa}	14.78±1.25^{Ac}	0.58±0.28^{Aab}	0.37±0.41 ^{Aab}	0.68±0.52^{Aa}	6.93±1.59^{Aa}	15.88±1.25^{Ab}	0.66±0.29^{Aa}	0.49±0.23^{Aa}	0.87±0.52^{Aa}
4 month	6.92±1.87^{Aa}	15.38±1.82^{Ab}	0.68±0.94^{Aa}	0.49±0.42^{Aa}	0.62±0.43^{Aa}	6.95±1.71^{Aa}	16.46±1.27^{Aa}	0.87±0.11^{Aa}	0.58±0.31^{Aa}	0.82±0.38^{Aa}
5 month	6.94±1.97^{Aa}	15.78±1.98^{Aab}	0.83±0.49^{Aa}	0.57±0.12^{Aa}	0.54±0.45^{Aa}	6.98±1.76^{Aa}	16.68±1.16^{Aa}	0.98±0.21^{Aa}	0.62±0.27^{Aa}	0.69±0.41^{Aa}
6 month	6.96±1.92^{Aa}	15.94±2.92^{Aa}	0.84±0.92^{Aa}	0.71±0.62^{Aa}	0.38±0.32^{Aab}	6.99±1.84^{Aa}	16.83±1.148^{Aa}	0.99±0.27^{Aa}	0.78±0.25^{Aa}	0.53±0.34^{Aa}

The same letters in the same column and row show no significant difference (P> 0.05)

جدول ٦ – نتایج **بررسی ویژگی‌های حسی فیله قره برون پرورشی بعد از گذراندن جمود نعشی در مقایسه با شاهد طی نگهداری به مدت شش ماه در شرایط انجماد**

Table 6 - Results of sensory characteristics of farmed *A. persicus* fillet after rigor mortis compared to control during storage for six months in freezing conditions

Treatment	Control samples (Before of rigor mortis)					Experimental samples (After rigor mortis)				
Experiment Storage time	Overall acceptance	Taste	Color	Odor	Texture	Overall acceptance	Taste	Color	Odor	Texture
First day	5±1.29^{Aa}	5±1.28^{Aa}	5±1.73^{Aa}	5±1.34^{Aa}	5 ±1.64^{Ba}	5±1.95^{Aa}	5±1.56^{Aa}	5±1.95^{Aa}	5±1.59^{Aa}	5±1.43^{Aa}
1 month	4.81± 1.15^{Aa}	5±1.47^{Aa}	4.16±1.49^{Ab}	5±1.27^{Aa}	4.85±1.42^{Aa}	5±1.84^{Aa}	5±1.48^{Aa}	5±1.68^{Aa}	5±1.37^{Aa}	5±1.58^{Aa}
2 month	4.62±1.46^{Aab}	5±1.22^{Aa}	4.07±1.27^{Ab}	5±1.16^{Aa}	4.73±1.35^{Aa}	5±1.27^{Aa}	5±1.53^{Aa}	5±1.31^{Aa}	5±1.49^{Aa}	5±1.97^{Aa}
3 month	4.51±1.25^{Abc}	5±1.56^{Aa}	4±1.67^{Ab}	5±1.65^{Aa}	4.65±1.27^{Aa}	5±1.91^{Aa}	5±1.39^{Aa}	5±1.49^{Aa}	5±1.23^{Aa}	5±1.44^{Aa}
4 month	4.14± 1.19^{Ac}	5±1.68^{Aa}	4±1.59^{Ab}	5±1.71^{Aa}	4.52±1.21^{Ab}	5±1.88^{Aa}	5±1.73^{Aa}	5±1.32^{Aa}	5±1.49^{Aa}	5±1.52^{Aa}
5 month	3.62±0.79^{Ad}	4.71±1.69^{Aa}	3.59±1.82^{Ac}	4.95±1.51^{Aa}	3.84±1.52^{Ac}	4.92± 1.57^{Aa}	4.72±1.82^{Aa}	4.86±1.79^{Aa}	4.94±1.25^{Aa}	4.85^{a} ±1.84
6 month	3.49±0.83^{Bd}	4.67±1.28^{Aa}	3.17±1.79^{Bc}	4.80±1.95^{Aa}	3.49±1.57^{Bc}	4.88±1.54^{Ba}	4.68±1.13^{Aa}	4.69±1.59^{Ba}	4.81±1.38^{Aa}	4.73±.91^{Aa}

The same letters in the same column and row show no significant difference (P> 0.05)

بحث و نتیجه‌گیری

جمود نعشی

جمود نعشی پدیده‌ای است که طی آن ماهی بعد از مرگ سفت می‌شود. زمان مرگ تا شروع جمود نعشی برای ماهی‌های مختلف متفاوت بوده و از ٥٤ – ١٢ ساعت متغیر است. اما هنگامی که عامل استرس‌زا وجود داشته باشد که خارج‌سازی ماهی از آب یکی از این عوامل است، شروع این فرآیند می‌تواند ۲ ساعت بعد از مرگ باشد (لی و همکاران ۲۰۲۰)، و به‌طوری‌که در جدول ۱ مشاهده می-شود جمود نعشی در قره برون پرورشی ۳ ساعت بعد از صید شروع شد. با در نظر گرفتن این که جمود نعشی در ماهی‌های کوچک زودتر شروع می‌شود و از آن جا که ماهی‌های مورد مطالعه از اندازه متوسطی برخوردار بوده و در دمای نزدیک به صفر درجه سلسیوس نگهداری شده بودند این مرحله بعد از گذشت زمان نه چندان طولانی شروع شد و بعد از گذشت ٤ ساعت و نرم شدن بافت خاتمه یافت. شعبانپور و همکاران در سال ۱۳۹۱ نشان دادند که جمود نعشی در کپور ماهیان بعد از کشتار به روش خروج از آب ۳ ساعت بعد از مرگ کامل شد. نتایج این محققین با نتایج مطالعه حاضر مطابقت ندارد که می-تواند به دلیل اندازه، گونه، دمای نگهداری، وضعیت بیولوژیکی و زمان تغذیه قبل از صید باشد (کاماچو و همکاران، ۲۰۲۰ و لی و همکاران ۲۰۲۰).

ارزش غذایی

به‌طوری‌که در جدول ۲ مشاهده شد قره برون پرورشی حاوی مقدار زیادی رطوبت بوده (٧٦/١٥ – ٧٥/٣٤ درصد) و غنی از پروتئین، چربی, اسیدهای چرب و خاکستر است. همان‌طوری‌که نتایج نشان می‌دهد رطوبت و خاکستر از عواملی هستند که تحت تاثیر جمود نعشی قرار نمی‌گیرند. با در نظر گرفتن این که تیمار آزمایشی بعد از گذراندن جمود نعشی تهیه شده است و در طی این مرحله تحت تاثیر افزایش فعل و انفعالات باکتریایی و آنزیم‌های آن‌ها کاهش جزئی در مقادیر پروتئین و چربی رخ می‌دهد، اما زمان جمود نعشی تقریبا کوتاه مدت و دمای پائین نگهداری هنگام جمود نعشی سبب شد که ارزش غذایی در تیمارهای آزمایشی و شاهد تفاوت معنی‌دار نداشته باشد. زارع گشتی و همکاران در سال ۲۰۰٦ مقادیر پروتئین، چربی، خاکستر و رطوبت را در فیله فیل ماهی پرورشی بعد از جمود نعشی ۱۷/۲۹، ۳/۱، ۱/۰۹ و ۷۹/٤ درصد تعیین کردند که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

همان‌طوری‌که در جدول ۳ نشان داده است پروفایل اسیدهای چرب فیله در طی انجماد دستخوش تغییر شد. همچنین تغییرات در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد بیشتر بود. از آن جا که نسبت پلی اسیدهای چرب غیر اشباع به اسیدهای چرب اشباع و نمایه پلی‌ان از عوامل حائز اهمیت برای تعیین اکسیداسیون لیپید، فساد فرآورده و تعیین زمان ماندگاری آن به شمار می‌روند، و در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد کاهش نشان دادند، بیانگر این است که اسیدهای چرب امگا ۳ در هنگام انجماد چندان پایدار نبوده و با گذشت زمان تغییراتی را نشان داده و کاهش ارزش غذایی و مزایای سلامتی فیله منجمد (قبل یا بعد از جمود نعشی) رخ می‌دهد. افزایش تغییرات پروفایل اسیدهای چرب در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد را می‌توان به فرآیند جمود نعشی ارتباط داد که تحت تاثیر افزایش فعل و انفعالات باکتریایی و آنزیم‌های لیپولیتیک اکسیداسیون شدت می‌یابد. نیکولای و همکاران در سال ۲۰۱۷ اظهار کردند که اسیدهای چرب غیر اشباع ٤٣/٩٩ درصد و اشباع شده ١٩/٥٦ درصد اسیدهای چرب ماهی منجمد را تشکیل می‌دهند، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت ندارد. همچنین نشان دادند که در ماهی منجمد محتوای اسیدهای چرب ضروری به ویژه اسیدهای چرب اشباع نشده چندگانه طی نگهداری در شرایط انجماد حتی برای مدت زمان کوتاهی (٥ روز) تغییر می‌کند، و مقادیر

اسید اولئیک از ۲۸/۳٦ به ۳٤/۱۳ و اسید پالمتیک از ۱۰/۲۹ به ۱۰/۵۱ درصد افزایش و اسید لینولئیک از ۲۹/۱۵ به ۲٤/۸٤ درصد کاهش یافت که با نتایج مطالعه حاضر هم-خوانی دارد. تنیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ در بررسی مقادیر اسیدهای چرب ماهی کپور قرمز منجمد طی نه ماه نگهداری تبیین کردند که نسبت پلی اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع از ۰/۵۸ به ۰/۲۵ درصد و پلی‌ان از ۰/۳ به ۰/۰۹ کاهش یافت، و حداکثر سه ماه ذخیره‌سازی را برای ماهی تعیین کردند. در مطالعه حاضر مقدار پلی‌ان در تیمار شاهد ۰/۲۰ و در تیمار آزمایشی ۰/۱۸ و نسبت پلی اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع در فیله شاهد ۱/۵۸ و در فیله آزمایشی ۰/۸٤ بود.

آنالیز میکروبی

بر اساس جدول ٤ در تیمارهای آزمایشی و شاهد علیرغم سیر کاهشی باکتری‌های استافیلوکوکس هنگام نگهداری باکتری‌های سرمادوست و تعداد کلی باکتری‌ها سیر افزایشی داشتند، اما در محدوده استاندارد بودند. همچنین شاهد در مقایسه با تیمار آزمایشی از ویژگی‌های میکروبی بهتری برخوردار بود. ماهی در روی پوست، امعاء و احشاء و سایر قسمت‌ها، حاوی میکروارگانیسم-های متعددی است که بعد از مرگ ماهی به سرعت به بافت نفوذ کرده و چنانچه سردسازی به سرعت انجام نشود می‌توانند منجر به فساد شوند اما از آن جا که شستشوی بعد از فیله‌سازی تا حد نسبتا زیادی منجر به کاهش تعداد میکروارگانیسم‌ها می‌گردد و همچنین دمای انجماد به مرور زمان از رشد باکتری‌های مزوفیل جلوگیری کرده و رشد باکتری‌های سرمادوست نیز کاهش می‌یابد، از این رو افزایش زمان ماندگاری فیله اتفاق می‌افتد. تفاوت در عوامل میکروبی تیمارهای آزمایشی و شاهد به دلیل جمود نعشی است، که طی این مرحله تحت تاثیر دمای نگهداری و فرآیند اتولیتیک تعداد باکتری‌ها افزایش می‌یابد (داوسون و همکاران ۲۰۱۸). پاپلکا و همکاران در سال ۲۰۱٦ در بررسی کیفیت ماهی قزل آلای رنگین کمان هنگام انجماد در تعداد کلی باکتری-ها افزایش مشاهده کردند. همچنین حضور باکتری‌های سودموناس را تائید کردند. تیسیرونی و همکاران در سال ۲۰۲۰ در بررسی تعداد کلی باکتری‌های فیله‌های بسته-بندی شده به روش تحت خلاء قبل از جمود نعشی طی ۱٤ ماه نگهداری (دمای ۱۵ – درجه سلسیوس) در ماهی سیم از ٤/٤ به ۵/۸ و در سی‌باس دریایی از ۵/۸ به ٦/۳ لگاریتم واحد تشکیل دهنده کلنی به ازای هر گرم افزایش مشاهده کردند، که نتایج این محققین با نتایج مطالعه حاضر هم-خوانی دارد.

آنالیز شیمیایی

همان‌طورکه جدول ۵ نشان می‌دهد مقادیر پراکسید و تیوباربیتوریک اسید طی زمان نگهداری افزایش داشتند، اما تغییرات آن در حد استاندارد بوده و منجر به کاهش کیفیت فیله نشد. همچنین اکسیداسیون در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد بیشتر بود که به دلیل افزایش رشد باکتری‌ها و فعل وانفعالات آن‌ها طی جمود نعشی است. از آن جا که فرآیندهای اتولیتیک که خود مستعد کننده شرایط برای فعالیت‌های باکتریایی است طی جمود نعشی افزایش می‌یابند و دمای یخ قادر به توقف فعل و انفعالات باکتریایی نیست لذا آنزیم‌های لیپولیتیک باکتریایی و داخلی منجر به انجام واکنش‌های اکسیداسیون و افزایش پراکسید می‌شوند. اما رنگ روشن عضلات قره برون (دانگ و همکاران ۲۰۱۷) و طبقه‌بندی آن در گروه ماهیان کم چرب از عواملی هستند که بر کاهش اکسیداسیون چربی و جلوگیری از افت کیفیت ماهی طی جمود نعشی تاثیر گذار می‌باشند. علاوه بر جمود نعشی، هنگام انجماد تغییرات اکسیداسیون چربی با توجه به شرایط نگهداری و بسته‌بندی تفاوت دارد، زیرا پراکسید به واسطه واکنش

اسیدهای چرب آزاد با اکسیژن نیز ایجاد می‌شود اما در مطالعه حاضر به واسطه بسته‌بندی تحت خلاء افزایش چندانی در تغییرات پراکسید بروز نمی‌کند (دانگ و همکاران ۲۰۱۷). از آن جا که اسیدهای چرب آزاد به طور طبیعی در ماهی وجود دارند و نسبت به اکسیداسیون بسیار حساس هستند می‌توان افزایش این عامل را طی زمان نگهداری انتظار داشت. بعلاوه نقش محصولات هیدرولیز چربی بر دناتوراسیون پروتئین را نمی‌توان نادیده گرفت (دانگ و همکاران ۲۰۱۷). تنیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ در بررسی اسیدهای چرب آزاد و پراکسید در ماهی کپور قرمز منجمد طی نه ماه نگهداری (قبل از جمود نعشی) توضیح دادند که این عوامل از ۱/۳۵ به ۸/۰۶ درصد اسید اولئیک و ۳/۷۷ به ۱۸/۶۲ میلی اکی والان گرم اکسیژن بر کیلوگرم روغن افزایش یافتند، که سیر افزایشی آن با مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مورد تاثیر جمود نعشی بر اسید چرب آزاد و تیوباربیتوریک اسید فیله منجمد گزارش منتشر شده‌ای یافت نشد.

در مطالعه حاضر TVB-N در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد بیشتر بود (جدول۵). تفاوت در این عامل بین تیمارهای آزمایشی و شاهد به دلیل مرحله جمود نعشی در تیمار آزمایشی است. بعد از اتمام جمود نعشی، بافت عضلانی سفتی خود را از دست می‌دهد و به دنبال آن، اتولیز اسیدهای آمینه و ترکیبات با وزن مولکولی کم تشکیل می‌شود. سپس، میکروارگانیسم‌ها رشد کرده و به ترکیبات با وزن مولکولی بالا حمله می‌کنند. همچنین آنزیم‌های پروتئولیتیک حاصل از میکروارگانیسم‌ها ترکیبات پروتئینی را تجزیه می‌کنند و منجر به افزایش این عامل در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد می‌شوند (مندس و همکاران ۲۰۱۷). از آن جا که قعل و انفعالات باکتریایی طی انجماد کاهش می‌یابد از این رو TVB-N در تیمارهای آزمایشی و شاهد طی زمان نگهداری در انجماد افزایش چندانی نشان نداد و تغییرات اندک مشاهده شده را می‌توان به دلیل واکنش آنزیم‌هایی دانست که در فعالیت آبی پائین باقی مانده و به آرامی فعالیت می‌کنند (لی و همکاران ۲۰۱۷). تیسیرونی و همکاران در سال ۲۰۲۰ TVB-N را در فیله ماهی‌های سیم و سی‌باس دریایی (*Dicentrarchus labrax*) بسته‌بندی شده به روش تحت خلاء (قبل از جمود نعشی) ۲۰ و ۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوشت طی ۱۴ ماه نگهداری در دمای ۱۵ – درجه سلسیوس تعیین کردند، که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی ندارد. عدم مطابقت به دلیل تفاوت در گونه ماهی، زمان نگهداری و بار میکروبی ماده اولیه است. زارع گشتی و همکاران در سال ۲۰۰۶ TVB-N را در فیله فیل ماهی پرورشی منجمد که بعد از جمود نعشی فیله شده بود، ۱۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوشت بعد از ۶ ماه تعیین کردند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

با توجه به جدول ۵ pH در فیله‌های شاهد و آزمایشی طی زمان نگهداری سیر افزایشی نشان داد. دلیل آن را می‌توان تولید بازهای فرار در اثر تجزیه محصولات اولیه اکسیداسیون چربی دانست که در طی این فرآیند ترکیباتی مثل آلدئیدها و غیره تولید می‌شود، این ترکیبات دارای خواص بازی بوده و سبب افزایش pH نمونه‌ها می‌گردند. علاوه بر این pH تابع رشد و فعالیت باکتریایی نیز است، که تجمع مواد اساسی حاصل از متابولیسم باکتریایی مانند آمونیاک و تری متیل آمین در افزایش آن نقش دارد. آزاد شدن یون‌های نیتروژن در اثر تجزیه پروتئین که از واکنش‌های باکتریایی تاثیر می‌پذیرد عامل دیگری است که سبب افزایش pH می‌شود (مندس و همکاران ۲۰۱۷). از این رو در تیمار آزمایشی به دلیل گذراندن مرحله جمود نعشی و افزایش تعداد باکتری‌ها در مقایسه با شاهد افزایش این عامل بیشتر است. از آن جا که مقدار pH برای تغذیه انسان بایستی از ۷ کمتر باشد، تیمارهای آزمایشی و شاهد طی ۶ ماه نگهداری در شرایط انجماد

در محدوده قابل قبول بودند. کرمی و همکاران در سال ۲۰۱۳ تشریح کردند که pH در فیله‌های تیلاپیای قرمز (*Oreochromis niloticus* و *Tilapia mosambicus*) (قبل از جمود نعشی) طی ۵ ماه نگهداری در شرایط انجماد در محدوده ٦/٨٨ – ٦/٢٦ بود که سیر افزایشی آن با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. در مورد تاثیر جمود نعشی بر pH فیله منجمد گزارش منتشر شده‌ای یافت نشد.

آنالیز حسی

ویژگی‌های حسی فیله از دو جنبه اثرات انجماد و جمود نعشی قابل بررسی است. بر اساس جدول ٦ رنگ، بافت و ظاهر کلی در تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد بهتر ارزیابی شد. اما بو و طعم و مزه در تیمارهای آزمایشی و شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. با این که انجماد در طی زمان طولانی تغییراتی روی ویژگی‌های حسی ماهی ایجاد می‌کند (تولستوربروف و همکاران ٢٠١٦)، اما این ویژگی-ها در تیمارهای آزمایشی و شاهد از کیفیت مناسبی برخوردار بودند (جدول ٦). در فیله‌های آزمایشی رنگ همگن به نظر می‌رسید و بعد از انجماد و ذوب سطح صاف‌تری داشتند. البته تاثیر سیکل انجماد و ذوب روی رنگ تیمارهای آزمایشی و شاهد یکسان است ومنجر به افزایش رنگ روشن این تیمارها می‌شود. تغییر رنگ فیله منجمد از طریق فساد سطحی غذا، فعالیت‌های بیولوژیکی و شیمیایی، افزایش فعالیت‌های آنزیماتیک و اکسیداسیون لیپید ایجاد می‌شود (تولستوربروف و همکاران ٢٠١٦)، که در مطالعه حاضر به دلیل حذف اکسیژن، کنترل بهداشت طی هندلینگ و عدم وجود نوسانات دما طی انجماد این فعالیت‌ها کاهش یافته و تغییر رنگ فیله مشاهده نشد. در بافت تیمار آزمایشی در مقایسه با شاهد بعد از ذوب منافذ کمتری تشکیل شده و استحکام بیشتر بود، که به اثرات جمود نعشی روی بافت فیله ارتباط دارد. همچنین تحقیقات انجام شده روی ماهی‌های قزل آلای رنگین کمان و کاد نیز ثابت کرد که جمود نعشی می‌تواند بر کیفیت بافت و تشکیل منفذ تأثیر بگذارد (لی و همکاران ٢٠١٧). کیفیت بافت ماهی به عوامل بیولوژیکی ذاتی مانند محتوای چربی و کلاژن بستگی دارد که بعد از مرگ ماهی دستخوش تغییر شده و همچنین به فرایندهای اتولیتیک و میکروبیولوژیکی وابسته بوده، که هنگام جمود نعشی شدت یافته و مسئول تخریب پروتئین میوفیبریلار و نرم شدن نهایی عضلات است. مکانیسم تغییرات بافت در ماهی منجمد کاملا شناخته شده نیست. اما عقیده بر این است که ظرفیت انتقال آب توسط میوفیبریل‌ها با تشکیل فرمالدئید و دی متیل آمین مرتبط بوده و از طریق ایجاد تغییراتی از جمله ایجاد فاصله بین میوفیبریل‌ها یا فشرده-سازی آن‌ها به واسطه تشکیل کریستال‌های یخ یا برخی از انتقالات که فیبرهای ماهیچه را در جذب آب ناتوان می-سازد، انجام می‌شود (داوسون و همکاران ٢٠١٨). جمود نعشی بر ویژگی‌های بو و طعم و مزه ماهی تاثیر نداشت. اما اسیدهای چرب آزاد و تیوباربیتوریک اسید از عواملی هستند که می‌توانند بر بو و طعم و مزه فرآورده اثرگذار باشند، ولی در مطالعه حاضر تغییرات این عوامل قابل توجه نبود (ناکازاوا و اوکازاکی ٢٠٢٠). تئوفانیا و همکاران در سال ٢٠٢٠ در بررسی فیله ماهی‌های سیم و سی‌باس دریایی بسته‌بندی شده به روش تحت خلاء طی ١٤ ماه نگهداری در ١٥ – درجه سلسیوس در ویژگی‌های حسی مخصوصا پذیرش کلی کاهش گزارش کردند. در مطالعه حاضر نیز کاهش ویژگی‌های حسی در تیمار شاهد مشاهده شد. زارع گشتی و همکاران در سال ٢٠٠٦ بیان کردند که ویژگی‌های حسی در فیله فیل ماهی پرورشی منجمد بعد از جمود نعشی طی ٦ ماه نگهداری از کیفیت مطلوبی برخوردار بود، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

تیمارسازی قبل از جمود نعشی و نگهداری در انجماد منجر به تولید فیله‌هایی با انقباض طول فیله و ترشح بیشتر هنگام ذوب درمقایسه با فیله‌های بعد از جمود نعشی می‌شود. فیله کردن پس از جمود نعشی منجر به ۳ برابر بیشتر در بازدهی می‌شود، که صرف نظر از زمان مورد نیاز برای طی این فرآیند از نظر اقتصادی قابل توجه است. با در نظر گرفتن این که در فیله‌های بعد از جمود نعشی در مقایسه با فیله‌هایی که جمود نعشی را طی نکرده‌اند، ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی پائین‌تر بوده اما ویژگی‌های حسی بالاتر است، و از آن جا که ویژگی‌های حسی مانند رنگ، بافت و ظاهر بر تصمیم مصرف کننده تاثیر دارند، لذا این ویژگی‌ها در مقایسه با سایر عوامل در اولویت هستند. با این حال عمل‌آوری بعد از جمود نعشی در صنعت چندان آسان نیست و بایستی زمان کافی برای گذر از این مرحله در نظر گرفته شود که مشکلاتی مانند نیاز به پیش‌سردکن بزرگ و محدود کردن ظرفیت کارخانه فرآوری را به همراه دارد. اما با توجه به مزایای جمود نعشی بر روی کیفیت فیله گذر ار جمود نعشی برای فیله‌سازی ماهی توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

ارباب م، علیزاده دوغیکالیی ا و شهریاری مقدم م، ۱۳۹۸. تاثیر عصاره های آبی و اتانولی دانه شنبلیله بر کیفیت فیله کپور معمولی تلقیح شده با استافیلوکوکوس اورئوس، نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، ۲۹ (٤)، ٤٣ – ۲۹.

استاندارد ملی ایران شماره ۲ – ۱۳۱۲٦، ۲۰۱۵. روغن ها و چربی های گیاهی – کروماتوگرافی گازی متیل استرهای اسید چرب. قسمت ۲: تهیه متیل استرهای اسید چرب. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

حاج حسینی م، حسینی شکرایی پ و حسینی ۱، ۱۳۹۸. اثرات افزودن زائدات گوشت فیلماهی پرورشی بر برخی ویژگیهای فیزیکیشیمیایی، حسی و ماندگاری سوپ آماده مصرف، نشریه پژوهشهای صنایع غذایی، ۲۹ (۲)، ۱۳٦ –۱۲۱.

سازمان شیلات ایران، ۲۰۱۹. سالنامه آماری شیلات ایران (۱۳۹۷ – ۱۳۹۲). تهران.

Association of Official Analytical Chemists International, 2005. Official Methods of Analysis Manual,18thed. Washington DC, USA.

Banerjee R and Maheswarappa NB, 2017. Super chilling of muscle foods: Potential alternative for chilling and freezing. Crit. Rev. Food Science Nutrition 59: 1 – 8.

Biswas SP, 1993. Manual methods in fish biology. South Asian Publishers. New Delhi. Pp: 45 - 120.

Bito M, Yamada K, Mikumo Y and Amano K, 1983. Studies on rigor mortis of fish: differences in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified Cutting's methods. Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory 109: 89–96.

Borderías AJ and Sánchez-Alonso I, 2011. First Processing Steps and the Quality of Wild and Farmed Fish. Journal Food Science 76: R1–R5.

Calanche J, Tomas A, Martinez S, Jover M, Alonso V, Roncalés P and Beltrán JA, 2019. Relation of quality and sensory perception with changes in free amino acids of thawed seabream (*Sparus aurata*). Food Research International 119: 126–134.

Camacho NM, Ríos EM, Cruz FJCYSR, Flores AAA, Arreola WT, López JLC, Hurtado SV and Higuera VMO, 2020. Changes on the Development of Rigor Mortis in Cultured Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed with a Mixture of Plant Proteins. Journal Chemistry 2020:1-9

Chávez-Mendoza C, García-Macías JA, Alarcón-Rojo AD, Ortega-Gutiérrez JA, Holguín-Licón C and Corral-Flores G, 2014. Comparison of fatty acid content of fresh and frozen fillets of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Walbaum. Brazilian Archive Biology Technology 57: 103-109.

Dang HTT, Gudjónsdóttir M, Karlsdóttir MG, Nguyen MV, Romotowska PE, Tómasson T and Arason S, 2017. Influence of temperature stress on lipid stability of Atlantic herring (*Clupea harengus*) muscle during frozen storage. Journal American Oil Chemistry Society 94: 1 -11.

Dawson P, Al-Jeddawi, W and Remington N, 2018. Effect of freezing on the shelf life of Salmon. International Journal Food Science 2018: 1–12.

Duarte AM, Silva F, Pinto FR, Barroso S and Gil MM, 2020. Quality Assessment of Chilled and Frozen Fish—Mini Review. Foods 9: 1739 – 1765.

Fauske KR, Bernhard A, Fjære E, Myrme LS, Frøyland L, Liaset KKB and Madsen L, 2018. Effects of frozen storage on phospholipid content in Atlantic Cod fillets and the influence on diet-induced obesity in mice. Nutrition 10: 695 – 706.

Feldsine F, Abeyta C and Andrews WH, 2002. International methods committee guidelines for validation of qualitative and quantitative food microbiological official methods of analysis. AOAC International Journal 85: 1188-1200.

Food and Agriculture Organization, 1986. Manuals of food quality control food analysis: Quality, adulteration, and tests of identity (Food and Nutrition Paper 14/8). Rome.

Gilbert SW, 2013. Applying the hedonic method (Technical Note 1811). Washington DC.

Hematyar N, Masiko J, Mraz J and Sampels S. 2018. Nutritional quality, oxidation, and sensory parameters in fillets of common carp influenced by frozen storage (−20 ◦C). Journal Food Processing Preservation 10: 1 - 24.

Hung SOS, 2017. Recent advances in sturgeon nutrition. Animal Nutrition 3: 191 – 204.

Karami B, Moradi Y, Motallebi AA, Hosseini E and Soltani M, 2013. Effects of frozen storage on fatty acids profile, chemical quality indices and sensory properties of red tilapia fillets. Iranian Journal Fisheries Science 12: 378-388.

Khanipour A, Moradian Sorkhi F and Fahim Dejban Y, 2016. The study of stability and changes poly unsaturated fatty acid (PUFA), coefficient of the (Polyen Index) in burger production of Kilka (*Clupeonella cultriventris*) and Silver carp during storage at - 18 ° C. Instituto Superior de Formación Integral 25: 43-50.

Le TT, Nguyen HT and Pham MA, 2020. Rigor mortis development and effects of filleting conditions on the quality of Tra catfish fillets. Journal Food Science Technology 57: 1320–1330.

Li Q, Zhang L, Lu H, Song S and Luo Y, 2017. Comparison of postmortem changes in ATP-related compounds, protein degradation and endogenous enzyme activity of white muscle and dark muscle from common carp (*Cyprinus carpio*) stored at 4 ◦C. LWT Food Science Technology 78: 317–324.

Mendes JM, Dairiki JK, Inoue LAKA and Jesus RS, 2017. Advantages of recovery from pre-slaughter stress in tambaqui Colossoma macropomum (Cuvier 1816) agroindustry in the Amazon. Food Science Technology Campinas 37: 383-388.

Nakazawa N and Okazaki E, 2020. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood. Fish Science 86:231–244.

Nicolae CG, Bahaciu GV, Ţeca M, Bădulescu L, Pogurschi E and Marin M, 2017.The effect of frozen storage on lipids and fatty acids content in Atlantic Salmon. University Agricultural Science Veterinary Medicine Iasi 4: 98 – 103.

Popelka P, Jevinova P and Marcinˇcák S, 2016. Microbiological and chemical quality of fresh and frozen whole trout and trout fillets. Potravin. Slovak Journal Food Science 10: 431–436.

Shabanpour, B., Rahmanifarah, K., and Shabani, A. 2012. Evaluation of post mortem flesh quality attributes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) slaughtered by exsanguination and hypothermia methods. Food Science Technology 9:21-31.

Tenyang N, Tiencheu B, Djikeng FT, Morfor AT and Womeni HM, 2019. Alteration of the lipid of red carp (*Cyprinus carpio*) during frozen storage. Food Science Nutrition 7:1371–1378.

Tsironi TN, Stoforos NG and Taoukis PS, 2020. Quality and Shelf-Life Modeling of Frozen Fish at Constant and Variable Temperature Conditions. Foods 9: 1893 – 1910.

Tolstorebrov I, Eikevik TM and Bantle M, 2016. Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish. International Journal Refrigeration 63: 37–47.

Zareh G, Porgholam R, Shenavar A, Jafari A and Saifzadeh M, 2006. Quality assessment of various meat processing modes for meat from 2-year-old farmed Huso huso. Journal Applied Ichthyology 22: 422-426.

Journal of Food Research, 2022,32(3):141-156
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

DOI: 10.22034/FR.2022.49366.1815

Evaluation of the effect of rigor mortis on quality, nutritional value, and fatty acid profile changes of frozen farmed *Acipenser persicus* fillet

M seifzadeh[1*] and Gh Zareh Gashti[2]

Received: December 11, 2021 Accepted: January 17, 2022
[1]Assistant Professor, National Fish Processing Research Center, Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran.
[2]Retired MSc, National Fish Processing Research Center, Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran.
[*]Corresponding author: E mail: m_seifzadeh_ld@yahoo.com

Introduction: Sturgeon is the common name for the 27 species of fish belonging to the family Acipenseridae. The earliest sturgeon fossils date to the Late Cretaceous and are descended from other, earlier Acipenser form fish which date back to the Early Jurassic epoch. The Persian sturgeon is a species of fish in the family Acipenseridae. It is found in the Caspian Sea and to a lesser extent the Black Sea and ascends certain rivers to spawn, mainly the Volga, Kura, Aras, and Ural Rivers (Zareh et al., 2006). Rigor mortis is a phenomenon where the fish, after death, becomes stiff. The rigor will get completed when almost all muscle fibers are contracted which lasts a while before it is resolved. The muscle then becomes more and more tender in the stage called meat tenderization (Camacho., 2020). This locking of the muscles, called rigor mortis, can be slowed down by chilling the fish immediately after death. Rigor mortis starts immediately or shortly after death if the fish is starved and the glycogen reserves are depleted, or if the fish is stressed. The mechanism behind this is muscle contraction due to a shortage of ATP (adenosine triphosphate). However, ATP, carrier that provides energy to relax the muscle again, is no longer present, so the muscles remain rigid (Shabanpour, 2012). Over time this rigidity disappears, but by then the fish has significantly deteriorated. Post-mortem factors such as glycolysis, pH, and rigor mortis have been shown to have profound effects on fish fillet texture. Rigor mortis is dependent on the fish species, temperature and handling before slaughter, slaughtering stress, the biological status of the fish, and the temperature of pre-rigor storage (Le et al., 2020). The method used for stunning and killing the fish also influences the onset of rigor. Even when fishes are killed under the same conditions, there can be a high variation in the time of onset of rigor mortis (Zareh et al., 2006). Therefore, the present study aimed to investigate the effect of rigor mortis on the nutritional,

fatty acid changes, chemical, microbial and sensory characteristics of farmed *A. persicus* fillets during storage in freezing conditions.

Material and methods: The fish were caught using a cone net, and killed by pulling them out of the water. They were then transported to the laboratory by ice-containing units containing twice the weight of the fish. The fish were washed with drinking water immediately after death. To spend the period of freezing the corpse in the fish transport tanks (Chilled Sea Water), twice the weight of the fish was covered with ice powder prepared from drinking water. The fish layers were separated by ice and placed on the ice fish 5 cm thick. The water outlet valve of the CSW tank was left open during the storage period to drain the water from the ice thaw. The rigidity of the *A. persicus* was measured by dropping the tail from the edge of the table, and this stage ended with the softening of the fish muscles. The fish were washed after the rigor mortis had frozen. The fish were then beheaded, eviscerated, peeled, and washed again. The fish were filleted into 1-3 cm pieces weighing 250-200 g. The fillets were packed in polyamide plastics under vacuum and frozen in a fast freezing tunnel (temperature -40 ° C) for 8 hours. The farmed *A. persicus* fillet was used as a control before passing the coffin freezing and vacuum-packed. Experimental and control treatments were stored at -18 ° C for 6 months. Their quality was evaluated using chemical, microbial, sensory, and physical tests. The total bacterial counts, *Staphylococcus, Pseudomonas*, Coliform, *Escherichia coli*, and *Clostridium* were used for microbial characteristics. For chemical properties of peroxide, thiobarbituric acid, free fatty acid, total volatile nitrogen bases, polyan index, and the ratio of unsaturated fatty acids to saturated fatty acids were investigated. The quality of experimental and control fillets was assessed through physical experiments including pH and sensory such as tissue odor, color, taste and overall acceptance. Nutritional value and fatty acid profiles were determined.

Results and discussion: The fish weight and length were 1.80 kg and 60 cm. In research and control treatments: pH, microbial, chemical, and sensory factors showed significant changes during storage ($p<0.05$). *Pseudomonas*, coliform, and *Escherichia coli* were not observed during the storage period. Nutritional value was not significantly different ($p> 0.05$). Palmitic acid was the highest (33.67 – 34.16%). The polyene index decreased in the experimental treatment (0.18) compared to the control (0.20). The ratio of unsaturated to saturated fatty acids in control and research treatments was 1.58 and 0.84, respectively. The shelf life of treatments was six months in freezing conditions. Color, texture, and overall acceptance in the experimental treatment were evaluated better than the control ($p<0.05$).

Conclusion: Increasing the shelf life of seafood is important not only for the processing industry but also for the companies that supply them. Freezing is currently one of the best fish preservation techniques that leads to maintaining the safety and quality of fish. However, pre-frozen treatment of the corpse and its storage in freezing conditions leads to the production of fillets with more contraction of the fillet length and more secretion during thawing. Compared to pre-corpse filleting, post-corpse filleting results in a threefold increase in efficiency, which is economically significant regardless of the time required for the process. Considering that microbial and chemical properties are lower in post-mortem fillets, but the sensory properties in these fillets are higher compared to fillets that have not undergone corpse. Because sensory characteristics such as color, texture, and appearance influence consumer decisions, Therefore, these properties are preferred over chemical and microbial agents. However, post-mortem processing in the industry is not easy and enough time must be taken to pass this stage, which leads to problems such as the need for a large pre-cooler as well as limiting the capacity of the processing plant. However, due to the benefits of corpse freezing on the quality of fillets, passing the corpse freeze is recommended for fish filleting.

Keywords: Farmed *A. persicus* fillet, Freezing, Vacuum packaging, Rigor mortis