مقاله کامل علمی- پژوهشی

بهره‌برداری و پرورش آبزیان
جلد دهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۱-۱۲
http://japu.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/japu.2021.19056.1585

تأثیر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر برخی شاخص‌های کیفی ماهی شوریده (*Otolithes ruber*)

احمد لهزهی[1] و سراج بیتا*[2]

[1]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار،
[2]استادیار گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر کیفیت ماهیان شوریده (*Otoithes ruber*) مورد مطالعه قرار گرفت. ماهیان شوریده پس از صید در دمای ۳۶- درجه سانتی‌گراد منجمد شده و به مدت چهار ماه در سردخانه با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از گذشت چهار ماه، شاخص‌های شیمیایی (pH، تری متیل آمین، تیوباربیوتیک اسید و بازهای نیتروژنی فرار)، فیزیکی (آبچلینگ، آبچلینگ پس از پخت) و میکروبی (باکتری‌های سرمادوست و مزوفیل) طی انجمادزدایی با روش‌های آب، هوا، یخچال و مایکروویو بررسی شدند. در ضمن ماهیان تازه صید شده که منجمد نشده بودند به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شدند. طبق نتایج، میزان بازهای نیتروژنی فرار و تیوباربیوتیک اسید در تمام روش‌های انجمادزدایی با گروه شاهد اختلاف معناداری نشان داد ($P<۰/۰۵$) و بیش‌ترین میزان آن مربوط به انجمادزدایی با روش مایکروویو بود. کم‌ترین میزان تری متیل آمین در انجمادزدایی با روش یخچال مشاهده شد و بین تیمارهای مختلف با یکدیگر و هم‌چنین گروه شاهد اختلاف معناداری وجود داشت ($P<۰/۰۵$). میزان pH در روش‌های مختلف انجمادزدایی نسبت به تیمار شاهد به‌طور معناداری افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). بیش‌ترین مقدار آبچلینگ و آبچلینگ پس از پخت در انجمادزدایی با مایکروویو مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشته است ($P<۰/۰۵$). تعداد باکتری‌های مزوفیل طی روش‌های مختلف انجمادزدایی به‌جز انجمادزدایی در هوا نسبت به تیمار شاهد به‌طور معناداری کاهش یافت ($P<۰/۰۵$) و کم‌ترین میزان بار باکتریایی مزوفیل در تیمار مایکروویو مشاهده شد. بار باکتریایی سرمادوست نیز طی انجمادزدایی دریخچال، نسبت به سایر روش‌ها با افزایش معنادار همراه بوده است ($P<۰/۰۵$). در مجموع نتایج نشان داد که روش مناسب رفع انجماد ماهیان شوریده طی انجمادزدایی در آب و یخچال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کیفی، انجمادزدایی، تازگی، *Otoithes ruber*

* مسئول مکاتبه: serajbita@yahoo.com

مقدمه

در دهه‌های اخیر مصرف جهانی ماهی و سایر آبزیان به دلیل رشد جمعیت، افزایش تقاضای بازار، توان اقتصادی مردم و آگاهی مردم نسبت به مفید بودن غذاهای دریایی برای سلامتی، به‌خصوص پیشگیری از ناراحتی‌های قلبی و عروقی افزایش یافته است. بنابراین افزایش تقاضا در مصرف محصولات شیلاتی ایجاب می‌کند که میزان تولید آبزیان را با روش‌های مختلف افزایش دهیم. عرضه زیاد این محصولات به بازار جهانی نیازمند روش‌های مختلف نگهداری طولانی‌مدت در مناطق مختلف می‌باشد (بیتا و محمدی، ۲۰۱۲). بنابراین، افزایش مدت زمان ماندگاری و در عین حال حفظ استانداردهای کیفی محصول در امتداد زنجیره تولید – از مرحله صید تا فرآوری و توزیع و فروش آن‌ها ضروری است. تکنیک‌های نگهداری، به طور عمده شامل سردسازی و انجماد تا حدودی می‌توانند میزان افت کیفیت در محصولات شیلاتی را کاهش داده و در حفظ تازگی محصول موثر باشند (باکی، ۲۰۱۸). مواد غذایی منجمد شده قبل از مصرف یا هر گونه انجام عملیات فرآوری، انجمادزدایی می‌شوند که در نتیجه آن محصول به حالت قبل از انجماد بر می‌گردد و همانند محصول تازه دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خواهد شد که این تغییرات طی انجمادزدایی محصولات غذایی ممکن است سبب آسیب به مواد غذایی شده و برای کنترل چنین تغییراتی بایستی حداقل درجه حرارت محیطی برای تضمین فرآیند انجمادزدایی در نظر گرفته شود (علیزاده و همکاران، ۲۰۰۷). این موضوع یک مسأله مهم برای فرآیندهای مختلف انجمادزدایی به حساب می‌آید، چرا که استفاده از دمای پایین‌تر، سبب کاهش اختلاف دما بین نمونه منجمد و محیط می‌گردد (ژو و همکاران، ۲۰۰٤؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۰۷). انجمادزدایی فرآورده‌ها با روش مناسب جهت حفظ کیفیت آن‌ها از موارد بسیار مهم بوده و ضروری است که با دقت کافی انجام شود. روش‌های مدرن انجمادزدایی شامل انجمادزدایی تحت فشار بالا، مایکروویو اهمی و صوتی و روش‌های الکتریکی می‌باشند (ژاوو و همکاران، ۲۰۰۰؛ آرچر و همکاران، ۲۰۰۸)، البته در کارخانجات صنعت فرآوری ایران، معمولاً ماهی را در هوا و یا آب انجمادزدایی می‌کنند. اما از آنجایی که در انجمادزدایی باید از گرم کردن بیش از حد، آبچک زیاد و رشد باکتریایی محصول جلوگیری گردد، بنابراین استفاده از روش‌هایی مانند استفاده از آب بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. ماهی شوریده در تقسیم‌بندی شیلاتی جزء ماهیان درجه یک محسوب می‌شود که به دلیل داشتن گوشت لذیذ با بافتی محکم و سفید از گذشته مورد توجه مردم بوده است (ضیائیان نوربخش، ۲۰۱۲).

مطالعاتی در زمینه تأثیر فرآیند انجمادزدایی بر خصوصیات شیمیایی و میکروبی محصولات شیلاتی منجمد صورت پذیرفته است (نیلسون و اکستراند، ۱۹۹۵؛ علیزاده و همکاران، ۲۰۰۷؛ بونسومرج و همکاران، ۲۰۰۷؛ ایرسوی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به عرضه ماهی شوریده در نقاط مختلف کشور روش انجماد به عنوان روش کارآمد جهت حفظ کیفیت این ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین به کارگیری روش صحیح انجمادزدایی چه به صورت خانگی و چه به صورت صنعتی می‌تواند محصولی با کیفیت بالا و ارزش تغذیه‌ای مناسب را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار دهد. با توجه به این مهم، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر شاخص‌های کیفی ماهی شوریده (*Otolithes ruber*) انجام شد.

مواد و روش‌ها

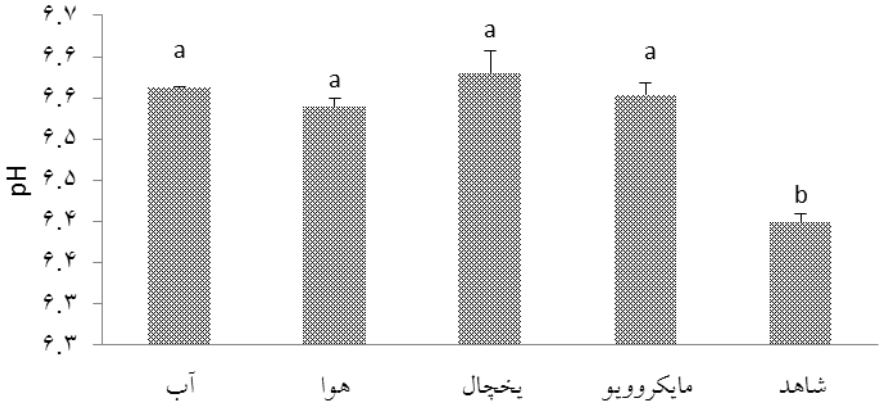
تهیه نمونه‌ها: ماهیان شوریده از اسکله صیادی بریس، شهرستان چابهار در آبان ماه ۱۳۹۶ تهیه شدند. انتخاب ماهیان به صورت تصادفی و از بین ماهیان صید شده تازه و سالم صورت پذیرفت. میانگین طول کل و وزن ماهیان به‌ترتیب ۲/۹۶±۳۲/۱۲ سانتی‌متر و ۳۹/۷۳±۴۸۰/۲۵ گرم بود. ماهیان تحت شرایط یخ‌گذاری شده در جعبه‌های یونولیت بلافاصله به کارخانه فرآوری ماهی پسابندر واقع در شهرستان چابهار منتقل شده و پس از بسته‌بندی با کیسه‌های پلی‌اتیلنی در تونل انجماد با دمای ۳۶- درجه سانتی‌گراد منجمد گردیدند. پس از انجماد به‌مدت ٤ ماه در سردخانه در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از گذشت ٤ ماه از دوره نگهداری در سردخانه، تغییرات شاخص‌های کیفی ماهی شوریده (pH، تری متیل آمین، تیوباربیوتیک اسید و بازهای نیتروژنی فرار، آبچلینگ، آبچلینگ پس از پخت، باکتری‌های سرمادوست و مزوفیل) طی انجمادزدایی در آب (۱۵+ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت)، هوا (۱۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳/۵ ساعت)، یخچال (٤+ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ ساعت) و مایکروویو (۲٤۵۰ مگاهرتز و ۵۰۰ وات به‌مدت ۵ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفتند. در ضمن تعدادی از نمونه‌های ماهیان تازه صید شده که منجمد نشده بودند به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شدند.

سنجش شاخص‌های کیفی: شاخص‌های شیمیایی شامل PH نمونه‌ها با نمونه‌ها با pH متر دیجیتالی از طریق مخلوط نمودن ۵ گرم عضله ماهی در ۵۰ سی‌سی آب مقطر طبق روش (AOAC, 2005)، TBA به روش پیرسون (۱۹٦۸) با افزودن ۹۷/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریک ٤ نرمال به ۱۰ گرم عضله هموژن شده و ۵ میلی‌لیتر معرف تیوباربیوتیک اسید اندازه‌گیری شد که در ادامه میزان جذب مایع صورتی در طول موج ۵۳۸ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومر اندازه‌گیری شده و عدد جذب خوانده شده در ثابت ۷/۸ ضرب شد و میزان تیوباربیوتیک اسید به‌صورت میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم نمونه بیان شد. TVN به روش کلدال و تیتراسیون عصاره بافتی ماهی انجام شد (AOAC, 2002) و برای سنجش TMA یک میلی‌لیتر عصاره بافت ماهی با آب مقطر به حجم ٤ میلی‌لیتر رسانده شد، به عصاره فوق یک میلی‌لیتر فرم آلدئید ۲۰ درصد، ۱۰ میلی‌لیتر تولوئن و ۳ میلی‌لیتر کربنات پتاسیم اضافه گردید و در داخل بن‌ماری در حمام آب گرم ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ دقیقه قرار داده شد و پس از جداسازی فاز بالایی، ۰/۱ گرم سولفات سدیم و ۵ میلی‌لیتر محلول اسید پیریک به آن اضافه گردید و با دستگاه اسپکتروفتومر تغییر رنگ ایجاد شده در طول موج ٤۱۰ نانومتر قرائت شد (AOAC, 1995) و شاخص‌های فیزیکی شامل آبچلینگ پس از انجمادزدایی و آبچلینگ پس از پخت به‌ترتیب با استفاده از روش ارائه شده توسط علیزاده و همکاران (۲۰۰۷) و کمپانن و همکاران (۲۰۰۲) مورد سنجش قرار گرفتند. کشت و شمارش بار باکتریایی مزوفیل و سرمادوست بر اساس دستورالعمل سازمان استاندارد ایران شماره ۲۳۲۵ و در محیط کشت نوترینت آگار انجام شد. بعد از ساخت محیط کشت، ۰/۱ سی‌سی از نمونه‌های هموژن‌شده به روش سطحی کشت داده شدند. شمارش پلیت‌های کشت داده‌شده پس از ٤۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد (باکتری‌های مزوفیل) و پس از ۱۰ روز انکوباسیون در دمای ۷ درجه‌سانتی‌گراد (باکتری‌های سرمادوست) انجام شد و نتایج بدست آمده بار میکروبی بر حسب log CFU در هرگرم عضله ماهی گزارش شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای تجزیه و تحلیل‌ها داده‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده از آزمون توکی در سطح ۵ درصد در نرم‌افزار آماری SPSS 21 استفاده شد.

نتایج

بر اساس نتایج و تحلیل آماری داده‌ها میزان pH در تیمار شاهد نسبت به روش‌های مختلف انجمادزدایی به‌طور معناداری کمتر بود ($P<۰/۰۵$) و بین روش‌های مختلف انجمادزدایی با یکدیگر تفاوت معناداری از نظر میزان pH مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). کم‌ترین میزان pH در تیمار شاهد و بیش‌ترین میزان آن در انجمادزدایی با یخچال مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین ±انحراف معیار pH در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف انجمادزدایی شده ماهیان شوریده.

حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد

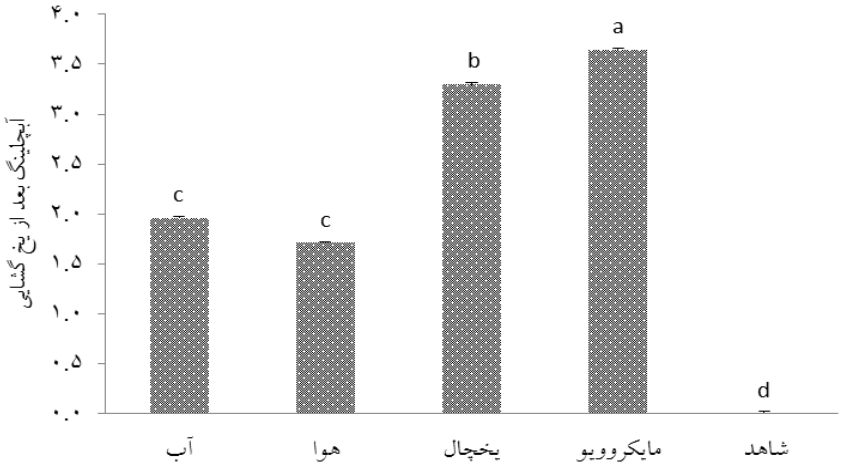
مطابق جدول ۱، بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های شیمیایی کیفیت مربوط به ماهیان انجمادزدایی شده با مایکروویو بود که با تیمار شاهد و نیز سایر روش‌های انجمادزدایی تفاوت معناداری از نظر آماری داشته است ($P<۰/۰۵$). میزان TVB-N و TBA در ماهیان انجمادزدایی شده در آب نسبت به سایر روش‌های انجمادزدایی کم‌تر بود، اما از نظر آماری تفاوت معناداری با ماهیان انجمادزدایی شده با هوا و یخچال نشان نداد ($P>۰/۰۵$). تری متیل آمین در ماهیان انجمادزدایی شده در یخچال نسبت به تیمار شاهد و سایر روش‌های انجمادزدایی به‌طور معناداری کم‌تر بود ($P<۰/۰۵$).

جدول ۱- میانگین ± انحراف معیار شاخص‌های شیمیایی کیفیت در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف انجمادزدایی شده ماهیان شوریده.

شاخص/تیمار	شاهد	آب	هوا	یخچال	مایکروویو
TVB-N	۱۷/۲۲± ۱/۳۰^{c}	۱۸/۷۰± ۰/۷۸^{b}	۱۸/۹۰± ۱/۱۷^{b}	۱۸/۷۷± ۰/۷^{b}	۱۹/۳۶± ۱/۰۶^{a}
TBA	۱/۰۲± ۰/۰۱^{c}	۱/۱۵± ۰/۰۱^{b}	۱/۳۵± ۰/۰۴^{b}	۱/۲۲± ۰/۰۳^{b}	۲/۰۴± ۰/۰۲۵^{a}
TMA	۰/۷۶± ۰/۱۰^{b}	۰/۲۰± ۰/۰۳^{c}	۰/۲۳± ۰/۰۶^{c}	۰/۰۹± ۰/۰۱۲^{d}	۱/۱۱± ۰/۰۶^{a}

حروف غیرمشترک هر سطر بیانگر تفاوت معناداری در سطح ۰/۰۵ است. TVB-N و TMA (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم عضله)، TBA (میلی‌گرم مالون دی آلدئید بر کیلوگرم)

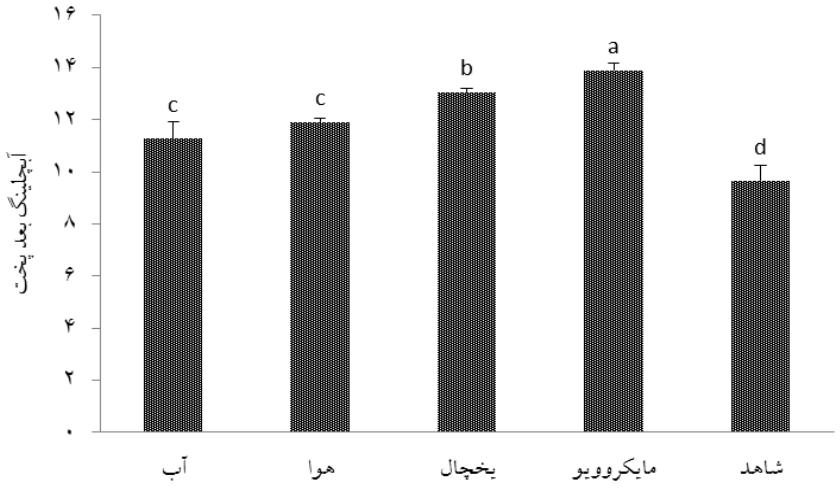
در شکل‌های ۲ و ۳ مقادیر اندازه‌گیری شده آبچلینگ بعد از یخ‌گشایی و آبچلینگ پس از پخت در ماهیان شوریده نشان داده شده است. بعد از عمل انجمادزدایی مقدار آبچلینگ بعد از یخ گشایی و پس از پخت طی انجمادزدایی با روش‌های مختلف نسبت به تیمار شاهد به‌طور معناداری افزایش یافته است ($P<۰/۰۵$). بیش‌ترین میزان آبچلینگ بعد از یخ گشایی مربوط به انجمادزدایی با مایکروویو و کم‌ترین آن مربوط به انجمادزدایی با هوا بود (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین ± انحراف معیار آبچلینگ بعد از یخ‌گشایی در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف انجمادزدایی شده ماهیان شوریده.

حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد

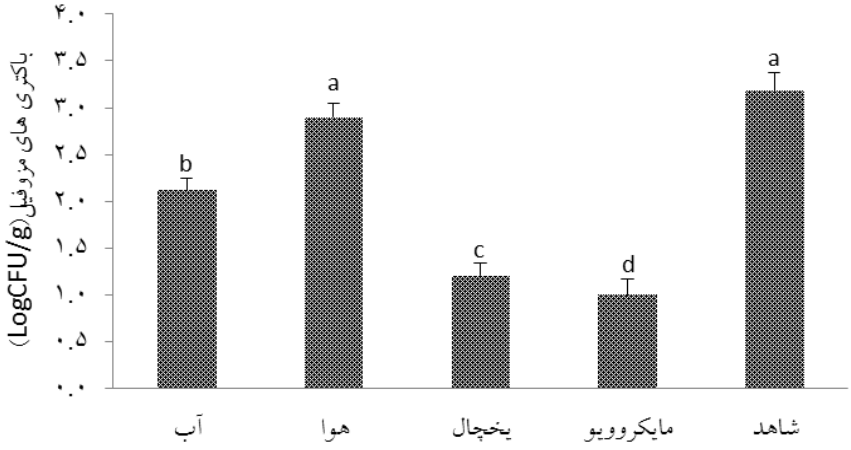
بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آبچلینگ پس از پخت در بین روش‌های مختلف انجمادزدایی به‌ترتیب مربوط به انجمادزدایی با مایکروویو و آب بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- میانگین ±انحراف معیار آبچلینگ بعد از پخت در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف انجمادزدایی شده ماهیان شوریده.

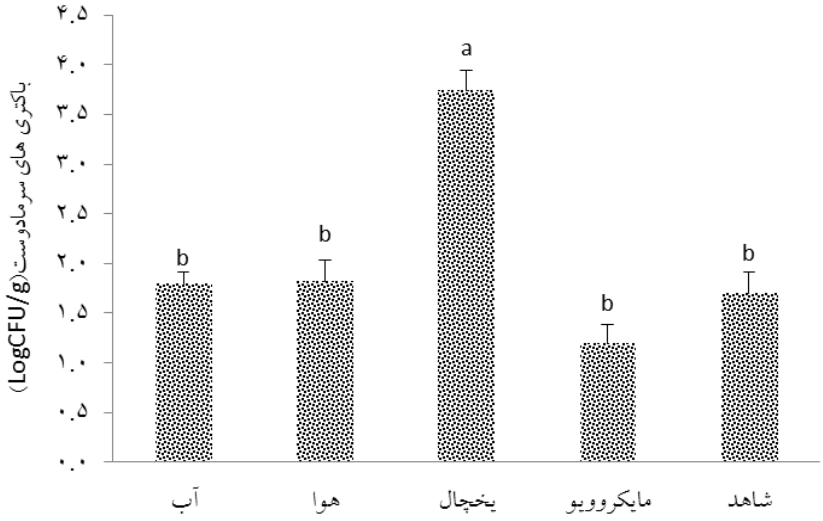
حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد

تعداد باکتری‌های مزوفیل تیمارها بعد از عمل انجمادزدایی نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. مطابق آزمون واریانس یکطرفه، به‌جز روش انجمادزدایی در هوا، بین سایر روش‌های انجمادزدایی با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری از لحاظ شمارش بار باکتری‌های مزوفیل مشاهده شد ($P<0/05$). کم‌ترین میزان شمارش باکتریایی مربوط به انجمادزدایی در مایکروویو بود (شکل ٤).



شکل ٤- میانگین ± انحراف معیار بار باکتریایی مزوفیل در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف انجمادزدایی شده ماهیان شوریده.

بار باکتریایی سرمادوست در تیمار انجمادزدایی شده با یخچال در مقایسه با سایر تیمارها به‌طور معناداری بیش‌تر بود ($P<0/05$)، اما بین سایر روش‌های انجمادزدایی با تیمار شاهد تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد ($P>0/05$). کم‌ترین تعداد بار باکتریایی سرمادوست مربوط به انجمادزدایی در مایکروویو بود (شکل ٥).



شکل ٥- میانگین ± انحراف معیار بار باکتریایی سرمادوست در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف انجمادزدایی شده ماهیان شوریده.

بحث و نتیجه‌گیری

از دست دادن کیفیت ماهیان منجمد می‌تواند به‌علت نوع روش انجماد و همچنین فرایند پس از انجماد در اثر انجمادزدایی باشد، به‌طوری‌که ماهی انجمادزدایی شده همانند ماهی تازه قابلیت فساد را دارد، اما به طور کلی فرایند انجماد به‌دلیل حفظ ترکیبات مغذی موجود در مواد غذایی و جلوگیری از رشد باکتری‌های عامل فساد و در نتیجه جلوگیری از تغییرات کیفی نامطلوب نسبت به سایر روش‌های نگهداری مواد غذایی مناسب‌تر است (جانستون و همکاران، ۱۹۹٤). در مطالعه حاضر بین مقادیر pH در روش‌های مختلف انجمادزدایی با تیمار شاهد تفاوت آماری معناداری مشاهده شد (P<۰/۰۵) و بیش‌ترین میزان pH مربوط به انجمادزدایی در یخچال بود. مطابق با نتایج مطالعه حاضر در مطالعه‌ای توسط محبوب و همکاران (۲۰۱۹) میزان pH در ماهیان کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و گربه ماهی (*Clarias gariepinus*) طی نگهداری در حالت انجماد و یخچال با گذشت زمان افزایش یافت. معمولا میزان pH در اکثر ماهیان بین ٦/۲-٦ است (رحمانی فرح و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش pH در نمونه‌های ماهیان شوریده منجمد پس از عمل انجمادزدایی ممکن است به‌دلیل افزایش تجمع ترکیبات آمونیاک در اثر افزایش فعالیت‌های میکروبی باشد (محبوب و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین افزایش pH می‌تواند در اثر افزایش ترکیبات فرار به دلیل تجزیه ترکیبات نیتروژنی توسط آنزیم‌های درون‌زا باشد (اراکن و اوزدن، ۲۰۰۸). کم‌تر بودن pH در نمونه‌های شاهد و تازه صید شده ماهی شوریده احتمالاً به‌دلیل استرس ناشی از صید بوده است. مطابق با نتایج مطالعه حاضر سایر پژوهشگران نیز یکی از دلایل کاهش میزان pH در نمونه‌های تازه صید شده کفشک ماهی سنگالی (*Solea senegalensis*)، ماهی باس دریایی آسیایی (*Lates calcarifer*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) را استرس ناشی از صید گزارش نمودند (ریباس و همکاران، ۲۰۰۷؛ ویلکینسون و همکاران، ۲۰۰۸؛ داسکالووا و پاولو، ۲۰۱٤). مجموع بازهای ازته یا نیتروژنی فرار یک اصطلاح عمومی است که شامل تری‌متیل‌آمین، دی‌متیل‌آمین، آمونیاک و دیگر ترکیبات بازی نیتروژنی می‌باشد، که اندازه‌گیری آن‌ها نمایان‌گر میزان فساد در ماهی می‌باشد (آراشیسر و همکاران، ۲۰۱٤). شاخص TBA مربوط به اندازه‌گیری میزان مالون آلدئید است که محصول ثانویه اکسیداسیون اسیدهای چرب چند غیر اشباع است (برمنر، ۲۰۰۲). در مطالعه حاضر بیش‌ترین مقدار شاخص‌های شیمیایی کنترل کیفیت (TVN، TBA و TMA) مربوط به انجمادزدایی در مایکروویو بود که با تیمار شاهد و سایر روش‌های انجمادزدایی تفاوت معناداری از نظر آماری داشته است (P<۰/۰۵). حداکثر میزان قابل‌قبول تیوباربیتوریک اسید برای کیفیت مطلوب ماهی (منجمد، یخچال‌گذاری شده یا نگهداری شده در یخ) ۵ میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم نمونه است در حالی‌که تا ۸ میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم نمونه نیز قابل‌مصرف است (سلم، ۲۰۰۷). میزان TVN و TBA هر چند که در روش‌های انجمادزدایی با آب، هوا و یخچال با تیمار شاهد تفاوت معناداری نشان نداده است (P>۰/۰۵)، اما کم‌ترین میزان آن‌ها در روش انجمادزدایی با آب مشاهده شد. مطابق با نتایج مطالعه حاضر افزایش در میزان TVN و TBA طی انجمادزدایی با مایکروویو در مارماهی مهاجر (*Anguilla anguilla*) و فیله میش ماهی (*Argyrosomus regius*) گزارش شد (ایرسوی و همکاران، ۲۰۰۸؛ گنک و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه هدایتی‌فرد (۲۰۱۵) بر روی ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) گزارش شده

است که بخشی از افزایش TVB-N پس از انجمادزدایی با مایکروویو می‌تواند ناشی از کاهش رطوبت باشد. از دیگرسو، ثابت شده که هرچه درجه حرارت به‌کار برده شده برای خشک کردن و انجمادزدایی آبزیان بیش‌تر و زمان حرارت‌دهی طولانی‌تر باشد، مقدار TVB-N تولید شده بیش‌تر خواهد بود (اسماعیل و ووتون، ۱۹۹۲؛ معینی و جلیلی، ۲۰۱۱). در بررسی جوادیان و همکاران (۲۰۱۳) در مورد تأثیر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر شاخص‌های کیفی ماهی سفید دریای خزر، جدگال و همکاران (۲۰۱۸) بر روی ماهیان زرده و ارسوی و همکاران (۲۰۰۸) در مارماهی مهاجر (*Anguilla anguilla*) مشخص شد که میزان TVN و TBA در روش مایکروویو نسبت به سایر روش‌ها بالاتر بود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد انرژی زیادی که در اثرات انجمادزدایی مایکروویو تولید می‌شود، اکسیداسیون لیپیدها را در بافت ماهی تشدید کرده و در نتیجه میزان آلدئیدها و TBA را افزایش می‌دهد. سیلوا و آمرمن (۱۹۹۳) گزارش نمود که میزان TBA ماهی تازه در طی نگهداری در یخچال، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد، که این امر می‌تواند به خاطر واکنش بین مالون آلدئید و اسیدهای آمینه ماهی و تشکیل گروهای کربونیل، یا واکنش با پروتئین میوزین باشد. تری متیل آمین اکسید از اجزای طبیعی موجود در بدن ماهی بوده و در عضله بسیاری از ماهیان دریایی یافت می‌شود که در اثر فعالیت باکتری‌های عامل فساد به TMA تبدیل می‌شود که این ترکیب به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم سنجش تازگی ماهی کاربرد دارد (پوپلکا و همکاران، ۲۰۱٤؛ نویگاتو و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه حاضر ماهیان انجمادزدایی شده با آب و یخچال دارای کم‌ترین میزان TMA و تیمار مایکروویو دارای بالاترین مقدار TMA بود. هر چند که در گزارش‌های پژوهشگران مختلف نتایج متفاوتی در زمینه تأثیر روش‌های مختلف انجمادزدایی بر کیفیت ماهیان به‌دست آمده است از جمله جوادیان و همکاران (۲۰۱۳) و زارع جونقانی و حسینی (۲۰۱۷) روش انجمادزدایی در آب و جدگال و همکاران (۱۳۹۷) انجمادزدایی در هوا را به‌عنوان بهترین روش رفع انجماد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، ماهی فیتوفاگ و ماهی زرده گزارش دادند. بر خلاف نتایج مطالعه حاضر در مطالعه دینسر و همکاران (۲۰۰۹)، بیش‌ترین میزان TMA در ماهیان ساردین، سیم و آنچوی طی انجمادزدایی در یخچال مشاهده شد. افزایش در میزان TMA طی انجمادزدایی در هوا و مایکروویو احتمالاً به‌دلیل فعالیت آنزیم‌های درونی بدن ماهی باشد زیرا در طول نگهداری برخی گونه‌های ماهی منجمد وقتی که رشد باکتریایی کند شود، تری متیل آمین اکسید ممکن است به‌وسیله فعالیت‌های آنزیمی درونی به TMA تجزیه شود (پوپلکا و همکاران، ۲۰۱٤). در طول انجمادزدایی بافت ماهی، ممکن است کریستال‌های یخ ذوب شده و دوباره به آب تبدیل شوند این امر موجب از دست دادن آبچلینگ و چروکیدگی بافت می‌شود (ماکی، ۱۹۹۳). میزان آبچلنیگ پس از یخ‌گشایی و پخت در روش‌های مختلف انجمادزدایی نسبت به تیمار شاهد افزایش معناداری داشته داده است ($P<0/05$) که بیش‌ترین میزان آن مربوط به انجمادزدایی با روش مایکروویو بود. افزایش میزان آبچلینگ ماهیان شوریده پس از انجمادزدایی احتمالاً به‌دلیل آسیب‌های فیزیکی فیبرهای عضلانی در اثر کریستال‌های یخی تشکیل شده در طی انجماد هست. نتایج مشابهی در مطالعه شفیعی‌پور و سامی (۲۰۱۵) بر روی میگوی صورتی منجمد (*Penaeus duorarum*) و جدگال و همکاران (۲۰۱۸) در ماهی زرده گزارش شده است. مطالعات زیادی انجام شده است که نشان‌دهنده

افزایش آبچک و کاهش وزن ماهی بعد از انجمادزدایی می‌باشد (چوالیئر و همکاران، ۲۰۰۰؛ کائو و همکاران، ۲۰۰۳؛ مکری و همکاران، ۲۰۰۷). فعالیت میکروبی در ماهی بعد از انجمادزدایی بستگی به تازگی ماهی، میکروفلورهای طبیعی ماهی و روش‌های مورد استفاده برای انجمادزدایی دارد (هویی و همکاران، ۲۰۰٤). در مطالعه حاضر، بعد از انجمادزدایی با روش‌های مختلف به جز انجمادزدایی با هوا، تعداد باکتری‌های مزوفیل، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معناداری کاهش یافته است ($P<۰/۰۵$) و کم‌ترین میزان بار باکتریی‌های مزوفیل در تیمار مایکروویو مشاهده شد. بار باکتری‌های سرمادوست طی انجمادزدایی در یخچال نسبت به سایر روش‌های انجمادزدایی و نیز گروه شاهد با افزایش معنادار همراه بوده است ($P<۰/۰۵$). نمونه‌های انجمادزدائی شده در مایکروویو نسبت به نمونه‌های انجمادزدائی شده در یخچال از بار میکروبی کم‌تری برخوردار بودند و بیان نمودند حرارت‌دهی با مایکروویو، موجب غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها می‌شود. پایین بودن بار باکتری‌های مزوفیل در تیمار مایکروویو، علاوه بر تأثیر حرارت‌دهی مایکروویو بر باکتری‌های مزوفیلی، می‌تواند به‌دلیل مدت زمان کم‌تر عملیات انجمادزدایی در این روش نیز باشد. از طرفی، جوادیان و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خصوصیات کیفی ماهی دریای سفید خزر گزارش نمودند که کم‌ترین میزان باکتری‌های مزوفیل در روش انجمادزدایی با آب مشاهده شد. نتیجه چنین مطالعه‌ای در پژوهش ایرسوی و همکاران (۲۰۰۸) بر روی کیفیت مارماهی مهاجر (*Anguilla anguilla*) نیز مشاهده شده است. در مقابل در پژوهش گنک و همکاران (۲۰۱۵) بر روی فیله میش ماهی (*Argyrosomus regius*) بالاترین میزان باکتری‌های سرمادوست در انجمادزدایی با هوا گزارش شد. مول و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه اثرات حرارت‌دهی بر ماهی یال اسبی (*Trachurus trachurus*)، گزارش نمودند حرارت‌دهی موجب کاهش رطوبت و موجب کاهش فعالیت آبی شده و در نتیجه نفوذ باکتری‌های سرمادوست را به داخل بافت کاهش می‌دهد، بنابراین دلیل کاهش باکتری‌های سرمادوست در مطالعه حاضر طی انجمادزدایی با مایکروویو نیز همین می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های انجمادزدایی مورد آزمایش در این مطالعه تأثیر معناداری بر شاخص‌های شیمیایی، فیزیکی و میکروبی در مقایسه با گروه شاهد داشتند ($P<۰/۰۵$)، اما با توجه به نتایج حاصل از شاخص‌های شیمیایی، فیزیکی و میکروبی به‌دست آمده در پژوهش حاضر، کیفیت نمونه‌های ماهیان شوریده طی انجمادزدایی با روش یخچال و آب بهتر از روش انجمادزدایی با هوا و مایکروویو بود، بنابراین روش انجمادزدایی در آب و یخچال به عنوان روش‌های مناسب جهت انجمادزدایی ماهیان شوریده پیشنهاد می‌گردند.

منابع

Alizadeh, E., Chapleau, N., De Lamballerie, M., and LeBail, A. 2007. Effects of freezing and thawing processes on the quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Journal of food science*, 72: 5, E279-E284.

AOAC. 1995. Official methods of Analysis. Association of the Offcial Analytical.

AOAC. 2002. Official methods of Analysis of the Association of the Official Analysis. Chemists. Association of Official Analytical Chemists (14th ed), Washington. DC.

AOAC. 2005. Official Method of Analysis (17th ed). Washington, DC: Association of official Analytical Chemists. Chemists Washington. DC, USA.

Archer, M., Edmonds, M., and George, M. 2008. Thawing seafood. *Seafish Research & Development report*, 41.

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

Bita, S., and Mohammadi, T. 2012. Aquatic Freezing Technology. Ahvaz Trava. Press, 197p. (In Persian)

Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T., and Takai, R. 2007. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*, 80: 1. 292-299.

Bremner, H.A. (Ed.). 2002. *Safety and quality issues in fish processing*. Elsevier.

Campañone, L.A., Roche, L.A., Salvadori, V.O., and Mascheroni, R.H. 2002. Monitoring of weight losses in meat products during freezing and frozen storage. *Food Science and Technology International*, 8: 4. 229-238.

Cao, E., Chen, Y., Cui, Z., and Foster, P.R. 2003. Effect of freezing and thawing rates on denaturation of proteins in aqueous solutions. *Biotechnology and bioengineering*, 82: 6. 684-690.

Chevalier, D., Sentissi, M., Havet, M., and Bail, A.L. 2000. Comparison of air-blast and pressure shift freezing on Norway lobster quality. *Journal of Food Science*, 65: 2. 329-333.

Daskalova, A., and Pavlov, A. 2014. Effect of transportation on stress reaction, postmortem muscle metabolism and some meat quality parameters in common carp (*Cyprinus carpio* L.). In: Book of Proceedings, Tradition and modernity in veterinary medicine, International Scientific Conference "20 Years Faculty of Veterinary Medicine at the University of Forestry", Sofia, 28-30 Nov 2014, pp. 326-334.

Dinçer, T., Cadun, A., Çaklı, Ş., and Tolasa, Ş. 2009. Effects of different thawing methods on the freshness quality of fish. *Su Ürünleri Dergisi*, 26: 4. 253-256.

Erkan, N., and Özden, Ö. 2008. Quality assessment of whole and gutted sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice. *International journal of food science & technology*, 43: 9. 1549-1559.

Ersoy, B., Aksan, E., and Özeren, A. 2008. The effect of thawing methods on the quality of eels (*Anguilla anguilla*). *Food chemistry*, 111: 2. 377-380.

Genç, İ.Y., Esteves, E., Anibal, J., and Diler, A. 2015. Effects of different thawing methods on the quality of meagre fillets. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 62: 2. 153-159.

Hedayatifard, M. 2015. Changes in sensory, chemical, microbial load and tissue composition of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fatty acids under thermal drying and vacuum storage at 4 °C. Iranian Journal of Fisheries. 4: 24. 127-144. (In Persian)

Hui, Y.A., Cornillon, P., Legarreta, I.G., Lim, H.M., Murrell, K.D., and Nie, W.K. 2004. Handbook of frozen foods. Marcel Dekker, Inc. pp. 1-78.

Iranian Institute of Standards and Industrial Research. 2001. Microbiology - Rule of application of general methods of microbiology tests. National Standard of Iran. No. 2325. (In Persian)

Ismail, N., and Wootton, M. 1992. Fish salting and drying: a review. *ASEAN Food Journal*, 7: 175-175.

Jadgal, T., Alizadeh Dooghelahi, A., and Bita, S. 2018. Effect of different thawing methods on thephysicochemical, microbial parameters and sensory analysis of frozen *Euthynnus affinis*. Journal of Food Science and Technology. 82: 15. 177-187. (In Persian)

Janet Alipour, M., Shabanpour, B., Sadeghi Mahonak, A.R., and Shabani, A. 2010. The effects of freezing and two methods of freezing on the nutritional quality of Iranian duck fillet. Journal of Food Science and Technology. 40: 10. 11-20. (In Persian)

Javadian, S.R., Rezaei, M., Soltani, M., Kazemian, M., and Pourgholam, R. 2013. Effects of thawing methods on chemical, biochemical, and microbial quality of frozen whole rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of aquatic food product technology*, 22: 2. 168-177.

Johnston, W.A. 1994. *Freezing and refrigerated storage in fisheries* (Vol. 340). Food & Agriculture Org.

Mackie, I.M. 1993. The effects of freezing on flesh proteins. *Food Reviews International*, 9: 4. 575-610.

Mahboob, S., Al-Ghanim, K.A., Al-Balawi, H.F., Al-Misned, F., and Ahmed, Z. 2019. Study on assessment of proximate composition and meat quality of fresh and stored Clarias gariepinus and Cyprinus carpio. *Brazilian Journal of Biology*, 79: 4. 651-658.

Makri, M., Melvin, M., Hotos, G., and Doubi, X. 2007. The biochemical and sensory properties of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) frozen at different characteristic freezing times. *Journal of food quality*, 30: 6. 970-992.

Moini, S., and Jalili, S. 2011. Production of *Tuna Candy* and determination of its Shelf life, Journal of Natural Environmental, Iranian Journal of Natural Resources, 64: 3. 189-199.

Mol, S., Cosansu, S., Alakavuk, D.U., and Ozturan, S. 2010. Survival of Salmonella Enteritidis during salting and drying of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) fillets. *International journal of food microbiology*, 139: 1-2. 36-40.

Nevigato, T., Masci, M., Casini, I., Caproni, R., and Orban, E. 2018. Trimethylamine as a freshness indicator for seafood stored in ice: analysis by gc-fid of four species caught in the tyrrhenian sea. *Italian Journal of Food Science*, 30: 3.

Nilsson, K., and Ekstrand, B.O. 1995. Frozen storage and thawing methods affect biochemical and sensory attributes of rainbow trout. *Journal of food science*, 60: 3. 627-630.

Pearson, D. 1968. Application of chemical methods for the assessment of beef quality. II. Methods related to protein breakdown. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 19: 7. 366-369.

Popelka, P., Nagy, J., Pipová, M., Marcinčák, S., and Lenhardt, Ľ. 2014. Comparison of chemical, microbiological and histological changes in fresh, frozen and double frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno*, 83: 2. 157-161.

Rahmanifarah, K., Shabanpour, B., and Sattari, A. 2011. Effects of clove oil on behavior and flesh quality of common carp (*Cyprinus carpio* L.) in comparison with pre-slaughter CO_2 stunning chilling and asphyxia. Turk. J. Fish Aquat. Sci. 11: 1. 139-147.

Ribas, L., Flos, R., Reig, L., MacKenzie, S., and Barton, B.A. et al. 2007. Comparison of methods for anaesthetizing Senegal sole (*Solea senegalensis*) before slaughter: stress responses and final product quality. Aquaculture. 269: 1. 250-258.

Sallam, K.I. 2007. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food control*, 18: 5. 566-575.

Shafieipour, A., and Sami, M. 2015. The effect of different thawing methods on chemical properties of frozen pink shrimp (*Penaeus duorarum*). *Iranian Journal of Veterinary Medicine*, 9: 1. 1-6.

Silva, J.L., and Ammerman, G.R. 1993. Composition, lipid changes, and sensory evaluation of two sizes of channel catfish during frozen storage. *Journal of applied aquaculture*, 2: 2. 39-50.

Wilkinson, R.J., Paton, N., and Porter, M.J. 2008. The effects of pre-harvest stress and harvest method on the stress response, rigor onset, muscle pH and drip loss in barramundi (*Lates calcarifer*). Aquaculture. 282: 1. 26-32.

Zare Jonghani, S.A., and Hosseini, S.A. 2017. Study of Different Thawing Methods on the Quality of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). Iranian Journal of Natural Resources (Fisheries), 70: 3. 221-230. (In Persian)

Zhao, Y., Flugstad, B.E.N., Kolbe, E., Park, J.W., and Wells, J.H. 2000. Using capacitive (radio frequency) dielectric heating in food processing and preservation–a review. *Journal of Food Process Engineering*, 23: 1. 25-55.

Zhu, S., Ramaswamy, H.S., and Simpson, B.K. 2004. Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods. *LWT-Food Science and Technology*, 37: 3. 291-299.

Ziaian Nourbakhsh, H. 2012. Determination of the fatty acids and nutrient profiles of Croaker fish (*Otolithes ruber*). Food Science and Nutrition. 9: 4. 77-84. (In Persian)