

## بررسی شیوه‌های مختلف انجمادزدایی بر ویژگی‌های کیفی ماهی فیتوفاگ (*Hypophthalmichthys molitrix*)

سپیده زارع جونتقانی<sup>۱</sup>، سید ولی حسینی<sup>۲\*</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۸/۸

### چکیده

شیوه‌های رفع انجماد از جمله مسائلی است که بر کیفیت محصولات غذایی از جمله محصولات شیلاتی تاثیر می‌گذارد. بنابراین در این آزمایش تاثیر برخی از شیوه‌های انجمادزدایی (آب، میکروموج، یخچال و هوا) بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی (بازهای از ته فرار -TVB-N)، ترکیبات ثانویه اکسیداسیون چربی (TBA)، pH، ظرفیت نگه‌داری آب (WHC)، آب‌چک (DL) و میزان سفتی عضله) فیله ماهی فیتوفاگ مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که میزان TVB-N، TBA، WHC، DL و میزان سفتی تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، اما میزان pH تیمارهای فوق اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمترین (۰/۵۹/۴۵) و بیشترین (۰/۶۴/۹۵) میزان ظرفیت-نگه‌داری آب به ترتیب در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله آب و یخچال بود و نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله میکروموج بیشترین میزان آب‌چک (۱/۷۳) و سفتی (۳/۸۵) را دارا بودند، همچنین بالاترین میزان TVB-N (۱۹/۲۱) و TBA (۱/۶۵) در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله یخچال مشاهده گردید. با توجه به اینکه بهترین نتایج حاصل از آزمایشات فوق در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله آب مشاهده شد، بنابراین این شیوه‌ی انجمادزدایی به عنوان بهترین روش انجمادزدایی ماهی فیتوفاگ پیشنهاد می‌گردد.

واژگان کلیدی: انجماد، انجمادزدایی، ماهی، کیفیت گوشت، ماندگاری.

## ۱. مقدمه

آبزیان به‌ویژه ماهیان یکی از منابع غذایی مهم برای انسان می‌باشند. نقش ارزشمند آبزیان در تغذیه به دلیل وجود اسیدهای چرب غیر اشباع امگا ۳، املاح معدنی، ویتامین‌ها و پروتئین‌ها می‌باشد که موجب پیشگیری و حتی درمان برخی از بیماری‌ها می‌گردد. پروتئین ماهیان دارای اسیدآمینه‌های ضروری برای رشد و نگهداری فیزیکی بدن می‌باشد. ماهیان همچنین دارای املاح ارزشمند فسفر و کلسیم فراوانی بوده و در مقابل، سدیم کمی دارند (Razavy Shirazy, 2007). در کنار ارزش غذایی، افزایش جمعیت جهان، نیاز روزافزون به مواد غذایی و اندیشه کسب درآمد موجب رشد و توسعه تکنولوژی فرآورده‌های دریایی و صنایع شیلاتی شده است (Gharagoozlu and Moaieny, 2009). افزایش ۷۸ میلیونی جمعیت ایران (Statistics Center of Iran, 2014) و تحولات رفتاری مصرف‌کنندگان آبزیان در کشورهای در حال توسعه (Salehy and Mokhtary, 2007) موجب افزایش مصرف سرانه ماهی گردیده است به طوری که در ایران این میزان در سال ۹۳ به ۹/۲ کیلوگرم رسیده است (Statistical Yearbook of the Iranian Fisheries Organization, 2012).

انتقال و ذخیره‌سازی مواد غذایی از یک مکان به مکان دیگر نیازمند حفظ ارزش غذایی، حفظ بافت و طعم محصول است. همه ساله تغییرات شیمیایی و فساد میکروبی موجب هدر رفت درصد قابل توجهی از محصولات دریایی و شیلاتی می‌گردد. بنابراین حجم قابل توجهی از تولیدات به این دلیل غیر قابل مصرف می‌گردد (Ghaly et al., 2010). افزایش مدت ماندگاری محصولات ملزم به شناخت این فرآیندها است.

فساد میکروبی در نتیجه رشد و متابولیسم میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌گردد. که در نهایت با تولید سولفیدها، آمین‌ها، الکل‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها و اسیدهای آلی نامطبوع همراه است. ۲۵ درصد فساد مواد غذایی مربوط به فساد میکروبی است (Ghaly et al., 2010; Gram and Dalgaard, 2002). اتولیز و اکسیداسیون از جمله فساد شیمیایی موجود در آبزیان می‌باشد که موجب تغییرات نامطلوب می‌گردد.

گسترده‌ترین عامل اتولیز، آنزیم‌های گوارشی بوده که موجب پارگی شکم و نرم شدگی گوشت می‌گردد. ایجاد ترکیبات جدید در گوشت پس از صید به دلیل دناتوره شدن پروتئین و اکسیداسیون چربی می‌باشد (Ghaly et al., 2010). مکانیسم‌های بازدارندگی نیز بر پایه کنترل این فرآیندهاست.

از جمله روش‌های نگهداری می‌توان به روش‌هایی نظیر خشک کردن، نمک سود کردن و دودی کردن و روش‌های مدرن مانند فشارهیدروستاتیک، پرتودهی، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و بسته‌بندی با خلا، میدان‌های الکتریکی پالسی و غیره اشاره کرد (Ghaly et al., 2010; Razavy Shirazy, 2007). در این میان نگهداری محصولات به صورت منجمد یکی از متداول‌ترین روش‌های نگهداری ماهیان و فرآورده‌های حاصل از آن بوده که کمترین تغییرات بافتی را در محصول ایجاد می‌کند (Alipoor et al., 2010; Bremner, 2000).

انجماد و انجمادزدایی فرآیندهای پیچیده‌ای هستند که با انتقال حرارت و ایجاد تغییرات شیمیایی و فیزیکی، کیفیت محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Gambuteanu et al 2013). انجماد و انجمادزدایی موجب تغییر در رطوبت، بافت، پروتئین، رنگ و میزان سفتی گوشت شده و در اکسیداسیون لیپید و پروتئین موثر است (Farouke et al, 2003; Ngapo et al 1999) و به عوامل مختلفی چون دمای انجماد، دمای ذوب، چگونگی حمل، نگهداری و نوسانات حرارتی در طول انجماد و انجمادزدایی بستگی دارد (Boonsumrej et al 2007; Sebranek, 1982).

چگونگی ایجاد کریستال‌های یخ در زمان انجماد از جمله فرآیندهایی است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در بیشتر تغییرات حاصل از انجماد و انجمادزدایی موثر است (Gambuteanu et al., 2013). مهم‌ترین عامل در تشکیل اندازه کریستال‌ها سرعت انجماد است، در انجماد تند کریستال‌های کوچک بیشتری ایجاد می‌شوند. در این حالت کریستال‌ها در فیبر ایجاد می‌گردد. کمتر بودن کریستال‌ها به معنی افزایش حجم آنها می‌باشد. برخلاف انجماد سریع، در انجماد آهسته کریستال‌ها در مایع میان سلولی ایجاد شده و کریستال‌های بزرگی ایجاد می‌شود (Añón and Cavelo, 1980).

تغییر و شکست در فیبر عضلانی به وسیله آنزیم-های فرآیند پروتئولیز و تغییر در ساختار سلول‌های عضلانی به وسیله ایجاد کریستال‌ها در هنگام انجماد از جمله عوامل موثر در میزان سفتی عضله می‌باشد (Gambuteanu et al., 2013). عکس‌العمل گوشت در برابر اعمال حداکثر نیروی وارده به آن با توجه به تغییرات سفتی آن متفاوت بوده و از این خصلت جهت تعیین میزان سفتی استفاده می‌گردد. بنابراین حداکثر نیروی لازم برای فشردن فاصله معینی از یک جسم برابر با میزان سفتی آن جسم در نظر گرفته می‌شود به عبارتی هرچه میزان نیروی مورد نیاز بیشتر باشد میزان سفتی بیشتر است (Park, 2005; Vácha et al., 2013).

منظور از انجمادزایی، افزایش درجه حرارت محصول به بالاتر از نقطه انجماد است که در نتیجه آن محصول به حالت قبل از انجماد برمی‌گردد. در ماهی به‌طور کلی زمانی انجمادزایی پایان یافته تلقی می‌شود که یخی در آن باقی نمانده باشد، و این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که درجه حرارت در کلیه قسمت‌های بدن ماهی به ۱- درجه سیلسیوس برسد. هرگاه بخواهیم فرآورده دریایی در حد مطلوب حفظ شوند، ضروری است انجمادزایی با دقت کافی صورت گیرد (Razavy Shirazy, 2007). در صنعت معمولاً ماهی را در هوا یا آب انجمادزایی می‌کنند (Moaieny et al., 2011). البته روش‌های مدرن انجمادزایی، شامل، انجمادزایی با فشار بالا، میکروموج، اهمی و صوتی می‌باشند که سرعت بالا از جمله خصوصیت مشترک آن‌ها است (Li and Sun, 2002). در هر مورد، انجمادزایی باید از گرم کردن بیش از حد، آنچه زیاد و رشد باکتریایی محصول جلوگیری نماید (Moaieny et al., 2011).

انجمادزایی در هوا معمولاً در دمای محیط که بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است صورت می‌گیرد (Razavy Shirazy, 2007). در این روش به‌منظور جلوگیری از کاهش رطوبت محصول پیشنهاد شده است که انجمادزایی در هوایی با رطوبت بالا صورت گیرد. انجمادزایی در آب، خطر از دست دادن رطوبت را نداشته (Ersoy et al., 2008) و سریع‌تر از انجمادزایی در هوا انجام می‌گیرد، زیرا سرعت انتقال گرما بین آب و محصول بیشتر از هوا و محصول است.

Gambuteanu et al., 2013; Tironi et al., 2010)، در این حالت به دلیل پارگی غشای سلول آب درون سلول به خارج از سلول مهاجرت می‌کند (Chevalier et al., 2010). از دست دادن آب بیشتر در نتیجه کاهش ظرفیت نگهداری آب و دناتوره شدن پروتئین در طول فرآیند انجماد و انجمادزایی می‌باشد (He et al., 2014; Leygonie et al., 2012).

از جمله عوامل موثر در اکسیداسیون گوشت منجمد در مدت ذخیره‌سازی، باقی ماندن آب غیر منجمد در آن است (Leygonie et al., 2012). معمولاً آب غیر منجمد مربوط به آب متصل یا آب تک لایه می‌باشد. این آب از طریق پیوند یونی با ماکرومولکول‌های اتصال یافته است، به طوری که حتی در ۳۰- درجه سیلسیوس هم منجمد نمی‌شود و حدود ۵ تا ۸ درصد آب کل محصول را به خود اختصاص می‌دهد (Razavy Shirazy, 2007). بنابراین میزان آب غیر منجمد در محصول به دمای نهایی آن بعد از انجماد و در هنگام ذخیره‌سازی بستگی دارد. ایده‌آل-ترین دما به منظور کاهش آب غیر منجمد استفاده از دمای نگهداری ۴۰- درجه سیلسیوس است (Estévez, 2011). تماس بیشتر واکنش‌دهنده‌ها به دلیل افزایش غلظت سلول، افزایش واکنش‌های شیمیایی درون سلول را در پی دارد. از طرفی، کریستال‌های یخ نیز با توجه به اندازه و محل ایجادشان موجب آسیب به میتوکندری و لیزوزم شده و با انتشار آنزیم‌ها در تسریع واکنش‌های شیمیایی موثر هستند، صدمات ناشی از انجماد و انجمادزایی با آزادسازی عوامل موثر در اکسیداسیون مانند آنزیم‌ها و پراکسیدان‌ها همراه است که موجب افزایش اکسیداسیون می‌گردد (Leygonie et al., 2012). انجماد و انجمادزایی موجب دناتوره شدن میوگلوبین گوشت می‌شوند (Añón and Calvelo, 1980). نقش اتوکسیدانی میوگلوبین در هنگام دناتوره شدن شدیدتر شده و با شرکت در فرآیند اکسیداسیون با تغییر رنگ همراه خواهد بود (Abdallah, et al., 1999; Leygonie et al., 2011). فرآیند انجماد موجب دناتوره شدن پروتئین‌های بافری و دامینه شدن پروتئین‌های میکروبی می‌گردد این عوامل با آزاد شدن یون  $H^+$  همراه بوده که البته موجب کاهش در میزان pH خواهد شد (Leygonie et al., 2011).

انجماد ماهیان، به منظور حفظ بهتر جنبه‌های تغذیه‌ای و کیفی این گونه بوده تا بتواند به جامعه در این خصوص توصیه نماید.

## ۲. مواد و روش‌ها

ماهیان فیتوفاگ مورد نظر با میانگین وزنی  $100 \pm 100$  گرم از بازار ماهی فروشان کرج تهیه گردید. بنا به اظهار فروشنده، دو روز از زمان صید ماهیان مذکور گذشته بود و در این مدت، ماهیان به صورت تازه (نگهداری غیرمنجمد) و در شرایط سرد نگاهداری شده بودند. ماهیان پس از انتقال به آزمایشگاه، تخلیه شکمی و شستشو داده و سپس از آنها فیله تهیه گردید. فیله‌های حاصله از نمونه ماهیان به منظور انجمادزدایی با چهار شیوه مختلف چهار بخش تقسیم شده و هر کدام از آنها به صورت مجزا بسته‌بندی گردیدند. شیوه بسته‌بندی به روش بسته‌بندی وکیوم با دستگاه وکیوم (گواتر کنترل، ساخت ایران) بود، نمونه‌های آماده شده به مدت ۳ روز در دمای  $-18$  درجه سلسیوس منجمد شد. پس از طی این مدت نمونه‌ها انجمادزدایی شدند.

انجمادزدایی به چهار روش استفاده از میکروموج، آب، یخچال و انجمادزدایی در دمای اتاق (هوا) انجام شد. جزئیات مربوط به این چهار شیوه در جدول ۱ آورده شده است. به منظور بررسی شاخص‌های شیمیایی و فیزیکی تیمارها، آزمایش تعیین میزان بازهای از ته فرار (TVB-N=Total volatile bases nitrogen) (Rawdkuen *et al.*, 2010)، میزان ارزش اسید تیوباربتوریک (TBA= Thiobarbituric acid) (Chatzikyriakidou and Katsanidis, 2012) درصد ظرفیت نگهداری آب (WHC=Water holding capacity) (Park, 2005)، آب‌چک (DL=Drip loss) (Javadian *et al.*, 2014)، pH (Asgharzade kany *et al.*, 2008) صورت گرفت همچنین آنالیز پروفیل بافت با هدف تعیین میزان سفتی عضله‌ی فیله صورت گرفت. این آزمایش به کمک دستگاه آنالیز بافت (Testo metric, M350-10CT، ساخت انگلیس) انجام شد. میزان نفوذ انجام شده ۵ میلی‌متر، قطر پروب ۹ میلی‌متر و سرعت پروب ۱۰۰ میلی‌متر در دقیقه بود و همچنین ابعاد نمونه‌های گوشت مورد آنالیز، مکعب

از توان میکروموج می‌توان برای گرم کردن بسیار سریع ماهی استفاده نمود. میکروموج شبیه موج رادیو است اما فرکانس آن بیشتر است در نتیجه وقتی ماهی در معرض آن قرار می‌گیرد، پرتو داخل عضله جریان یافته و جذب می‌گردد و انرژی حاصل به صورت حرارت ظاهر می‌گردد (Razavy Shirazy, 2007). نرخ انجمادزدایی به روش میکروموج به اندازه، خواص و ابعاد نمونه منجمد و همچنین فرکانس الکترومغناطیسی تابشی بستگی دارد. مهم‌ترین نقص انجمادزدایی به وسیله میکروموج ایجاد حالت فوق‌گرم در محصول می‌باشد. جذب تدریجی امواج میکروموج به وسیله ذرات آب دلیل عمده در ایجاد پخت بیش از حد محصول است (Li and Sun, 2002).

سرعت انجمادزدایی از جمله مهم‌ترین فاکتورهای موثر در انجمادزدایی بوده و در رابطه با آن نظرات متناقضی وجود دارد. برخی محققین معتقد هستند که آب خروجی سلول‌ها در زمان انجماد، تا حدی با کاهش سرعت انجمادزدایی به درون سلول باز می‌گردد که در نهایت در میزان رطوبت محصول موثر خواهد بود (Gambuteanu *et al.*, 2013). بنابراین استفاده از سرعت‌های مختلف در انجمادزدایی نشانگر خوبی برای انتخاب بهترین شیوه انجمادزدایی خواهد بود. روش انجمادزدایی به وسیله یخچال به عنوان یک شیوه انجمادزدایی کند، انجمادزدایی به وسیله آب و هوا به عنوان روش‌های انجمادزدایی نیمه تند و روش میکروموج به عنوان یک روش تند معرفی شده‌اند (Dincer *et al.*, 2009).

ماهی فیتوفاگ با نام علمی (*Hypophthalmichthys molitrix*) یکی از مهم‌ترین ماهیان پرورشی کشور می‌باشد. که به علت استفاده از رژیم غذایی کم هزینه و سطوح پایین زنجیره غذایی به مقدار زیاد پرورش می‌یابد (Shabanpoor *et al.*, 2007). در بین ماهیان گرم آبی پرورشی، ماهی فیتوفاگ بیشترین میزان تولید را به خود اختصاص می‌دهد. از همین رو همیشه مازاد مصرف آن به صورت منجمد در سردخانه‌ها تا زمان مصرف نگهداری می‌شود. با توجه به این که چنین ماهیانی نیاز به رفع انجماد پیش از مصرف دارند، بنابراین تحقیق حاضر به دنبال بررسی مناسب‌ترین روش رفع انجماد آن، از بین روش‌های مرسوم تر رفع

جدول ۱- روش انجمادزدایی و مدت زمان انجمادزدایی در فیله ماهی فیتوفاگ (*Hypophthalmichthys molitrix*)

روش انجمادزدایی	انجمادزدایی با آب	انجمادزدایی با میکروموج	انجمادزدایی با هوا	انجمادزدایی با یخچال
زمان انجمادزدایی	۲۰ دقیقه	۸ دقیقه	۲ ساعت	۶ ساعت
دمای انجمادزدایی	۱۶±۲°C	۳۰۰ وات	۲۱±۲°C	۴±۲°C

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های فیزیکی، بیوشیمیایی و شیمیایی فساد فیله ماهی فیتوفاگ (*Hypophthalmichthys molitrix*) در روش‌های مختلف انجمادزدایی

روش انجمادزدایی	انجمادزدایی با آب	انجمادزدایی با میکروموج	انجمادزدایی با هوا	انجمادزدایی با یخچال
WHC	۶۴/۹۵±۰/۴۱ <sup>a</sup>	۶۱±۱/۲۷ <sup>bc</sup>	۶۲/۶۷±۱/۵۲ <sup>ab</sup>	۵۹/۴۵±۰/۷۸ <sup>c</sup>
DL	۷/۹۷±۲/۴۶ <sup>ab</sup>	۱۱/۷۳±۴/۷۵ <sup>a</sup>	۷/۳۲±۱/۷۷ <sup>ab</sup>	۴/۴۴±۱/۰۳ <sup>b</sup>
TVB-N	۱۷/۱۷±۱/۲۹ <sup>a</sup>	۱۵/۶۸±۰/۲۴ <sup>a</sup>	۱۰/۲±۰/۹۵ <sup>b</sup>	۱۹/۲۱±۱/۸۲ <sup>a</sup>
TBA	۰/۶۹±۰/۱۹ <sup>b</sup>	۰/۸۱±۰/۲۵ <sup>b</sup>	۱/۶۳±۰/۲۶ <sup>a</sup>	۱/۶۵±۰/۵۴ <sup>a</sup>
pH	۵/۸۷±۰/۰۴	۵/۸۴±۰/۰۰۷	۵/۸۵±۰/۰۰۳	۵/۷۳±۰/۰۴
میزان سفتی	۲/۸۵±۰/۱۸ <sup>b</sup>	۳/۸۵±۰/۰۹۸ <sup>a</sup>	۲/۸۲±۰/۱۷ <sup>b</sup>	۳/۲±۰/۱۴ <sup>b</sup>

حروف a, b و c در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال (۰/۰۵) درصد است. عدم حروف معنی‌دار در هر ردیف، بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است.

اختصارات: WHC ظرفیت نگهداری آب به درصد، DL آب‌چک به درصد، TVB-N میزان بازهای ازته فرار بر حسب میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم گوشت، TBA میزان مالون آلدئید بر حسب میلی‌گرم در هر ۱۰۰۰ گرم گوشت، میزان سفتی بر اساس بیشترین نیرو در اولین مرحله فشردن بر حسب نیوتون.

در جدول ۲ نشان داده شده است. انجمادزدایی به-وسیله آب دارای بیشترین ظرفیت نگهداری آب (۶۴/۹۵±۰/۴۱) بوده و اختلاف معنی‌دای با سایر روش‌ها داشت، در مقابل بیشترین آب‌چک (۱۱/۷۳±۴/۷۵) نسبت به سایر نمونه‌ها، در نمونه‌هایی مشاهده شد که به‌وسیله میکروموج انجمادزدایی شده بودند. مقادیر مجموع بازهای ازته فرار (میلی‌گرم ازت فرار در ۱۰۰ گرم گوشت) در نمونه‌های انجمادزدایی شده به‌وسیله هوا (۱۰/۲±۰/۹۵) نسبت به سایر روش‌ها اختلاف معنی‌داری داشت و دارای کمترین میزان بود. تفاوت معنی‌دار شاخص اسیدتیوباربیتوریک به دو گروه تقسیم شد. میزان TBA (میلی‌گرم مالون آلدئید در کیلوگرم گوشت) در گروه اول (یخچال و هوا) نسبت به گروه دوم (آب و میکروموج) بیشتر بود. روش انجمادزدایی یخچال (۱/۶۵±۰/۵۴) و آب (۰/۶۹±۰/۱۹) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان TBA بودند. انجمادزدایی نمونه‌هایی که به‌وسیله میکروموج (۳/۸۵±۰/۰۹۸) صورت گرفته بود دارای بیشترین میزان سفتی (نیوتون) بودند که تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر روش‌های انجمادزدایی داشت.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های حائز اهمیت در

مستطیلی با طول و عرض ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ میلی‌متر بود.

کلیه داده‌ها توسط آزمون کولمگروف-اسمیرنوف نرمال‌سنجی شد. بعد از تحقق دو شرط اصلی آزمون‌های پارامتریک تجزیه واریانس (همگن بودن واریانس و نرمال بودن داده‌ها)، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (One Way ANOVA) برای مقایسه واریانس بین تیمارها و آزمون دانکن برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها (در سطح احتمال ۵ درصد) با کمک نرم‌افزار آماری تحت ویندوز SPSS استفاده شد.

#### ۳. نتایج

فرآیند انجماد و متعاقب آن انجمادزدایی به شیوه‌های مختلف منجر به ایجاد اختلاف معنی‌دار در برخی از ویژگی‌های کیفی اندازه‌گیری شده در ماهی فیتوفاگ گردید، در میزان آب‌چک، ظرفیت نگهداری آب، میزان سفتی، TBA و TVB-N در تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ( $P < 0.05$ ), در مقابل، میزان pH تیمارهای فوق اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

نتایج حاصل از مقادیر شاخص‌های فیزیکی، بیوشیمیایی و شیمیایی روش‌های مختلف انجمادزدایی

همانطور که گفته شد تاثیر انجماد در خروج آب به چگونگی تشکیل کریستال‌های یخ بستگی دارد. هر چه سرعت انجماد بیشتر باشد تشکیل کریستال‌های کوچک بیشتر و خروج آب از سلول کمتر رخ می‌دهد (Gambuteanu *et al.*, 2013). تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد افزایش زمان انجماد به بیش از ۱۹/۵ دقیقه تاثیر قابل توجهی در کاهش رطوبت محصول خواهد داشت (Añón and Cavelo, 1980). زمان انجمادزدایی نیز در میزان رطوبت محصول موثر است در مورد زمان دیدگاه‌هایی متناقضی وجود دارد. تحقیقات مبتنی بر آن است که انجمادزدایی در دمای بین ۵- تا ۱- درجه سلسیوس و در زمان ۵۰ دقیقه با کاهش کمتر خروج آب همراه است. استفاده از این شرایط به این دلیل است که آب خارج سلولی به درون سلول باز گردد. افزایش نرخ ذوب به دلیل خروج بیش از حد ظرفیت جذب سلول موجب افزایش خروج رطوبت از محصول می‌شود. از طرفی نیز گفته شده است که افزایش نرخ ذوب یا به عبارتی کاهش زمان انجمادزدایی موجب کاهش ترشحات می‌گردد چراکه در این حالت آب خارج شده از سلول فرصت بازگشت به سلول را خواهد داشت. تحقیقات نشان داده است که از دست دادن آب در روش انجمادزدایی به وسیله هوا و در دمای محیط به مدت ۵ تا ۷ ساعت کمتر از حالتی است که از میکروموج به مدت ۳۵ دقیقه در دمای صفر درجه سلسیوس انجام می‌شود همچنین خروج آب‌چک در روش میکروموج با شیوه گفته شده در مقایسه با انجمادزدایی به وسیله یخچال و به مدت ۲۸ ساعت است کمتر است (Leygonie *et al.*, 2012). در تحقیق حاضر نیز کمترین میزان آب‌چک در نمونه‌هایی مشاهده شد که انجمادزدایی در آنها در دمای پایین‌تری انجام شد. بیشترین آب‌چک در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله میکروموج مشاهده شد، چراکه از دماهای بالا در آن استفاده شده بود. نیز بیشترین Javadian و همکاران (۲۰۱۳) آب‌چک را در نمونه‌هایی مشاهده کردند که به وسیله میکروموج انجمادزدایی شده بودند. کمتر بودن آب‌چک و حفظ آب محصول از جمله عوامل موثر در حفظ بافت محصول است. شکسته شدن میوفیبریل‌ها با خروج آب همراه است که تغییرات بافتی را به دنبال دارد (Leygonie *et al.*, 2012).

صنعت گوشت که از نظر مالی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد از دست دادن آب در آن است که با کاهش وزن نیز همراه است. میزان ظرفیت نگهداری آب (Duun, Leygonie *et al.*, 2007) و میزان آب‌چک (Leygonie *et al.*, 2012) به‌عنوان شاخص‌های اندازه‌گیری میزان خروج آب از عضله بیان می‌شوند. اتصال آب به پروتئین‌های میوفیبریل به نام ظرفیت نگهداری آب عضله شناخته می‌شود (Goncalves *et al.*, 2008)، مهم‌ترین فاکتورهای تاثیر گذار در میزان ظرفیت نگهداری آب در عضله تاثیر بار خالص، عوامل ژنتیکی و موقعیت فضایی آب در سلول‌های عضلانی است و مهم‌ترین عامل در میزان آب‌چک، چگونگی عبور از جمود (Aging) (Lonergan and Lonergan, 2005) سرعت انجماد (Gambuteanu *et al.*, 2013) و چگونگی انجمادزدایی است (Leygonie *et al.*, 2012). میزان بار موثر بستگی به مقدار pH عضله دارد زمانی که pH به نقطه ایزوالکتریک برسد کمترین بار موثر را داشته و ظرفیت نگهداری آب در این حالت به کمترین میزان خود می‌رسد (Lonergan and Lonergan, 2005). میزان pH معیار خاصی از فساد را نشان نمی‌دهد (Ersoy *et al.*, 2008) بلکه ممکن است آزادسازی مواد موجب تغییر آن گردد به‌عنوان نمونه آزادسازی یون  $H^+$  موجب تغییر آن از میزان بالاتر به میزان پایین‌تر گردد، تاثیر آن در تغییر بار موثر می‌باشد (Leygonie *et al.*, 2012). میزان دنا توره شدن پروتئین نیز عامل مهمی در میزان خروج آب و کاهش ظرفیت نگهداری آب به شمار می‌آید. با دنا توره شدن پروتئین بار موثر کاهش یافته در نتیجه ظرفیت نگهداری آب کاهش یافته و عضله سفت‌تر می‌شود (Leygonie *et al.*, 2012; Lonergan and Lonergan, 2005). در این پژوهش نیز میزان ظرفیت نگهداری آب با میزان سفتی عضله رابطه معکوس داشت و کمترین میزان ظرفیت نگهداری آب در نمونه‌هایی مشاهده گردید که بیشترین سفتی عضله را داشتند. کم بودن ظرفیت نگهداری آب در نمونه‌های انجمادزدایی شده توسط میکروموج ( $61 \pm 1/27$ ) احتمالاً به خاطر ایجاد نقاط فوق گرما در محصول، جذب گرما توسط آب موجود در عضله، خروج آب عضله و در نهایت تغییر ماهیت پروتئین عضله باشد (Li and Sun, 2002).

می‌گردد و بیانگر محصول ثانویه اکسیداسیون چربی می‌باشد (Nirmal and Benjakul, 2009). زمانی که میزان مالون‌آلدهید در یک کیلوگرم گوشت به بیش از ۲ میلی‌گرم افزایش یابد با تغییر طعم و بوی ماهی همراه خواهد بود (Razavy Shirazy, 2007). این شاخص یکی از شاخص‌های مناسب برای بررسی کیفیت ماهی منجمد اعلام شده است (Ersoy *et al.*, 2008). میزان TBA مشابه با نتایج حاصل از میزان TBA های به‌دست آمده توسط Javadian و همکاران (۲۰۱۴) بود. در تحقیق حاضر نیز بیشترین میزان TBA در روش انجمادزدایی بوسیله یخچال مشاهده گردید (Javadian *et al.*, 2014). علاوه بر آنزیم‌های درون‌زا باکتری‌های سرماگرا مانند سودوموناس با تجزیه لیپیدها و فسفولیپیدها موجب افزایش اسیدهای چرب آزاد شده که مستعد اکسیداسیون می‌باشند و موجب تولید هیدروپراکسیدها می‌گردند، هیدروپراکسیدها به آسانی به هیدروکربن‌های کوتاه زنجیر مانند آلدهیدها تبدیل می‌شوند که این محصولات نهایی را تیوباربیتوریک اسید می‌نامند (Nirmal and Benjakul, 2009; Nirmal and Benjakul, 2010; Nirmal and Benjakul, 2011). بنابراین بیشتر بودن این شاخص در تیمارهای انجمادزدایی شده در یخچال به دلیل افزایش زمان فرآیند و احتمالاً افزایش رشد میکروبی می‌باشد.

فرآیند انجمادزدایی اثر قابل توجهی در شاخصه‌های کیفی محصول داشت. انجمادزدایی باید بلافاصله پس از خارج شدن ماهی از سردخانه و در حداقل زمان انجام شود. انجمادزدایی به‌وسیله یخچال نشان داد که افزایش زمان انجمادزدایی به دلیل احتمال رشد بیشتر میکروب‌ها، موجب کاهش کیفیت گوشت می‌گردد که این مهم، با اندازه‌گیری شاخص‌های TVB-N و TBA مورد بررسی قرار گرفت و این بررسی نشان داد شاخص‌های فوق در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله یخچال افزایش یافتند. توجه به مراحل خروج ماهی از حالت انجماد کمک خواهد نمود تا از بروز هرگونه آسیب در ماهی و همین‌طور از شکل‌گیری و خروج مقدار زیادی آب‌چک جلوگیری گردد، انجمادزدایی بوسیله میکروموج و ایجاد تقاطع فوق‌گرمای موجب پخت محصول گردیده و با افزایش آب‌چک همراه است. ممانعت از اتلاف انرژی در طول عملیات از

تحقیق حاضر نیز بیشترین میزان سفتی محصول مربوط به نمونه‌های انجمادزدایی شده میکروموج بود که البته با بیشترین میزان خروج آب همراه بود، بنابراین خروج بیشتر آب عضله را می‌توان به افزایش سفتی عضله مرتبط دانست.

میزان TVB-N در گونه‌های مختلف آبزیان متفاوت است و با توجه به سن، فصل، جنس و منطقه زیست‌آبزی متغیر می‌باشد. به‌طور کلی مصرف محصولی که مجموع بازهای ازته فرار در آن ۲۵-۳۵ میلی‌گرم نیتروژن در هر ۱۰۰ گرم محصول باشد، نامناسب می‌باشد (Al-Busaidi *et al.*, 2009; Ministerial Decision No.12/ 2009). نتایج به دست آمده از میزان بازهای ازته فرار در این آزمایش و در روش‌های مختلف انجمادزدایی تقریباً مشابه تحقیقات دیگر در این زمینه بود. بیشترین میزان TVB-N مربوط به روش انجمادزدایی بوسیله یخچال مشاهده گردید. Ersoy و همکاران (۲۰۰۸) بیشترین میزان بازهای ازته فرار را در ماهی *Anguilla anguilla* در روش انجمادزدایی به‌وسیله یخچال بدست آوردند. بیشتر بودن بازهای ازته فرار در روش انجمادزدایی به‌وسیله یخچال نسبت به روش میکروموج و در ماهی آنچوی از جمله دیگر نتایجی است که توسط Nilgun و همکاران (۲۰۱۳) گزارش گردیده است. در پژوهش حاضر بیشتر بودن بازهای ازته فرار در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله یخچال می‌تواند به دلیل افزایش زمان فرآیند انجمادزدایی باشد، زیرا افزایش مجموع بازهای ازته فرار تحت تاثیر فعالیت باکتریایی عضله ماهی است (Nirmal and Benjakul, 2011). بنابراین افزایش زمان انجمادزدایی می‌تواند در رشد بیشتر باکتری‌های سرمادوست در دمای یخچال موثر باشد که این امر موجب افزایش مجموع بازهای ازته فرار شده است.

اکسیداسیون لیپیدهای حساس در بدن ماهی در مرحله اول منجر به تشکیل پراکسیدها و در ادامه منتهی به شکل‌گیری آلدهیدها و کتون‌ها می‌شود که همراه با ایجاد بو و طعم نامطبوع در ماهی می‌شود که از طریق اندازه‌گیری شاخص TBA (تیوباربیتوریک اسید) سنجیده می‌گردد (Razavy Shirazy, 2007). تیوباربیتوریک اسید شاخصی است که به طور گسترده در ارزیابی میزان اکسیداسیون چربی استفاده

بیانگر دنا توره شدن پروتئین است و همچنین، بیشترین تاثیرات را بر روی پارامترهای دیگر چون بافت دارد، و با توجه به اینکه بهترین نتایج حاصل از آزمایشات فوق در شاخص‌های شیمیایی نیز در نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله آب مشاهده شد، بنابراین این شیوه‌ی انجمادزدایی به عنوان بهترین روش انجمادزدایی ماهی فیتوفاگ معرفی می‌گردد.

مسائل مهمی است که با حداقل فضا و کارگر، نیاز خود را برآورده نماید. انجمادزدایی بوسیله آب با حداقل انرژی و امکانات قابل انجام می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان داد، نمونه‌های انجمادزدایی شده بوسیله آب دارای بیشترین درصد ظرفیت نگهداری آب و کمترین میزان آب‌چک بوده و تفاوت معنی‌داری با سایر روش‌های انجام شده داشتند. از آنجایی که میزان خروج آب

## References

- Al-Busaidi, M.A., Yesudhasan, P., Al-Falahi, K.S., Al-Nakhaili, A.K., Al-Mazrooei, N.A., Al-Habsi, S.H., 2011. Changes in Scomberotoxin (Histamine) and Volatile Amine (TVB-N) Formation in Longtail Tuna (*Thunnus tonggol*) Stored at Different Temperatures. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, 16, 13-22.
- Alipoor, H.J., Shabanpoor, B., Sadeghi Mahoonak, A., Shabany, A., 2010. The effects of freezing and two methods of dessation on the quality of duck fillet (*Acipenser persicus*). *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 40, 10.
- Añón, M.C., Cavelo, A., 1980. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Journal of Meat Science*, 4, 1-14.
- Asgharzade Kany, A., Shabanpour, B., Hoseiny, H., Ghafary, B., 2008. Comparison of some chemical properties of Surimi and minced meat of *Hypophthalmichthys molitrix* as a raw material of fishery products. *Research and Development in Livestock and Aquaculture*, 21(2), 197-191.
- Bremner, H.A., 2000. Safety and quality issues in fish processing. CRC Press, Boca Raton FL 33431, 507 p.
- Chatzikiyriakidou, K., Katsanidis, E., 2012. Effect of Liquid Smoke Dipping and Packaging Method on the Keeping Quality of Raw and Cooked Chub Mackerel (*Scomber japonicus*) Fillets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 21, 445-454.
- Dincer, T., Cadum, A., Tolasa, S. 2009. Effects of different thawing methods on the freshness quality of fish. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 4, 253-256.
- Duun, A.S, Rustad, T., 2007. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Journal of Food chemistry*, 105, 1067-1075.
- Ersoy, R., Aksan, E., Ozeren, A., 2008. The effect of thawing on the quality of eel (*Anguilla Anguilla*). *Journal of Food Chemistry*, 111, 377-380.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Journal of Meat Science*, 89, 259-279.
- Farouke, M.M., Wieliczko, K.J., Merts, I. 2003. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66, 171-179.
- Ghaly, A.E., Dave, D., Budge, S., Brooks, M.S., 2010. Fish Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques. *American Journal of Applied Sciences*, 7, 859-877.
- Gharagoozlu, S., and Moaieny, S., 2009. Sensory properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) pulp produced at -18°C in cold storage. *Fisheries Journal*, Third Year, No. 2, Summer 2009.
- Gram, L., Dalgaard, P., 2002. Fish spoilage bacteria – problems and solutions. *Journal of Current Opinion in Biotechnology*, 13, 262-266.
- He, H.J., Wu, D., Sun, D.W., 2014. Rapid and non-destructive determination of drip loss and pH distribution in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets using visible and near-infrared (Vis-NIR) hyperspectral imaging. *Journal of Food Chemistry*, 156, 394-401.
- Huff-Lonergan, E.M. Lonergan, S., 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Journal of Meat Science*, 71, 194-204.
- Javadian, S.R., Rezaiee, M., Soltany, M., Kazemeian, M., Poorgholam, R., Safary, R., 2011. Effect of Degradation Methods on Food Value and Quality Indices of the Caspian Sea (*Rutilus frisii kutum*). *Journal of Marine Biology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, Third Year, 10, 65-73.
- Javadian, S.R., Rezaei, M., Soltani, M., Kazemian, M., 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, 168-177.
- Leygonie, C., Britz, T.J and Hoffman, L.C., 2011. Oxidative stability of previously frozen ostrich *M. iliofibularis* packaged under different modified atmospheric conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1171-1178.



- Leygonie, C., Britz, T.J., Hoffman, C., 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Journal of Meat Science*, 91, 93-98.
- Li, B., Sun, D.W., 2013. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *Journal of Food Engineering*, 54, 175-182.
- Ministerial Decision No.12/2009., 2009. Fisheries Quality Control Regulation, Ministry of Fisheries Wealth, Muscat, Sultanate of Oman.
- Moaieny, S., Khoshkhu, Z.H., 2011. Freezing in the Fisheries Industry, Tehran University Press. 350 p.
- Ngapo, T.M., Babare, I.H., Reynolds, J., Mawson, R.F., 1999. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. *Journal of Meat Science*, 53, 149-158.
- Nilgun, K., Bengunur, C., Ozgul, O., Kubra, E., 2013. Effects of multiple freezing-thawing processes and different thawing methods on quality changes of anchovy (*Engraulis engrasicholus* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11, 1 8 5 - 1 8 9.
- Nirmal, N.P., Benjakul, S., 2009. Effect of ferulic acid on inhibition of polyphenoloxidase and quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during iced storage. *Journal of Food Chemistry*, 116, 323-331.
- Nirmal, N.P. and Benjakul, S., 2010. Effect of catechin and ferulic acid on melanosis and quality of Pacific white shrimp subjected to prior freeze-thawing during refrigerated storage. *Journal of Food Control*, 21, 1263-1271.
- Nirmal, N.P., Benjakul, S., 2011. Use of tea extracts for inhibition of polyphenoloxidase and retardation of quality loss of Pacific white shrimp during iced storage. *Journal of LWT - Food Science and Technology*, 44, 924-932.
- Park, J.W. 2005. Surimi and surimi seafood. CRC Press, Boca Raton, Taylor and Francis, 961 p.
- Pastoriza, L., Sampedro, G., Herrera, J.J., Cabo, M.L., 1998. Influence of sodium chloride and modified atmosphere packaging on microbiological, chemical and sensorial properties in ice storage of slices of hake (*Merluccius merluccius*). *Journal of Food Chem*, 61, 23-28.
- Rawdkuen, S., Jongjareonrak, A., Phatcharat, S., Benjakul, S., 2010. Assessment of protein changes in farmed giant catfish (*Pangasianodon gigas*) muscles during refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 985-994.
- Razavy Shirazy, H., 2007. Marine Technology Technology, Pars Negar Publication, Second Edition, Vol. I, 325 p.
- Salehy, H., Mokhtary, H., 2007. A Survey on the Attitude of Nutritionists to the Consumption of Fish in Iran. *Iranian Journal of Fisheries* 7(1), 79-90.
- Sebranek, J.G., 1982. Use of cryogenics for muscle foods. *Journal of Food Technology*, 36, 120-127.
- Shabanpoor, B., Asgharzadegany, A., Hoseiny, H., and Abbasy, 2007. Changes in the quality of Surimi Fat *Hypohthalmichthys molitrix* (Frozen Fish) during storage. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 15, 1.
- Statistical Yearbook of the Iranian Fisheries Organization. 2012.
- Statistics Center of Iran, 2014. Results of the census 2012, Statistics Center of Iran, Tehran.
- Tironi, V., Lamballerie, M., Le-Bail, A., 2010. Quality changes during the frozen storage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle after pressure shift freezing and pressure assisted thawing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11, 565-573.
- Vácha, F., Stejskal, V., Vejsada, P., Kouřil, J., Hlaváč, D., 2013. Texture profile analyses in tench (*Tinca tinca* L., 1758) from extensive and intensive culture, *Acta vet Brno*, 82, 421-425.